



ผลของน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีส่วนผสมของไฟโตแคนนาบินอยด์
จากใบกัญชงและกรดลอริกเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการผลิตในลูกสุกรตุนม



ว่าที่ ร.ต. อติศักดิ์ คงแก้ว

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
ปีการศึกษา 2568
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

ผลของน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีส่วนผสมของไฟโตแคนนาบินอยด์
จากใบกัญชงและกรดลอริกเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการผลิตในลูกสุกรตุนม



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
ปีการศึกษา 2568
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์

เรื่อง “ผลของน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีส่วนผสมของไฟโตแคนนาบินอยด์
จากใบกัญชงและกรดลอริกเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการผลิตในลูกสุกรดุนม”
ของ ว่าที่ ร.ต. อติศักดิ์ คงแก้ว
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ศาสตราจารย์ ดร. ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์)

.....ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันดี ทาตระกูล)

.....กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. รัชสรรค์ เจริญสุข)

.....กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทศพร อินเจริญ)

.....กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. นรภัทร หวันเหลี่ยม)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สนธยา นุ่มท้วม)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนา พัดเกตุ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ รักษาการแทน
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	ผลของน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีส่วนผสมของ ไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชงและกรดลอริกเข้มข้นต่อประสิทธิภาพ การผลิตในลูกสุกรตอนนม
ผู้วิจัย	ว่าที่ ร.ต. อติศักดิ์ คงแก้ว
ประธานที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วันดี ทาตระกุล
กรรมการที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ เจริญสุข รองศาสตราจารย์ ดร. ทศพร อินเจริญ รองศาสตราจารย์ ดร. นรภัทร หวันเหลี่ยม
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ ปริญญาตรี สาขาสัตวศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2568
คำสำคัญ	ไฟโตแคนนาบินอยด์ กรดลอริก กลีเซอรอลโมโนลอเรต ผงไมโครเอนแคปซูล

บทคัดย่อ

การเลี้ยงสุกรในปัจจุบันนิยมใช้แม่สุกรสายพันธุ์ลูกตก (hyper-prolific breeds) เพื่อเพิ่มจำนวนลูกสุกรต่อครอกและต่อแม่ต่อปี อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่ตามมาคือการเกิดลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดต่ำ และอัตราการตายก่อนหย่านมสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีกรดลอริกเข้มข้น ร่วมกับสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชง และกลีเซอรอลโมโนลอเรต ต่อการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน สภาวะเครียดออกซิเดชัน ตลอดจนความหลากหลายทางจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกร การศึกษาประกอบด้วย 4 การทดลองหลัก ได้แก่

การทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกศึกษาวัตถุดิบกัญชงศึกษาสภาวะที่เหมาะสมการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์ ใช้ใบกัญชง และรากกัญชง วัตถุดิบถูกเตรียมด้วยกระบวนการคัดเลือก ทำความสะอาด ตากแห้ง อบแห้ง บดละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ก่อนบรรจุลงในถุงผ้า จากนั้นทำการตีคาร์บอกซิเลชันเบื้องต้นด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C นาน เป็นเวลา 21 นาที สำหรับปัจจัยชนิดน้ำมันตัวทำละลาย น้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ผ่านกรรมวิธี (RPKO) และ น้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) โดยเสริมด้วยอิมัลซิไฟเออร์ Tween 80 ด้วยอัตราส่วน 2% (w/v), sodium erythorbate 0.3% (w/v) และบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) 0.8–1.0% จากนั้นนำเข้าสู่ตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 × 2 ภายใต้การสุ่มสมบูรณ์ (CRD) เมื่อสิ้นสุดการเร่งปฏิกิริยา พบว่าปริมาณสาร CBD (0.168 และ 0.073% w/w) และ CBDA (0.083

และ 0.267% w/w) มากกว่ารากัญชงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการใช้ น้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) เป็นตัวทำละลายในการสกัดให้ผลดีกว่า RPKO โดยมีค่า total phenolic content (TPC) เท่ากับ 48.34 mg GAE/g DW, total antioxidant capacity (TAC) 25.65 mg GAE/g DW และค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ABTS และ FRAP เท่ากับ 26.48%, 46.40% และ 38.33% ตามลำดับ สภาวะดังกล่าวนำไปทดลองส่วนที่สอง ประเมินอิทธิพลของปัจจัยอัตราส่วนใบกัญชงต่อน้ำมัน CPKO (6%, 12% และ 18%) และปัจจัยระยะเวลาการให้ความร้อนเพื่อเร่งการตีคาร์บอกซิเลชัน (0, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง) โดยออกแบบแฟกทอเรียล 3×5 ภายใต้ CRD ในทุกสภาวะได้เสริมด้วย Tween 80, sodium erythorbate และ BHT ตามกำหนด และให้ความร้อนที่ 110°C ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ การให้ความร้อนที่ 110°C นาน 6 ชั่วโมง ร่วมกับการกำหนดอัตราส่วนใบกัญชงต่อน้ำมัน CPKO ที่ 12% ซึ่งให้ค่า TPC และ TAC 57.38 และ 21.55 mg GAE/g DW ตามลำดับ รวมถึงผลทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH, ABTS และ FRAP เท่ากับ 34.43%, 64.33% และ 53.18% ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยา และชีวเคมีในเลือดของลูกสุกรระยะดูดนม โดยอิมัลชันนี้พัฒนาต่อยอดจากข้อมูลการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์ที่เหมาะสมในการทดลองที่ 1 เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในสูตรอิมัลชันเสริมพลังงานสำหรับลูกสุกรดูดนม สูตรอิมัลชันมีส่วนผสมหลักประกอบด้วย น้ำมันเมล็ดในปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และ ผงกรดลอริก โดยกำหนดให้มีสัดส่วนกรดลอริกไม่น้อยกว่า 30% (Emulsion of Medium-Chain Fatty Acids containing 30% Lauric Acid; EML) ส่วนสูตรที่เสริมสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์และปรับปรุงกรดลอริกด้วยผงกรดลอริกให้เข้มข้นไม่น้อยกว่า 40% (EMPL) และสูตรที่แทนผงกรดลอริกบางส่วนด้วยผงโมโนลอรีน 1.8–2.0% (Mono-EMPL) การทดลองนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก ศึกษาผลของชนิดอิมัลชัน 2 รูปแบบ (EML และ EMPL) และระดับการป้อน 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (3.5 มิลลิกรัม/ครั้ง $\times$ 3 ครั้ง) และระดับสูง (3.5 มิลลิกรัมครั้งแรก และ 6.5 มิลลิกรัมในครั้งที่ 2 และ 3) ใช้ลูกสุกรแรกเกิดจำนวน 1,063 ตัว จากแม่สุกร 75 ตัว โดยมีกลุ่มควบคุม (CON) ที่ได้รับยาปฏิชีวนะ Toltrazuril (100 มก./โดส; 2 มล./โดส) ทุกกลุ่มทดลองได้รับการป้อนสิ่งทดลอง 3 ครั้ง ได้แก่ ภายใน 8–12 ชั่วโมงหลังคลอด, วันที่ 3–5 และวันที่ 18 หรือ 8–12 ชั่วโมงก่อนหย่านม เก็บข้อมูลน้ำหนักตัวแรกเกิด นาน 24 ชั่วโมง, 3 วัน และ 18 วันหลังคลอด พร้อมสุ่มเจาะเลือดในวันที่ 18 หลังคลอด วางแผนการทดลองแฟกทอเรียลเสริม (augmented factorial design) (2×2) + control พบว่า H-EMPL และ H-EML มีการเพิ่มน้ำหนักสุกรใน 24 ชั่วโมงแรกมากกว่ากลุ่มควบคุม (0.13 vs. 0.09 กก., $P=0.001$) และลดอัตราการตายก่อนหย่านม (19.7% vs. 29.4%, $P=0.001$) โดยเฉพาะ L-EMPL ลดอัตราการตายจากท้องเสียชัดเจน (2.96 vs. 10.24%, $P=0.001$) ทั้งยังให้ค่า Total protein (TP)

และ Globulin (GB) สูงกว่า CON อย่างมีนัยสำคัญ (TP: 5.40 vs. 4.12 g/dL, $P<0.05$; GB: 1.71 vs. 0.79 g/dL, $P<0.05$) ส่วนที่สอง ประเมินประสิทธิภาพของอิมัลชัน L-EMPL เทียบกับ Mono-EMPL และกลุ่มควบคุม (CON; Toltrazuril 2 มล./ครั้ง) โดยป้อนเข้าทางปาก 3 ครั้ง (3.5 มล./ครั้ง) ใช้ลูกสุกร 509 ตัว จากแม่สุกร 36 ตัว ออกแบบการทดลองแบบ CRD โดยคัดเลือกลูกสุกรเพศเมีย 108 ตัว (6 ตัว/ครอก, 36 ตัว/กลุ่ม) จากแม่สุกร 18 ครอก ที่มีน้ำหนักแรกเกิดเฉลี่ย 1.20–1.50 กก. บันทึกพฤติกรรมทางสังคม 2 ครั้ง (หลังป้อนครั้งแรกและครั้งที่ 2) รวมถึงความถี่พฤติกรรมภายใน 2 ชั่วโมง และคะแนนบาดแผลใบหน้าในช่วง 5 วันแรก ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มน้ำหนัก 24 ชม.หลังเกิดของ Mono-EMPL และ EMPL ไม่ต่างกัน แต่สูงกว่า CON (0.13 vs. 0.13 vs. 0.09 กก., $P=0.001$) ปริมาณนมน้ำเหลือง และน้ำนมที่ได้รับสูงกว่า CON อย่างมีนัยสำคัญ (336.73, 327.73 vs. 276.76 ml/piglet, $P=0.006$) ADG วันที่ 18 สูงกว่า CON (172.38, 173.67 vs. 151.88 g/d, $P=0.046$) อัตราการตายก่อนหย่านมของ Mono-EMPL ต่ำกว่า CON (14.27% vs. 29.40%, $P=0.012$) และลดการตายจากการอดนมและท้องเสีย ($P<0.05$) ค่าเลือดพบว่า Mono-EMPL และ EMPL ให้ค่า TP และ GB สูงกว่า CON (TP: 5.13, 5.16 vs. 4.00 g/dL; GB: 1.76, 1.51 vs. 0.61, $P<0.001$) ขณะที่ค่า Eosinophil ของ Mono-EMPL ต่ำที่สุด (0.25 vs. 2.00, 3.75%, $P=0.002$) พฤติกรรมการบาดเจ็บบนใบหน้า (Facial Lesion Scores; FLS) ของกลุ่ม Mono-EMPL ต่ำสุด และลดต่อเนื่องจนเหลือคะแนน 0.56 ในวันที่ 5 ($P<0.05$) สะท้อนถึงพฤติกรรมแย่งเต้านมและการบาดเจ็บลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ดังนั้น สรุปได้ว่าอิมัลชัน EMPL และ Mono-EMPL เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดต่อลูกสุกรระยะดูดนม อย่างไรก็ตาม เนื่องจากรูปแบบการเตรียมและความเสถียรของอิมัลชันเป็นข้อจำกัดสำหรับการใช้จริงในเชิงอุตสาหกรรม จึงมีการแปรรูปด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อเปลี่ยนอิมัลชันเป็นผงไมโครเอนแคปซูล ในการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงไมโครเอนแคปซูลกรดไขมันสายกลางเข้มข้นที่ผสมสารสกัดกัญชงและโมโนลอริน โดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ประเมินและคัดเลือกสัดส่วนอิมัลซิไฟเออร์ Tween 80 (ชอบน้ำ) และ Span 80 (ชอบน้ำมัน) ที่เหมาะสมและให้เสถียรภาพสูงสุดของอิมัลชัน พร้อมศึกษาผลของปัจจัยระดับความเข้มข้นกรดลอริกในวัสดุแกนกลาง (core material) ที่ 40%, 50% และ 60% และปัจจัยอัตราส่วน Tween 80:Span 80 ที่ 90:10, 80:20, 65:35 และ 50:50 ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 3×4 ภายใต้ CRD โดยควบคุมปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ homogenizer ที่ 12,000 rpm, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) 40% และสัดส่วน core:wall ที่ 1:3 โดยใช้มอลโตเด็คตรินซ์ (MD) และโซเดียมเคซีเนต (NaCas) ที่อัตราส่วน 4:1 เป็นวัสดุห่อหุ้ม (wall material) ผลปรากฏว่าความเข้มข้นกรดลอริก 40–50% เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมวัสดุแกนกลาง (core materials; core) ต่อ (wall materials; wall) 1:3 เหมาะสม

สุด ($P=0.007$) เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมวัสดุแกนกลาง (core materials; core) ต่อ (wall materials; wall) 1:3 เหมาะสมสุด ($P=0.007$) โดยเฉพาะอัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์ Tween 80:Span 80 (80:20) ภายใต้การปั่น 12,000 rpm ให้ droplet size 79–103 นาโนเมตร และค่า zeta potential -42 ถึง -57 mV บ่งชี้ว่าอิมัลชันมีความเสถียรสูง สอดคล้องกับภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40X ที่แสดงอนุภาคเล็กกว่า 50 ไมโครเมตร โมเลกุลของอิมัลชันกระจายตัวสม่ำเสมอ และพบว่าสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ถูกห่อหุ้มภายในอย่างชัดเจน โดยนำสภาวะของการทดลองนี้ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยในส่วนที่สอง เพื่อ ศึกษาเงื่อนไขการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ตัวแปร ได้แก่ ปัจจัยความเข้มข้นกรดลอริกใน core material 2 ระดับ (40% และ 50%) และปัจจัยอุณหภูมิความร้อนเข้า 2 ระดับ (190°C และ 220°C) ในแบบแฟกทอเรียล 2×2 ภายใต้ CRD ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิ 220°C ร่วมกับกรดลอริก 50% ให้ผลผลิตสูงสุด 89.73% และ encapsulation efficiency 83.40% มีความหนาแน่นของผง 43.69% ปริมาณไขมันรวม 35.26% และค่า Gross Energy, Metabolizable Energy เท่ากับ 6,160.78 และ 5,838.88 kcal/g สูงกว่าสภาวะอื่น ($P<0.05$) ขณะที่สภาวะ 190°C และกรดลอริก 50% ยังสามารถสกัดส่วนกรดลอริกต่อกรดไขมันทั้งหมดสูงสุดถึง 45.36% ($P=0.002$) ภาพ Field emission scanning electron microscope (FESEM) ซึ่งสามารถช่วยยืนยันว่าอุณหภูมิ 220°C และกรดลอริก 50% ทำให้ได้ผิวทรงกลมของผงไมโครเอนแคปซูล มีความหนาแน่น เรียบเนียน และรูพรุนลดลง ส่วนที่สาม ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการคั้นรูปผงไมโครเอนแคปซูล โดยประเมินคุณภาพการละลายน้ำ และการฟื้นฟูรูปเป็นอิมัลชัน จากผงไมโครเอนแคปซูลทั้ง 4 สภาวะ ออกแบบการทดลองใช้แบบแฟกทอเรียล 3×3 ภายใต้ CRD โดยกำหนดปัจจัยอุณหภูมิของน้ำสำหรับละลาย (70, 80 และ 90°C) และปัจจัยสัดส่วนระหว่างผงไมโครเอนแคปซูลต่อน้ำร้อน (1:0.75, 1:1 และ 1:1.5) พบว่า อุณหภูมิน้ำ 70-80°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับละลายผงไมโครเอนแคปซูล และสัดส่วนผงต่อน้ำ 1:1–1:1.25 โดยเฉพาะอุณหภูมิของน้ำ 70-80°C กำหนดเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการการละลายและสำหรับการคั้นรูปผงไมโครเอนแคปซูลเป็นอิมัลชัน (ผงไมโครเอนแคปซูลที่มีความเข้มข้นกรดลอริก 50% ใช้อุณหภูมิทำแห้งแบบพ่นฝอย 220°C) ให้ค่าสัดส่วนการละลายน้ำของผงไมโครเอนแคปซูล (Water-Soluble Powder Ratio, WSPR) และสัดส่วนอิมัลชันขึ้นหลังการละลายน้ำ (Turbid Emulsion Ratio, TER) หลังละลาย 2 ชั่วโมงสูงถึง 99–100% บ่งชี้ว่านี่คือสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการละลายและการคั้นรูปผงไมโครเอนแคปซูล

การทดลองที่ 4 มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของผงไมโครเอนแคปซูลกรดไขมันสายกลางผสมสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์และโมโนลอรีนต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยา ชีวเคมี ภาวะรีดอกซ์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร่างกาย และจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรช่วงดูนวม โดยใช้ลูกสุกรแรกเกิดจำนวน 850 ตัวในการทดลอง ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) และ

แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม (Control group; CTR) กลุ่มที่ได้รับผงไมโครเอนแคปซูลผสมสารสกัดกัญชง (Microencapsulated Powder with Phytocannabinoid; MPL และกลุ่มที่ได้รับผงไมโครเอนแคปซูลผสมสารสกัดกัญชงและโมนอลอรีน (Microencapsulated Powder with Phytocannabinoid and Monolaurin; MPLM) ลูกสุกรได้รับสารทดลองทางปากในรูปอิมัลชันที่ละลายด้วยน้ำ RO สัดส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 70–80°C และควบคุมอุณหภูมิอิมัลชันให้อยู่ที่ 28–30°C ขณะป้อน โดยป้อน 3 ครั้งเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 ผลการทดลองพบว่า กลุ่ม MPLM ช่วยเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ย 3 วันแรกลูกสุกร (359.24 กรัม/วัน) ดีกว่ากลุ่มควบคุม (173.30 กรัม/วัน, $P < 0.001$) และลดอัตราการตายก่อนหย่านมลดลงถึง 7.27% เทียบกับ 25.20% ในกลุ่ม CTR ($P < 0.001$) ระดับกลูโคสในเลือดของกลุ่ม MPLM (132.37 mg/dL) และ MPL (113.62 mg/dL) สูงกว่า CTR (75.84 mg/dL, $P < 0.001$) ขณะเดียวกัน กลุ่ม MPLM มีระดับ IgA, IgM และ IgG สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) ค่า WBC และ Platelet count เพิ่มขึ้น ($P = 0.05, 0.014$) สะท้อนถึงสุขภาพและสถานะภูมิคุ้มกันที่ดีขึ้น อีกทั้งความหลากหลายจุลินทรีย์ในกลุ่ม MPLM พบ Firmicutes เพิ่มขึ้น ลด Proteobacteria และ Fusobacteriota ($P < 0.05$) อีกทั้ง Lactobacillaceae เพิ่มขึ้นถึง 20.88% ขณะที่ Clostridiaceae ลดลงเหลือ 1.78% เมื่อเทียบกับ 7.58% ของ CTR ($P = 0.015$) ผลการวิเคราะห์ UniFrac แสดงความแตกต่างชัดเจนระหว่าง MPL และ MPLM ($R = 0.179, P = 0.003$) สะท้อนว่า MPLM สามารถปรับสมดุลโครงสร้างไมโครไบโอม ส่งผลเชิงบวกต่อสุขภาพลำไส้และการเจริญเติบโตของลูกสุกร

จากการศึกษา สรุปได้ว่าการเสริมลูกสุกรเกิดใหม่ด้วยไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีกรดลอริก เข้มข้นร่วมกับไฟโตแคนนาบินอยด์และกลีเซอรอลโมนอลอเรต ทั้งในรูปแบบอิมัลชันและผงไมโครเอนแคปซูล เป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในการลดการใช้ยาปฏิชีวนะ ส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตกระดุนภูมิคุ้มกัน และส่งเสริมการเลี้ยงสุกรอย่างยั่งยืน

Title	EFFECTS OF MEDIUM-CHAIN TRIGLYCERIDE OIL CONTAINING PHYTOCANNABINOIDS FROM HEMP LEAVES AND CONCENTRATED LAURIC ACID ON PRODUCTION PERFORMANCE IN SUCKLING PIGLETS
Author	Acting. Sub. Lt. Adisak Kongkeaw
Advisor	Associate Professor Wandee Tartrakoon, Ph.D
Co-Advisor	Associate Professor Rangsun Charoensook, Ph.D Associate Professor Tossaporn Incharoen, Ph.D Associate Professor Noraphat Hwanhlem, Ph.D
Academic Paper	Doctor of Philosophy Thesis in Animal Science, Naresuan University, 2025
Keywords	Phyto cannabinoids, lauric acid, glycerol monolaurate, Microencapsulated powder

ABSTRACT

The swine industry and pig production, hyper-prolific sow breeds are commonly utilized to increase both the number of piglets per litter and the annual productivity per sow. However, this practice often results in low-birth-weight piglets and high pre-weaning mortality rates. The objective of this study was to investigate the effects of supplementing medium-chain triglycerides enriched with lauric acid, combined with phytocannabinoids extracted from hemp leaves and glycerol monolaurate, on growth performance, immune response, redox status, and intestinal microbial diversity in piglets. The study consisted of four main experiments as follows:

Experiment 1 aimed to determine the optimal conditions for phytocannabinoid extraction and was divided into two parts. The first part investigated the raw hemp material to establish the optimal extraction conditions, using hemp leaves and hemp roots. The raw materials were prepared through a process of selection, cleaning, air drying, oven drying, grinding, and sieving through a 100-micron sieve before being packed into cloth bags. Subsequently, a preliminary decarboxylation was performed using an autoclave at 121°C for 21 minutes. For the

solvent oil factor, Refined Palm Kernel Oil (RPKO) and Crude Palm Kernel Oil (CPKO) were utilized, supplemented with the emulsifier Tween 80 at a rate of 2% (w/v), sodium erythorbate at 0.3% (w/v), and butylated hydroxytoluene (BHT) at 0.8–1.0%. The mixture was then placed in a hot air oven at 110°C for 4 hours. The experiment was designed as a 2 × 2 factorial in a Completely Randomized Design (CRD). At the end of the accelerated reaction, the quantities of CBD (0.168 and 0.073% w/w) and CBDA (0.083 and 0.267% w/w) extracted from hemp leaves were found to be significantly higher than those from hemp roots ($P < 0.05$). The use of Crude Palm Kernel Oil (CPKO) as a solvent yielded superior results compared to RPKO, with a total phenolic content (TPC) of 48.34 mg GAE/g DW, total antioxidant capacity (TAC) of 25.65 mg GAE/g DW, and DPPH, ABTS, and FRAP antioxidant activities of 26.48%, 46.40%, and 38.33%, respectively. These conditions were subsequently applied to the second part of the experiment, which evaluated the influence of the ratio of hemp leaves to CPKO oil (6%, 12%, and 18%) and the duration of heating for accelerated decarboxylation (0, 2, 4, 6, and 8 hours). The experimental design was a 3 × 5 factorial in a CRD. Under all conditions, the mixtures were supplemented with Tween 80, sodium erythorbate, and BHT as specified and heated at 110°C. The results indicated that the optimal condition was heating at 110°C for 6 hours with a 12% ratio of hemp leaves to CPKO oil. This condition yielded a TPC of 57.38 mg GAE/g DW, a TAC of 21.55 mg GAE/g DW, and DPPH, ABTS, and FRAP antioxidant activities of 34.43%, 64.33%, and 53.18%, respectively.

Experiment 2 was conducted to investigate the effects of medium-chain triglyceride (MCT) emulsions on growth performance, hematological indices, and blood biochemistry of suckling piglets. This emulsion formulation was developed based on the optimal phytocannabinoid extraction results from Experiment 1, which were incorporated into an energy-supplement emulsion designed for neonatal piglets. The emulsion formulations comprised palm kernel oil, rice bran oil, palm oil, soybean oil, and lauric acid powder. The treatments included: EML (Emulsion of Medium-Chain Fatty Acids containing 30% Lauric Acid): lauric acid content $\geq 30\%$, EMPL (Emulsion containing 40% Lauric Acid + Phytocannabinoids): lauric acid content $\geq 40\%$ supplemented with phytocannabinoids, Mono-EMPL (Emulsion containing 40% Lauric

Acid + Phytocannabinoids + Monolaurin): lauric acid $\geq 40\%$ in which 1.8–2.0% of lauric acid powder was substituted with monolaurin powder. This experiment was divided into two parts. The first part studied the effects of two emulsion types (EML and EMPL) and two administration levels: a low level (3.5 mL/dose $\times$ 3 doses) and a high level (3.5 mL for the first dose, and 6.5 mL for the second and third doses). A total of 1,063 newborn piglets from 75 sows were used, with a control group (CON) receiving the antibiotic Toltrazuril (100 mg/dose; 2 mL/dose). All experimental groups were administered the test substances three times: within 8–12 hours post-farrowing, on days 3–5, and on day 18 or 8–12 hours before weaning. Data on birth weight, and body weight at 24 hours, 3 days, and 18 days postpartum were collected. Blood samples were randomly collected on day 18 postpartum. An augmented factorial design [(2 $\times$ 2) + control] was employed. The results showed that the H-EMPL and H-EML groups had greater weight gain in the first 24 hours compared to the control group (0.13 vs. 0.09 kg, $P=0.001$) and a lower pre-weaning mortality rate (19.7% vs. 29.4%, $P=0.001$). Specifically, the L-EMPL group showed a significant reduction in mortality due to diarrhea (2.96 vs. 10.24%, $P=0.001$). Additionally, this group exhibited significantly higher Total Protein (TP) and Globulin (GB) levels than the CON group (TP: 5.40 vs. 4.12 g/dL, $P<0.05$; GB: 1.71 vs. 0.79 g/dL, $P<0.05$). The second part evaluated the efficacy of the L-EMPL emulsion compared to the Mono-EMPL emulsion and a control group (CON; Toltrazuril 2 mL/dose), administered orally three times (3.5 mL/dose). A total of 509 piglets from 36 sows were used in a Completely Randomized Design (CRD). From 18 litters, 108 female piglets (6 piglets/litter, 36 piglets/group) with an average birth weight of 1.20–1.50 kg were selected. Social behavior was recorded twice (after the first and second administrations), including the frequency of behaviors within a 2-hour period and facial lesion scores during the first 5 days. The results indicated that the 24-hour weight gain post-farrowing did not differ between the Mono-EMPL and EMPL groups, but both were higher than the CON group (0.13 vs. 0.13 vs. 0.09 kg, $P=0.001$). Colostrum intake was significantly higher than in the CON group (336.73, 327.73 vs. 276.76 mL/piglet, $P=0.006$). The Average Daily Gain (ADG) on day 18 was higher than in the CON group (172.38, 173.67 vs. 151.88 g/d, $P=0.046$). The pre-weaning mortality rate for the Mono-EMPL group was lower than the CON group (14.27% vs. 29.40%, $P=0.012$),

with reduced mortality from starvation and diarrhea ($P<0.05$). Blood analysis revealed that the Mono-EMPL and EMPL groups had higher TP and GB values than the CON group (TP: 5.13, 5.16 vs. 4.00 g/dL; GB: 1.76, 1.51 vs. 0.61, $P<0.001$), while the Eosinophil count in the Mono-EMPL group was the lowest (0.25 vs. 2.00, 3.75%, $P=0.002$). Facial Lesion Scores (FLS) were lowest in the Mono-EMPL group, continuously decreasing to a score of 0.56 by day 5 ($P<0.05$), reflecting reduced teat competition and injury compared to other groups. Therefore, it can be concluded that the EMPL and Mono-EMPL emulsions are the most suitable formulas for suckling piglets. However, due to limitations in the preparation and stability of the emulsion for practical industrial use, a spray-drying process was employed to convert the emulsion into a microencapsulated powder in Experiment 3

Experiment 3 aimed to determine the optimal conditions for producing microencapsulated powders of medium-chain fatty acids (MCFAs) enriched with hemp extract and monolaurin, using spray-drying technology. The experiment was divided into three parts. The first part was evaluated and selected the optimal ratio of Tween 80 (hydrophilic) and Span 80 (lipophilic) emulsifiers to achieve maximum emulsion stability. This part also studied the effects of two factors: the concentration of lauric acid in the core material at 40%, 50%, and 60%, and the Tween 80: Span 80 ratio at 90:10, 80:20, 65:35, and 50:50. The experiment was designed as a 3×4 factorial in a Completely Randomized Design (CRD). Controlled factors included a homogenizer speed of 12,000 rpm, a total soluble solids (TSS) content of 40%, and a core-to-wall ratio of 1:3, using maltodextrin (MD) and sodium caseinate (NaCas) at a 4:1 ratio as the wall material. The results showed that a lauric acid concentration of 40–50% was the most suitable proportion for the core-to-wall material ratio of 1:3 ($P=0.007$). Specifically, an emulsifier ratio of Tween 80: Span 80 at 80:20, under 12,000 rpm homogenization, yielded a droplet size of 79–103 nm and a zeta potential of -42 to -57 mV, indicating high emulsion stability. This was consistent with microscopic images at 40X magnification, which showed particles smaller than 50 μm with uniform emulsion molecule distribution and clear encapsulation of the phytocannabinoid extract within the core. The conditions from this experiment were used for the spray drying study in the second part. The second part investigated the spray drying

conditions using two variables: the lauric acid concentration in the core material at two levels (40% and 50%) and the inlet air temperature at two levels (190°C and 220°C), in a 2×2 factorial design under a CRD. The results demonstrated that a temperature of 220°C combined with 50% lauric acid yielded the highest encapsulation yield (89.73%) and encapsulation efficiency (83.40%). This condition also resulted in a powder bulk density of 43.69%, a total fat content of 35.26%, and Gross energy and Metabolizable energy values of 6,160.78 and 5,838.88 kcal/g, respectively, which were significantly higher than other conditions ($P<0.05$). Meanwhile, the condition of 190°C with 50% lauric acid maintained the highest proportion of lauric acid to total fatty acids at 45.36% ($P=0.002$). Field emission scanning electron microscope (FESEM) images confirmed that the combination of 220°C and 50% lauric acid in core material produced a microencapsulated powder with a spherical surface that was dense, smooth, and had reduced porosity. The third part was examined the reconstitution conditions of spray dried powders by evaluating water solubility and emulsion recovery. A 3 × 3 factorial CRD was designed with two factors: water temperature (70, 80, 90°C) and powder to water ratios (1:0.75, 1:1, 1:1.5). Results showed that reconstitution was optimal at water temperatures of 70–80°C and powder-to-water ratios of 1:1–1:1.25. Particularly, powders produced under conditions of 50% lauric acid and 220°C inlet drying demonstrated water-soluble powder ratio (WSPR) and turbid emulsion ratio (TER) values of 99–100% after 2 hours of reconstitution, confirming this as the most suitable condition for solubility and recovery of encapsulated powders.

Experiment 4 aimed to evaluate the effects of a microencapsulated powder containing medium-chain fatty acids, phytocannabinoid extract, and monolaurin on the growth performance, hematological and biochemical parameters, redox status, body temperature changes, and intestinal microbiota of suckling piglets. A total of 850 newborn piglets were utilized in a completely randomized design (CRD) and allocated into three groups: a control group (CTR), a group receiving the Microencapsulated Powder with Phytocannabinoid (MPL), and a group receiving the Microencapsulated Powder with Phytocannabinoid and Monolaurin (MPLM). The piglets were orally administered the test substances as an emulsion, prepared by dissolving the powder in RO water at a 1:1 ratio at 70–80°C; the emulsion's temperature was maintained at

28–30°C during administration. The feeding was performed three times: (1) within 8–12 hours after birth, (2) on days 3–5 postpartum, and (3) on day 21 or 8–12 hours before weaning. The results revealed that the MPLM group exhibited a higher average daily gain during the first three days (359.24 g/day) compared to the control group (173.30 g/day, $P<0.001$) and reduced pre-weaning mortality to 7.27%, compared to 25.20% in the CTR group ($P<0.001$). Blood glucose levels in the MPLM (132.37 mg/dL) and MPL (113.62 mg/dL) groups were significantly higher than in the CTR group (75.84 mg/dL, $P<0.001$). Meanwhile, the MPLM group showed significantly elevated levels of IgA, IgM, and IgG ($P<0.01$), along with increased White Blood Cell (WBC) and platelet counts ($P=0.05$ and $P=0.014$, respectively), indicating improved health and immune status. Microbiome analysis revealed that MPLM increased the abundance of Firmicutes, while reducing Proteobacteria and Fusobacteriota ($P<0.05$). The relative abundance of Lactobacillaceae rose to 20.88%, whereas Clostridiaceae decreased to 1.78% compared with 7.58% in CTR ($P=0.015$). UniFrac analysis demonstrated clear microbial structural differences between MPL and MPLM groups ($R=0.179$, $P=0.003$), confirming that MPLM effectively modulated gut microbiota, contributing to enhanced intestinal health and growth performance.

These findings indicate that newborn piglets supplemented with medium-chain triglycerides enriched with lauric acid, combined with phytocannabinoids and glycerol monolaurate, in both emulsion and microencapsulated powder forms, represents a highly promising strategy to reduce antibiotic use, enhance productivity, strengthen immunity, and support sustainable swine production

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี ทาตระกุล ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้โอกาส และสละเวลาอันมีค่ามาเป็นที่ปรึกษา พร้อมทั้งให้

คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ เจริญสุข รองศาสตราจารย์ ดร. ทศพร อินเจริญ และ รองศาสตราจารย์ ดร.นรภัทร หวันเหล้ม พร้อมทั้ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สนธยา นุ่มท้วม กรรมการสอบโครงร่าง และสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ อีกทั้ง ศาสตราจารย์ ดร. ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์ หัวหน้าภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการในการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

ขอขอบพระคุณ ฟาร์มสุกรพันธุ์ วิไลพรฟาร์ม อำเภอตากลี จังหวัดนครสวรรค์ บริษัท พีทีอาร์ อาหารสัตว์ จำกัด และ บริษัท บุญมีฟาร์ม 30 จำกัด เป็นอย่างสูง ที่ได้ความอนุเคราะห์ และอนุญาตให้ใช้สัตว์สำหรับงานวิจัย พร้อมกันนี้ขอขอบพระคุณ บริษัท เพ็รส์สลิเทค จำกัด และ บริษัท เอ็นพีดีพลัส จำกัด กองทุนพัฒนาผู้ประกอบการเทคโนโลยีและนวัตกรรม และ งบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund; FF) พ.ศ. 2567 สนับสนุนงบประมาณงานวิจัย พร้อมด้วย โรงงานต้นแบบผลิตสารเสริมปศุสัตว์ และอุทยานวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร อำนวยความสะดวกหน่วยวิจัยพื้นฐาน สนับสนุนทุนแก่ผู้วิจัยฯ และสรรค์สร้างนวัตกรรมผลิตภัณฑ์สารเสริมผงไมโครเอนแคปซูเลชันน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีส่วนผสมของไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชงและกรดลอริกเข้มข้นสำหรับลูกสุกรช่วงดูดนม สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ นิสิตปริญญาตรี สาขาสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ นิสิตปริญญาโท-เอก ที่สนับสนุนและช่วยเหลืองานวิจัยในด้านต่าง ๆ

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ทำให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะสามารถเป็นต้นแบบกระบวนการสรรค์สร้างนวัตกรรมที่สามารถใช้ได้จริงในภาคอุตสาหกรรมเลี้ยงสุกรในประเทศไทย

ว่าที่ ร.ต. อติศักดิ์ คงแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก-จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ-ฎ
ประกาศคุณูปการ	ฏ
สารบัญตาราง	ถ-บ
สารบัญภาพ	ป-พ
Abbreviations	ภ-ย
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย	5
1.4 สมมติฐานของการวิจัย	11
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สถานการณ์และปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการตายก่อนหย่านมในลูกสุกรสายพันธุ์ลูกดก	12
2.2 สรีรวิทยาและข้อจำกัดของลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดน้อย	13
2.3 กรดไขมันสายกลาง (MCFAs) และไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCTs): กลไกการออกฤทธิ์และประโยชน์ในลูกสุกร	14
2.4 ศักยภาพของกรดลอริกและอนุพันธ์ (กลีเซอรอลโมโนลอเรต) ในการต้านจุลชีพ	16
2.5 ไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชงและระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ในลูกสุกร และ คุณสมบัติด้านการอักเสบและต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกัญชง	18
2.6 เทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูเลชันโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับผลิตภัณฑ์เสริมสำหรับสุกร	25
2.7 แนวทางการใช้สารสกัดจากธรรมชาติเพื่อทดแทนยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมเลี้ยงลูกสุกรช่วงดูตนม	33
2.8 การวิเคราะห์การทำนายฟังก์ชันเชิงจีโนมและการประยุกต์กับการศึกษาจุลินทรีย์ในลำไส้ (Gut microbiome)	41

3	วิธีดำเนินการวิจัย	
	กรอบแนวคิดการทดลอง	45
	3.1 การทดลองที่ 1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชง (Cannabis sativa L.) ด้วยน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบร่วมกับกระบวนการตีคาร์บอกซิเลชัน และศักยภาพในการใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมพลังงานสำหรับลูกสุกรตอนนม	45
		49
	การทดลอง 1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากราก และใบกัญชงโดยใช้น้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT) ชนิดต่างๆ	47
	การทดลอง 1.2 ผลของระยะเวลาในกระบวนการตีคาร์บอกซิเลชัน และอัตราส่วนการสกัดของกัญชงต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) ที่มีต่อองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์	49
	3.2 การทดลองที่ 2 ผลของการเสริมอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีสารไฟโตแคนนาบินอยด์และโมโนลอรีน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต พฤติกรรมทางสังคม ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือดในสุกรระยะตอนนม	51
	การทดลอง 2.1 ผลของอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางและระดับการให้ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ปริมาณนม น้ำเหลือง น้ำนมที่ได้รับ และค่าทางโลหิตวิทยาในลูกสุกรระยะตอนนม	55
	การทดลอง 2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางเสริมไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอรีน เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ยาปฏิชีวนะ ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือดลูกสุกรระยะตอนนม	60
	การทดลอง 2.3 การศึกษาพฤติกรรมลูกสุกรแรกเกิด: ผลกระทบของสารเสริมต่อความแข็งแรงและการเข้าถึงเต้านมแม่สุกร	65
	3.3 การทดลองที่ 3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงไมโครเอนแคปซูลกรดไขมันสายกลางเข้มข้นที่มีส่วนผสมของสารสกัดกัญชง และโมโนลอรีน โดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	67
	การทดลอง 3.1 การหาสัดส่วนอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน	68

	การทดลอง 3.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของผงไมโครเอนแคปซูล	74
	การทดลอง 3.3 การศึกษาปัจจัย และสภาวะการละลายน้ำของผงไมโครเอนแคปซูล	77
	3.4 การทดลองที่ 4 ผลของอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูลกรดไขมันสายกลางเข้มข้นร่วมกับสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอริน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมี ปฏิกริยารีดอกซ์ และจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรช่วงตุนม	80
4	ผลการวิจัย	
	4.1 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชง (<i>Cannabis sativa</i> L.) ด้วยน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบร่วมกับกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน และศักยภาพในการใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมพลังงานสำหรับลูกสุกรตุนม	88
	4.1.1 การสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากราก และใบกัญชงโดยใช้ น้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT) ชนิดต่างๆ	90
	4.1.2 ผลของระยะเวลาในกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันและอัตราส่วนการสกัดของกัญชงต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) ที่มีต่อองค์ประกอบทางพิษเคมีและศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์	90
	4.2 ผลของการเสริมไตรกลีเซอไรด์สายกลางร่วมกับสารไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอริน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือดในสุกรระยะตุนม	98
	4.2.1 ผลของสูตรอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง และระดับการให้ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ปริมาณนมน้ำเหลือง น้ามนที่ได้รับ และค่าทางโลหิตวิทยา ในลูกสุกรระยะตุนม	98
	4.2.2 ผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางเสริมไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอริน เปรียบเทียบกับกลุ่มที่เข้ายาปฏิชีวนะ ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือดลูกสุกรระยะตุนม	101

4.3 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงไมโครเอนแคปซูลเกรดไขมัน สายกลางเข้มข้นที่มีส่วนผสมของสารสกัดกัญชง และโมโนลอรีนโดยใช้ กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	113
4.3.1 ผลของการหาสัดส่วนอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมต่อเสถียรภาพของ อิมัลชัน	113
4.3.2 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำแห้งแบบพ่น ฝอยต่อคุณภาพของผงไมโครเอนแคปซูล	121
4.3.3 ผลการศึกษาปัจจัย และสภาวะการละลายน้ำของผงไมโครเอน แคปซูล	130
4.4 ผลของอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูลเกรดไขมันสายกลางร่วมกับสารสกัด ไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอรีน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทาง โลหิตวิทยาและชีวเคมี ปฏิกริยารีดอกซ์ และจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรช่วง ดุนนม	136
4.4.1 ผลอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูล MPL และ MPLM ในลูกสุกรช่วง ดุนนมเปรียบเทียบลูกสุกรในกลุ่ม CTR ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูก สุกร	136
4.4.2 ผลอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูลต่อตัวชี้วัดค่าทางโลหิตวิทยาและ ชีวเคมีในเลือด	141
4.4.3 ผลอิมัลชันผงไมโครแคปซูลต่อตัวชี้วัดระดับอิมมูโนโกลบูลิน (Immuno-globulin)	141
4.4.4 ผลอิมัลชันผงไมโครแคปซูลต่อตัวชี้วัดด้านสภาวะเครียด ออกซิเดชันในเลือด	142
4.4.5 ผลอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูลต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิร่างกาย ของลูกสุกร	142
4.4.6 ผลอิมัลชันผงไมโครแคปซูล MPL และ MPLM ในลูกสุกรช่วงดุน นมเปรียบเทียบลูกสุกรในกลุ่ม CTR ต่อความหลากหลายของประชากรจุลินทรีย์ ในระบบทางเดิน	149
4.4.7 การวิเคราะห์การทำนายฟังก์ชัน (Function Prediction) โดยใช้ heatmap ใช้รูปแบบการทำนาย COG, EC, KO, Pathways และ PFAM	179

	หน้า
5.1 อภิปรายผล	188
5.1.1 ผลการสกัดและประโยชน์ของไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบและ รากกัญชงเพื่อการใช้งานในปศุสัตว์	188
5.1.2 ผลของการเสริม MCT ร่วมสารไฟโตแคนนาบินอยด์และโม โนลอรีน ต่อการเจริญเติบโตและค่าทางโลหิตวิทยาของลูกสุกรระยะดูนัม	191
5.1.3 การพัฒนาผงไมโครแคปซูลกรดไขมันสายกลางเสริมสารสกัด กัญชง และโมโนลอรีนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับการใช้งานใน อุตสาหกรรมสารเสริมสำหรับลูกสุกร	195
5.1.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร่างกายของลูกสุกรหลังจาก เสริมผงไมโครแคปซูลเลชันที่มีส่วนผสมกรดไขมันสายกลางและสารสกัดกัญชง	199
5.1.5 ผลของอิมัลชันผงไมโครแคปซูลกรดไขมันสายกลางร่วมกับ สารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอรีนต่อความหลากหลายจุลินทรีย์ใน ระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรช่วงดูนัม	200
5.2 สรุปผลการวิจัย	206
5.3 ข้อเสนอแนะ	221
บรรณานุกรม	208
ประวัติผู้วิจัย	230
ภาคผนวก ก.	234
ภาคผนวก ข.	251

Table of Contents

Table	page
2.1 Standard blood biochemistry values piglets.	40
3.1 Fatty acid composition of medium-chain triglyceride emulsions (EML, EMPL, and Mono-EMPL)	53
3.2 Chemical Composition, Quality Parameters, and Microbiological Safety Analysis medium-chain triglyceride emulsions (EML, EMPL, and Mono-EMPL)	54
3.3 Emulsion condition of Lauric acid concentration in core materials more than 40% and evaluation of HLB Value (Hydrophilic-lipophilic balance)	69
3.4 Emulsion condition of Lauric acid concentration in core materials is more than 50% and evaluation of HLB Value (Hydrophilic-lipophilic balance)	70
3.5 Emulsion condition of Lauric acid concentration in core materials is more than 60% and evaluation of HLB Value (Hydrophilic-lipophilic balance)	71
4.1 The phytochemical and nutritional composition of hemp leaves and roots	88
4.2 Hemp extract combined with medium-chain fatty acid triglyceride oil on the antioxidant potential of Phyto cannabinoid oil extracts.	91
4.3 Effect of decarboxylation duration and the ratio of hemp and medium-chain fatty acid triglyceride oil on total phenolic content (TPC) and antioxidant capacity of hemp leaves extract	92
4.4 Fatty acid composition of crude palm kernel oil and Phyto cannabinoid oil extracts as raw materials for prototype energy supplement products for livestock	96

Table		page
4.5	Chemical composition, heavy metal test, and total plate count of crude palm kernel oil (CPKO) and CPKO contained Phyto cannabinoid oil extracts	97
4.6	Effects of oral administration emulsion medium-chain triglyceride emulsions containing lauric acid with or without Phyto cannabinoids, and the dose level, on the performance of suckling piglets.	104
4.7	Effects of oral administration emulsion medium-chain triglyceride emulsions containing lauric acid, with or without Phyto cannabinoids, and dose level on hematological parameters and serum protein profiles of pre-weaning piglets.	106
4.8	Effects of oral administration emulsion medium-chain triglyceride emulsions containing lauric acid and Phyto cannabinoids with or without monolaurin on the performance of suckling piglets.	108
4.9	Effects emulsions of medium-chain triglyceride containing lauric acid and Phyto cannabinoids, with or without monolaurin, on hematological parameters and serum protein profiles of pre-weaning piglets.	110
4.10	Optimum emulsion conditions (Oil-in-Water): Effects of formulation variables on total soluble solids (TSS), pH, and creaming index (CI).	116
4.11	Optimum emulsion formulation parameters and physicochemical properties for oil-in-water systems.	118
4.12	Effects of lauric acid concentration in core materials and Tween 80 to Span 80 ratio on droplet size and zeta potential of nanoemulsions.	120
4.13	Effects of spray drying process parameters, lauric acid concentration in core materials, and Inlet air temperature on the	123

Table	page
physical properties and encapsulation efficiency of microencapsulated powder	
4.14 Effects of lauric acid concentration and inlet air temperature on the chemical composition of microencapsulated powder.	125
4.15 Effects of lauric acid concentration and inlet air temperature on the fatty acid profile of microencapsulated powder.	126
4.16 Effects of Spray Drying Conditions (Lauric Acid Concentration and Inlet Air Temperature) on Particle Shape, Surface Texture, Porosity, and Uniformity of Microencapsulated Powder Observed by FESEM	127
4.17 Effect of water temperature and powder-to-water ratio on solubility, turbid emulsion ratio, and water-soluble powder ratio of microencapsulated powders.	132
4.18 Effects of microencapsulated emulsion containing medium-chain fatty acid, Phyto cannabinoid extract, and monolaurin on growth performance and diarrhea incidence in suckling piglets	138
4.19 Effects of microencapsulated emulsion containing medium-chain fatty acid, Phyto cannabinoid extract, and monolaurin on Hematological and biochemical parameters in suckling piglets.	140
4.20 Effects of microencapsulated emulsion containing medium-chain fatty acid, Phyto cannabinoid extract, and monolaurin on Immunoglobulin levels (IgA, IgM, IgG) in suckling piglets.	141
4.21 Effects of microencapsulated emulsion containing medium-chain fatty acid, Phyto cannabinoid extract, and monolaurin on Antioxidant enzyme activities (GPx, SOD) and lipid peroxidation marker (MDA) in suckling piglets	142
4.22 Thermal parameters, physical data, and emissivity of piglets at different postnatal ages	143
4.23 Body temperature table of piglets between 12 hours after birth and 21 days of age, compared to experimental groups.	147

Table	page
4.24 Alpha diversity indicates fecal microbiome in suckling pigs according to dietary treatment group.	152
4.25 Percent relative abundance of fecal bacterial families across dietary treatment groups in suckling pigs.	163
4.26 Percent the relative abundance of genus bacterial across treatment groups in suckling pigs.	166
4.27 ANOSIM Test results showing R- values and statistical significance (P-values) for pairwise comparisons of fecal microbial communities across dietary treatment groups.	178
4.28 Mult response permutation procedure (MRPP) results showing within-group agreement (A-values) and statistical significance (P-values) for pairwise comparisons of fecal microbial communities across treatment groups	178
A1 Effects of birth weight stratification and oral administration of lauric acid-based medium-chain triglyceride emulsions, with or without phyto-cannabinoids, on growth performance, colostrum intake, and milk intake in suckling piglets.	235
A2 Effects of birth weight stratification and oral administration of lauric acid-based medium-chain triglyceride emulsions and phyto-cannabinoids, with or without monolaurin, on growth performance, colostrum intake, and milk intake in suckling piglets.	236
A3 Comparative growth performance, colostrum and milk intake of piglets with microencapsulated medium-chain fatty acid and Phyto cannabinoid emulsion supplementation according to birth weight category during the suckling period.	238
A4 Quality assessment of dNA and PCR products from piglet fecal samples.	242
A5 Alpha diversity indices of fecal microbiome in suckling pigs under different dietary treatments and birth weights	244

Table		page
A6	Databases for microbial function prediction by heatmap analysis (COG, EC, KO, Pathways, และ PFAM)	254
A7	Classification and functional overview of COG (clusters of orthologous groups) classes in piglet gastrointestinal tract	255
A8	Classification and functional overview of enzyme commission (EC) classes in piglet gastrointestinal Tract	256
A9	KEGG Orthology (KO) and key functional changes in the gastrointestinal system of suckling pigs	257
A10	KEGG Pathways heatmap summary for piglet gastrointestinal function: pathway IDs, functions, and biological roles.	258
A11	Heatmap analysis of PFAM markers associated with gastrointestinal functional changes in Piglets.	259

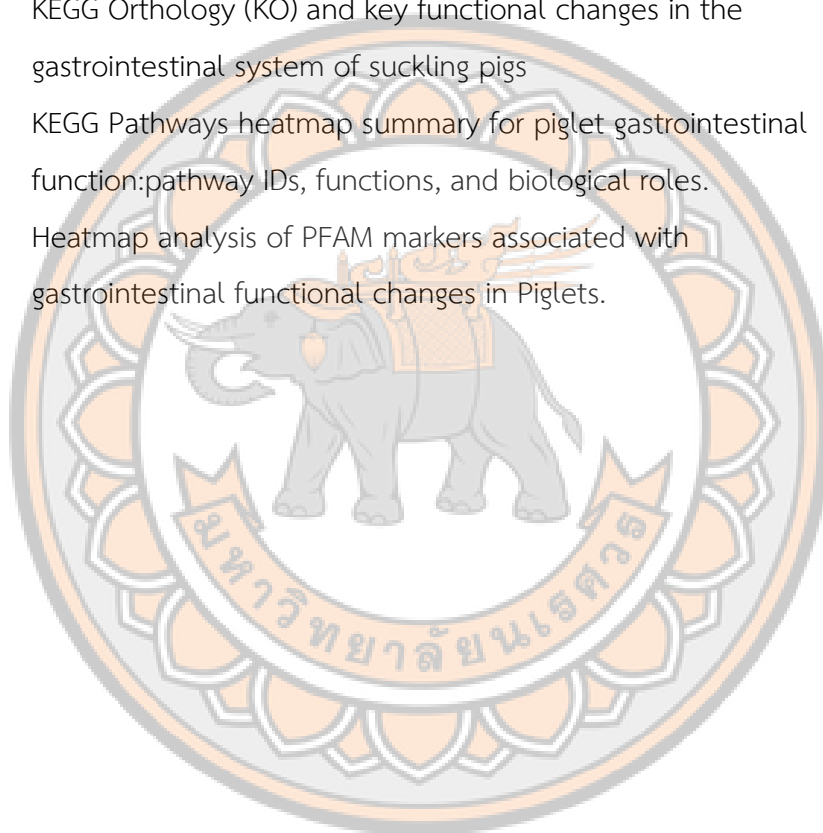


Figure of Contents

Figure	page
1.1 The diagram provides an overview of the research steps.	6
2.1 Overview of antioxidant property of cannabinoids, especially CBD, have been shown to act as scavengers of free radicals via neutralizing the reactive molecules, preventing them from causing cellular damage.	22
2.2 Endocannabinoid system (ECS) interacts with barriers, immune, and microbiome systems.	25
2.3 Structural characteristics of the emulsion before spray drying (A) and the microencapsulated powder following spray drying (B).	26
2.4 Schematic representation of phospholipid capsule formation illustrating the balance between hydrophilic and lipophilic properties (Hydrophilic-Lipophilic Balance, HLB), resulting in the formation of a lipid bilayer surrounding the MCT oil core.	29
2.5 Schematic depiction of the HLB balance and formation of a phospholipid bilayer encapsulating MCT oil, stabilized by Tween 80 (hydrophilic) and Span 80 (lipophilic), resulting in a lipid bilayer surrounding the MCT oil core.	30
3.1 Diagram showing the design of experiment 2.1	57
3.2 Diagram showing the design of experiment 2.2	62
3.3 Grading scale for facial lesion scores (0–3) in neonatal piglets	66
3.4 Ingredients diagram for microencapsulation powder preparation	75
3.5 Diagram showing the design of experiment 4	81
3.6 Calculation of pig weight mass (kg)	82
3.7 FLIR C5 camera and camera accessories	85
3.8 Weighing scale and photo box with no external light	85
3.9 Shows the placement of five black tape markers on piglets at the following positions: 1) Ocular (eye socket) 2) Nose (on the front of	86

Figure	page
the snout) 3) Body (at the P2 position, which corresponds to the last rib) 4) Testicles area	
4.1 The phytochemical composition of hemp leaves and roots is revealed through spectral analysis using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)	89
4.2 Schematic diagram showing the changes of total phenolic content, total antioxidant capacity, DPPH assay, ABTS assay, and FRAP assay concerning time (0, 2, 4, 6, and 8 h) upon heating for inducing decarboxylation to extract Phyto cannabinoids from hemp leaves (A & B)	94
4.2 Schematic diagram showing the changes of total phenolic content, total antioxidant capacity, DPPH assay, ABTS assay, and FRAP assay concerning time (0, 2, 4, 6, and 8 h) upon heating for inducing decarboxylation to extract Phyto cannabinoids from hemp leaves (C - E)	103
4.3 A comparative diagram of the cannabinoid content in oils, comparing the proportion of hemp leaves to 12% CPKO and the heating duration of 4 and 6 h	95
4.4 Behavioral responses of piglets following first oral administration of experimental emulsions: (A) Suckling frequency (SF), (B) Latency to first suckling (LFS), and (C) Teat order establishment (TOE) during the initial 8–12 hours postpartum; (D) Suckling frequency (SF), (E) Latency to first suckling (LFS), and (F) Teat order establishment (TOE) at 3–5 days postpartum	112
4.5 Facial lesion scores in piglets from day 1 to 5 postpartum treatment groups.	113
4.6 Microscopic images of oil-in-water emulsions state (Mono-EMPL) (magnification 40X; 50 μ m)	115
4.7 Morphological characteristics of spray drying microspheres examined by field emission scanning electron microscopy (FESEM)	128

Figure	page
4.8 Piglets fed RO-H ₂ O (CTR) orally 24 hours after birth.	144
4.9 Piglets fed MPL orally 24 hours after birth.	144
4.10 Piglets fed EPML orally 24 hours after birth.	144
4.11 Low weight piglets after being fed experimental treatments (A&B=CTR, C&D=MPL, E&F=EPML).	145
4.12 Body temperature changes in 14-day-old piglets (A&B=CTR, C&D=MPL, E&F=EPML).	146
4.13 Boxplot comparison of alpha diversity indices in fecal microbiome of suckling pigs under different dietary treatments. (CTR, MPL, MPLM) (A: chao1, B: dominance, C: Simpson, D: Shannon, E: pielou_e (evenness), F: observed_features)	151
4.14 Rarefaction curves (A) and species accumulation Boxplot (B) displaying sequencing depth saturation and microbial diversity in fecal samples of suckling pigs under different dietary treatments	153
4.15 Rarefaction curves illustrating relative abundance and sequencing depth saturation of bacterial communities in fecal samples of suckling pigs under different dietary treatments	155
4.16 Phylogenetic tree and relative abundance of bacterial phylum in fecal microbiome of suckling pigs under different dietary treatments	156
4.17 Phylogenetic tree and relative abundance of bacterial phylum in fecal microbiome of suckling pigs across dietary treatment groups	157
4.18 Beta diversity heatmap displaying pairwise phylogenetic community dissimilarity among fecal microbiome of suckling piglets under different dietary treatments	159
4.19 Relative abundance of fecal bacterial phylum in suckling pigs under different treatments (A) and treatment groups (B) in suckling pigs	160
4.20 Relative abundance of fecal bacterial family in suckling pigs under different treatments (A) and treatment groups (B) in suckling pigs	161
4.21 Relative abundance of fecal bacterial genus in suckling pigs under different treatments (A) and treatment groups (B) in suckling pigs	164

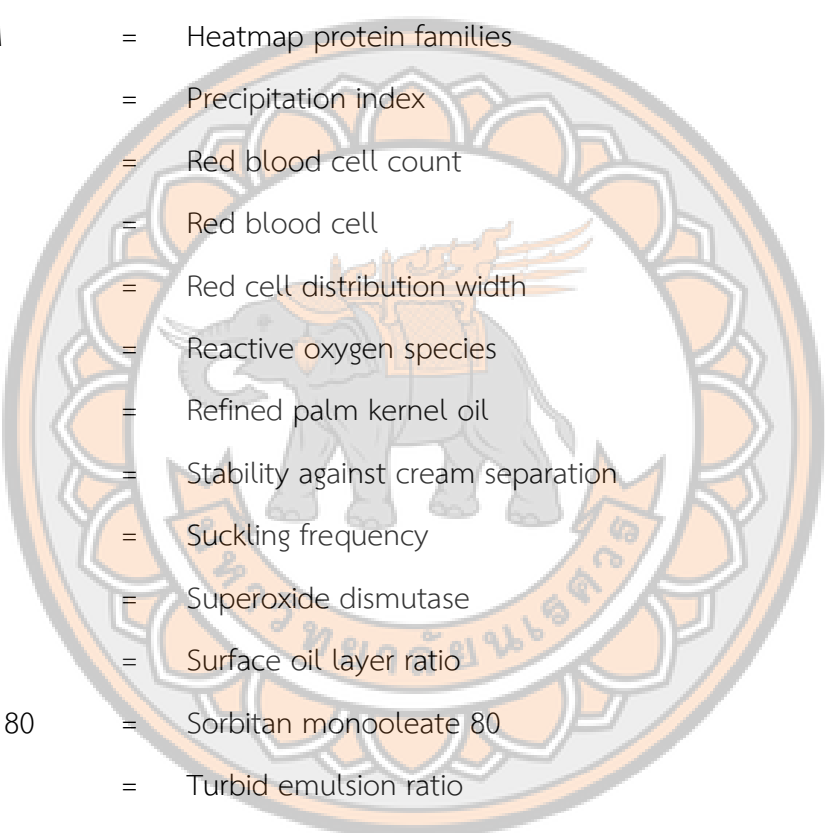
Figure		page
4.22	Taxonomic abundance cluster heatmap of bacterial genus based on relative abundance in fecal microbiome of suckling pigs under different treatments	167
4.23	Taxonomic heatmap showing relative abundance of bacterial genus in fecal samples from suckling pigs across treatments	168
4.24	Venn and Flower diagram	169
4.25	Ternary plots comparing key bacterial genera based on relative abundance in fecal microbiome of suckling pigs under different dietary treatments (family)	171
4.26	Ternary plots comparing key bacterial genera based on relative abundance in fecal microbiome of suckling pigs under different dietary treatments (genus)	171
4.27	Pairwise group comparisons of phylogenetic distances in fecal microbiome of suckling piglets under different dietary treatments using unifrac metric (A: weighted unifrac distance; B: unweighted unifrac distance)	172
4.28	Principal coordinate analysis (PCoA) of fecal microbial communities based on weighted unifrac distance (A) and unweighted unifrac distance (B) among suckling piglets under different dietary treatments	178
4.29	UPGMA cluster tree based on weighted unifrac distance depicting phylogenetic relationships and microbial community similarity among fecal samples of suckling piglets under different dietary treatments	175
4.30	UPGMA cluster tree based on unweighted unifrac distance depicting phylogenetic relationships and microbial community dissimilarity among fecal samples of suckling piglets under different dietary treatments	177
4.31	Phylum-Level comparison of fecal microbial abundance between control (CTR) and MPL groups by T-test	178

Figure	page
4.32 Phylum level comparison of fecal microbial abundance between MPL and MPLM groups by T-test	179
4.33 Genus Level Comparison of Fecal Microbial Abundance Between Control (CTR) and MPLM groups by T-test	180
4.34 Microbial Function Prediction Based on COG (Clusters of Orthologous Groups).	181
4.35 Microbial function prediction based on EC (enzymes commission numbers).	183
4.36 Microbial Function Prediction Based on KO (KEGG Orthology).	184
4.37 Microbial Function Prediction Based on KEGG Pathways.	185
4.38 Microbial function prediction based on PFAM markers.	187
4.39 Phylum level microbial community profile based on metagenome sequencing	189
4.40 Genus's level microbial community profile based on metagenome sequencing	189
A1 Agarose gel electrophoresis of DNA and PCR products from Piglet fecal samples	246

Abbreviations

ABTS	=	2,2-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)
ADG	=	Average daily gain
ALP	=	Alkaline phosphatase
ALT	=	Alanine aminotransferase
AST	=	Aspartate aminotransferase
AW	=	Water activity
BHT	=	Butylated hydroxytoluene
BUN	=	Blood urea nitrogen
CAT	=	Catalase
CBC	=	Cannabichromene
CBD	=	Cannabidiol
CBDA	=	Cannabidiolic acid
CBDV	=	Cannabidivarin
CBN	=	Cannabinol
CI	=	Creaming index
COG	=	Clusters of orthologous groups
COX-2	=	Cyclooxygenase-2
CPKO	=	Crude palm kernel oil
CTR	=	Control group was fed with RO (Reverse osmosis water)
DPPH	=	2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
EC	=	Enzyme commission
EML	=	Emulsion of medium chain triglycerides with 30% lauric acid
EMPL	=	Emulsion of medium chain triglycerides with phyto cannabinoids
FESEM	=	Field emission scanning electron microscope
FF	=	Foam fraction
FLS	=	Facial lesion score

FRAP	=	Ferric reducing antioxidant power
GML	=	Glyceryl monolaurate
GPx	=	Glutathione peroxidase
Hb	=	Hemoglobin concentration
Hct	=	Hematocrit
H-EML	=	High dose emulsion of medium chain triglycerides with 30% lauric acid
H-EMPL	=	High dose emulsion of medium chain triglycerides with 40% lauric acid plus phyto cannabinoids
HLB	=	Hydrophilic-Lipophilic Balance
IgA	=	Immunoglobulin A
IgG	=	Immunoglobulin G
IgM	=	Immunoglobulin M
KEGG	=	Kyoto encyclopedia of genes and genomes
KO	=	KEGG Orthology
LCTs	=	Long-chain triglycerides
L-EML	=	Low dose emulsion of medium chain triglycerides with 30% lauric acid
L-EMPL	=	Low dose emulsion of medium chain triglycerides with 40% lauric acid plus phyto cannabinoids
LFS	=	Latency to first suckle
MCFAs	=	Medium-chain fatty acids
MCH	=	Mean corpuscular hemoglobin
MCHC	=	Mean corpuscular hemoglobin concentration
MCT	=	Medium-chain triglycerides
MDA	=	malondialdehyde
Mono-EMPL	=	Emulsion of medium chain triglycerides with 40% lauric acid plus phyto cannabinoids and monolaurin



MPL	=	Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids, which contain concentrated medium-chain fatty acids, lauric acid and hemp leaf extract
MPLM	=	the same as MPL but supplemented with monolaurin
NF- K B	=	Nuclear Factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells
OI	=	Oiling off index
PDI	=	Polydispersity index
PFAM	=	Heatmap protein families
PI	=	Precipitation index
RBC	=	Red blood cell count
RBC	=	Red blood cell
RDW	=	Red cell distribution width
ROS	=	Reactive oxygen species
RPKO	=	Refined palm kernel oil
SACS	=	Stability against cream separation
SF	=	Suckling frequency
SOD	=	Superoxide dismutase
SOLR	=	Surface oil layer ratio
Span 80	=	Sorbitan monooleate 80
TER	=	Turbid emulsion ratio
THC	=	Tetrahydrocannabinol
THCA	=	Tetrahydrocannabinolic acid
THCV	=	Tetrahydrocannabivarin
TOE	=	Teat order engagement
TPC	=	Total antioxidant capacity
TSS	=	Total soluble solids
Tween 80	=	Polyoxymethylene sorbitan oleate 80
WBC	=	White blood cell count

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

อุตสาหกรรมผลิตสุกรในยุคใหม่กำลังเผชิญกับความขัดแย้งครั้งสำคัญระหว่างความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและสวัสดิภาพสัตว์ การพัฒนาการปรับปรุงพันธุ์อย่างรวดเร็วเพื่อเพิ่มจำนวนลูกสุกรต่อครอกให้สูงกว่า 16 ตัว หรือ จำนวนลูกหย่านมต่อแม่ต่อปี มากกว่า 30 ตัวต่อแม่ต่อปี ซึ่งเป็นก้าวสำคัญในการเพิ่มผลผลิต กลับกลายเป็นผลเชิงลบในอุดมคติ ซึ่งนำมาซึ่งปัญหาลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดต่ำ (<1.20 กก.) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้อัตราการตายก่อนหย่านม (Pre-weaning mortality rate) ในแม่สุกรสายพันธุ์ลูกตก (Hyper-prolific breeds) สูงถึง 15-25% เมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์ทั่วไปที่มีอัตราการตาย 10-12% เท่านั้น (Muns et al., 2016) การวิเคราะห์สาเหตุการตายข้างต้นสะท้อนถึงสภาพปัญหาที่ผู้เลี้ยงสุกรปัจจุบันต้องประสบกับปัญหาอยู่ในปัจจุบัน สามารถแยกสาเหตุการตายออกเป็น 3 ประการที่ทำให้อัตราการตายของลูกสุกรแรกคลอด และก่อนหย่านม ได้แก่ การทับ (Crushing) ซึ่งเป็นสาเหตุการตายอันดับต้นๆ ของสาเหตุการตาย คิดเป็น 26.83% ของลูกสุกรทั้งหมด เกิดจากการแข่งขันที่รุนแรงในการดูดนม ลูกสุกรขนาดเล็กมักกลายเป็นเหยื่อที่ถูกทับโดยแม่สุกร รองลงมาคือการอดอาหาร และความอ่อนแอ (Starvation/Weakness) คิดเป็น 16.14% เนื่องจากลูกสุกรน้ำหนักน้อยมีเนื้อเยื่อไขมันเพียง 2% ของน้ำหนักตัว ทำให้ขาดพลังงานสำรองและไม่สามารถแข่งขันกับลูกสุกรขนาดใหญ่ได้ และสาเหตุอันดับสามคือท้องเสีย (Diarrhea) ซึ่งคิดเป็น 11.95% เนื่องจากระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรแรกเกิดยังไม่พร้อมรับมือกับการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วใน 3 สัปดาห์แรก (Muns et al. 2016; กานต์ธิดา และคณะ 2565) ปัญหานี้ไม่ใช่เพียงวิกฤตด้านสวัสดิภาพสัตว์เท่านั้น แต่ยังกระทบอย่างรุนแรงต่อเศรษฐกิจของอุตสาหกรรม การสูญเสียลูกสุกรแต่ละตัวหมายถึงการสูญเสียรายได้ต่อครอกที่มีมูลค่าหลายพันบาท และยังส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์การผลิตสุกรที่ยั่งยืนในระยะยาว ปัจจุบันเกษตรกรและผู้เชี่ยวชาญทั่วโลกจึงแสวงหาทางออกใหม่เพื่อสร้างสมดุลระหว่างประสิทธิภาพการผลิตและสวัสดิภาพสัตว์ โดยเฉพาะการพัฒนาทางเลือกที่ปลอดภัยแทนการใชยาปฏิชีวนะ เพื่อเสริมสร้างภูมิคุ้มกันและลดความเสี่ยงการตายในลูกสุกรช่วงวิกฤตนี้ (Boonkum et al., 2025; Buthelezi et al., 2024; Kitkha et al., 2017; Schoos et al.,

2023) เมื่อพิจารณาในฟาร์มสุกรขนาด 3,000 แม่ เป็นโมเดลการประเมินผลกระทบเชิงอุตสาหกรรมในประเทศไทย ซึ่งผลิตลูกสุกรได้ประมาณ 80,000 ตัวต่อปี จะมีลูกสุกรน้ำหนักน้อยไม่ต่ำกว่า 8,000 ตัว หากคำนวณจากราคาลูกสุกรในปัจจุบันซึ่งไม่ต่ำกว่า 3,000 บาทต่อตัว จะคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐกิจที่อาจเกิดขึ้นสูงถึง 24 ล้านบาทต่อปีในฟาร์มเพียงแห่งเดียว และเมื่อขยายภาพรวมไปยังระดับประเทศที่มีการผลิตลูกสุกรกว่า 20 ล้านตัวต่อปี ปัญหานี้จึงกลายเป็นความท้าทายทางเศรษฐกิจมหภาคที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน นอกจากนี้ ลูกสุกรกลุ่มนี้ยังมีข้อจำกัดทางสรีรวิทยาหลายประการที่ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการรอดชีวิตของลูกสุกร (Hawe et al. 2020; Nuntapaitoon et al. 2018; Nuntapaitoon and Tummaruk 2015) การศึกษาของ Caldara et al. (2014) และ Schmitt and Driscoll (2021) ชี้ให้เห็นว่าศักยภาพในการควบคุมอุณหภูมิร่างกายมีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักแรกเกิด โดยลูกสุกรน้ำหนักน้อยมีพื้นที่ผิวสัมผัสต่อหน่วยน้ำหนักตัวมากกว่า ทำให้สูญเสียความร้อนได้ง่ายและรวดเร็ว อีกทั้งยังใช้เวลานานกว่าในการเข้าถึงเต้านมเพื่อดูดกินนมแม่เหลือง ส่งผลให้ได้รับพลังงานและภูมิคุ้มกันที่จำเป็นจากแม่ในปริมาณที่น้อยกว่าลูกสุกรปกติ ปัจจัยเหล่านี้ล้วนนำไปสู่สภาวะโภชนาการที่ต่ำและอัตราการรอดชีวิตที่ลดลง ส่วนข้อมูลกรณีศึกษาในประเทศไทยโดย Nuntapaitoon and Tummaruk (2015) ได้สรุปความรุนแรงของปัญหาจากที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยพบว่าลูกสุกรที่น้ำหนักแรกเกิดน้อยกว่า 1.30 กก. มีอัตราการตายในช่วง 7 วันแรกสูงถึง 19% และอัตราการตายสะสมที่ 21 วันพุ่งสูงถึง 26.4% สถานการณ์ดังกล่าวยังซับซ้อนขึ้นจากความท้าทายในการลดการใช้จ่ายปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมปศุสัตว์ ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ทั่วโลกให้ความสำคัญเพื่อป้องกันปัญหาเชื้อดื้อยาและสารตกค้างในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ แต่ในทางปฏิบัติ การเลี้ยงสัตว์ในฟาร์มที่มีความหนาแน่นสูงยังคงเผชิญกับอุบัติการณ์ของโรคต่างๆ ทำให้การเลิกใช้ยาปฏิชีวนะเป็นไปได้ยาก การใช้จ่ายที่ไม่ได้ผล หรือต้องเพิ่มขนาดยา และเปลี่ยนชนิดของยาบ่อยครั้ง ได้เพิ่มต้นทุนการผลิตและสร้างความกังวลให้แก่ผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้ การแสวงหาผลิตภัณฑ์ทางเลือกจากธรรมชาติที่สามารถส่งเสริมความแข็งแรงของสัตว์จากภายในจึงกลายเป็นแนวทางที่จำเป็นและสอดคล้องกับกระแสความต้องการอาหารปลอดภัยของผู้บริโภค ซึ่งเป็นตลาดที่กำลังขยายตัวอย่างต่อเนื่อง

ในการตอบสนองต่อความท้าทายดังกล่าว การศึกษาศักยภาพของวัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศจึงเป็นแนวทางซึ่งนำไปสู่ความยั่งยืน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดไขมันสายกลาง (Medium-Chain Fatty Acids, MCFAs) และไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (Medium-Chain

Triglycerides, MCT) ซึ่งมีแหล่งที่มาจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม อันเป็นทรัพยากรที่ประเทศไทยมีอย่างอุดมสมบูรณ์ พบว่าน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีกรดไขมันสายกลางเข้มข้นสูง และเป็นแหล่งพลังงานที่ร่างกายสามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากลูกสุกรมีกลไกการย่อยและการดูดซึมที่ไม่ซับซ้อน สามารถถูกดูดซึมได้บางส่วนตั้งแต่ที่เยื่อเมือกในกระเพาะอาหาร และถูกไฮโดรไลซิสได้อย่างรวดเร็วในเซลล์เยื่อบุลำไส้ ทำให้เป็นแหล่งพลังงานที่พร้อมใช้งานทันทีสำหรับลูกสุกรแรกเกิดที่อ่อนแอ (Metzler-Zebeli, 2021; Swiatkiewicz et al., 2020; Zentek et al., 2011) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Casellas et al. (2005) ได้แสดงให้เห็นว่าการเสริม MCT สามารถเพิ่มอัตราการรอดชีวิต และอัตราการเจริญเติบโตของลูกสุกรขนาดเล็ก โดยเฉพาะกลุ่มที่มีน้ำหนักแรกเกิดต่ำกว่า 1,250 กรัมได้ สอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศไทยโดย Chiengsorn et al. (2025) ที่พบว่าการป้อน MCFAs และกรดลอริก (C12) ให้แก่ลูกสุกรน้ำหนักน้อย สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด นอกจากบทบาทในการเป็นแหล่งพลังงานแล้ว กรดลอริกซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ MCFAs ยังมีคุณสมบัติเด่นในด้านการต้านเชื้อแบคทีเรียและการอักเสบ งานวิจัยหลายชิ้นได้พิสูจน์ถึงประสิทธิภาพของกรดลอริกในการยับยั้งเชื้อก่อโรคที่สำคัญในสุกร เช่น เชื้อ *Porcine epidemic diarrhea virus* (PEDv) และเชื้อในกลุ่ม *Streptococci* ซึ่งเป็นสาเหตุของความสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างมาก โดยกลไกการทำงานของกรดลอริกและอนุพันธ์ของมัน เช่น กลีเซอรอลโมโนลอเรต (GML) เกี่ยวข้องกับการทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* (Hess et al., 2014) และการเสริม MCFAs และ GML ช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในลำไส้ และส่งผลต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเมแทบอลิซึมไขมัน ซึ่งทั้งหมดนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหารและพลังงานในลูกสุกรหย่านม รวมถึงส่งผลดีต่อสัณฐานวิทยาของลำไส้ (Cui et al., 2022a) อีกทั้งการเสริมกรดไขมันสายกลาง (MCFAs) รวมถึงกรดลอริกสามารถใช้เป็นทางเลือกแทนยาปฏิชีวนะหรือซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เพื่อลดอาการท้องเสียในสุกรหย่านม โดยมีกลไกสำคัญต่อการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ เช่น เพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่มีประโยชน์อย่าง *Lactobacillus* และลดจำนวนแบคทีเรียที่อาจก่อโรค (Rolinec et al., 2020) และการเสริม MCFAs ช่วยลดการอักเสบที่เกิดจากความเครียดช่วงหย่านมได้ โดยสามารถลดระดับของไซโตไคน์ที่ก่อให้เกิดการอักเสบ (pro-inflammatory cytokines) ยิ่งไปกว่านั้น MCFAs และอนุพันธ์ยังส่งผลต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเมแทบอลิซึมไขมัน เพิ่มการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในลำไส้ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหารโดยรวม (Ficagna et al., 2024; Song et al., 2024)

คุณสมบัติที่หลากหลายเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าการปรับปรุงสูตรน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางให้มีความเข้มข้นของกรดลอริกสูงขึ้น เป็นกลยุทธ์ที่มีศักยภาพสูงในการช่วยเหลือลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดน้อยให้มีพลังงานเพียงพอและมีสุขภาพลำไส้ที่แข็งแรงเพื่อต่อสู้กับความท้าทายในช่วงแรกของชีวิต

ดังนั้นการส่งเสริมเสริมสร้างประสิทธิภาพให้สูงขึ้นไปอีกขั้นนั้น โครงการวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวคิดในการผสมผสานสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ (Phyto cannabinoids) จากใบกัญชง ซึ่งถูกสกัดจากตัวทำละลายน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (CPKO) เข้าไปในส่วนผสมด้วย ปัจจุบันสารกลุ่มนี้ โดยเฉพาะสารแคนนาบิไดออล (CBD) ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางทั้งในทางการแพทย์ของมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่โดดเด่นหลายประการ ร่างกายของสัตว์มีระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ (Endocannabinoid System) ที่ทำหน้าที่ควบคุมกลไกสำคัญต่างๆ และสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากพืชสามารถเข้าไปทำงานเลียนแบบหรือปรับสมดุลระบบดังกล่าวได้ (Siqueira et al., 2023; Silver, 2019) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของผลิตภัณฑ์จากกัญชงในการลดอัตราการตายและอุบัติการณ์ท้องเสียในลูกสุกรได้ อีกทั้งยังช่วยลดการใช้ยาปฏิชีวนะได้ คุณสมบัติที่สำคัญของสารสกัดกัญชงคือฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ ด้านอนุมูลอิสระ และกระตุ้นภูมิคุ้มกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Tatrakoon et al. 2024 พบว่าการใช้กากเมล็ดกัญชงในอาหารสุกรหย่านมช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ลดฮอร์โมนความเครียด (Cortisol) และเพิ่มระดับสารภูมิคุ้มกัน (IgM และ IgG) กลไกการออกฤทธิ์เกี่ยวข้องกับการที่สาร CBD และสารประกอบฟีนอลิกเข้ายับยั้งเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการอักเสบและทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระเสถียรขึ้น ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์เสริมในรูปแบบผงไมโครเอนแคปซูเลชันสามารถละลายน้ำ และทำการป้อนเข้าทางปากของลูกสุกรช่วงดูนม ที่เป็นการผนวกรวมคุณสมบัติเด่นของส่วนประกอบสามชนิด คือ 1) น้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่ปรับให้มีความเข้มข้นของกรดลอริกสูง เพื่อเป็นแหล่งพลังงานเร่งด่วนและด้านจุลชีพ 2) อนุพันธ์ของกรดลอริก (GML) เพื่อเสริมฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย และไวรัส และ 3) สารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชง เพื่อลดการอักเสบและกระตุ้นภูมิคุ้มกัน การพัฒนานี้ไม่เพียงแต่จะสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการช่วยเหลือลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดน้อย แต่ยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่วัตถุดิบทางการเกษตรที่มีอยู่แล้วในประเทศ เช่น น้ำมันเมล็ดในปาล์มและกัญชง ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว (BCG Model) โครงการวิจัยนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการนำเสนอทางเลือกใหม่ที่ยั่งยืนสำหรับการจัดการสุขภาพลูกสุกร ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบทางเศรษฐกิจจากอัตราการสูญเสีย ส่งเสริมการผลิตปศุสัตว์ที่ปลอดภัย

ลดการใช้จ่ายปุ๋ยชีวณะ และตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการให้ส่วนผสมไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีความเข้มข้นกรดลอริกสูง ร่วมกับสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชง และกลีเซอรอลโมโนลอเรต ในลูกสุกรช่วงดูตนม ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ระดับภูมิคุ้มกัน สถานะปฏิกิริยารีดอกซ์ในเลือด

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมอิมัลชันและกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของส่วนผสมกรดไขมันสายกลางเข้มข้นสูงที่มีส่วนประกอบของสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชง และกลีเซอรอลโมโนลอเรต จนได้ผงไมโครเอนแคปซูเลชันที่มีความเสถียรและประสิทธิภาพสูงสุด

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของผงไมโครเอนแคปซูเลชันของส่วนผสมอิมัลชันน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางเข้มข้นสูงที่มีส่วนผสมของสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และกลีเซอรอลโมโนลอเรตในลูกสุกรช่วงดูตนม ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ระดับภูมิคุ้มกัน สถานะปฏิกิริยารีดอกซ์ในเลือด ความหลากหลายและโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าของน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีส่วนผสมของไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชงและกรดลอริกเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการผลิตในลูกสุกรดูตนม แบ่งงานทดลองเป็น 4 ส่วน อธิบายด้วย Figure 1

การทดลองที่ 1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชง (*Cannabis sativa* L.) ด้วยน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบร่วมกับกระบวนการตีคาร์บอกซิเลชัน และศักยภาพในการใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมพลังงานสำหรับลูกสุกรดูตนม แบ่งเป็น 3 การทดลองย่อย และขอบเขตการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลอง 1.1 การสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากราก และใบกัญชงโดยใช้น้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT) ชนิดต่างๆ

1.1.1 วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพของส่วนต่างๆ ของกัญชง (ใบและราก) และชนิดของน้ำมัน (น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ (RPKO หรือ refined palm kernel Oil) และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (crude palm kernel oil หรือ CPKO) ใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์

1.1.2 ขอบเขตการทดลอง ศึกษาปัจจัยของวัตถุดิบกัญชง (ปัจจัย A) คือ ใบกัญชง และ รากกัญชง และ ตัวทำละลาย (ปัจจัย B) คือ น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ (RPKO) และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO)

1.1.3 กระบวนการศึกษา นำวัตถุดิบกัญชงมาทำให้แห้ง บดละเอียด บรรจุในถุงผ้า แล้วนำไปอบนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) เพื่อกระตุ้นสาร (decarboxylation) ก่อนนำไปแช่ในน้ำมันตัวทำละลายและให้ความร้อน

1.1.4 ตัวชี้วัดประกอบด้วย วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC), ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (TAC, DPPH, ABTS, FRAP) และองค์ประกอบทางเคมี

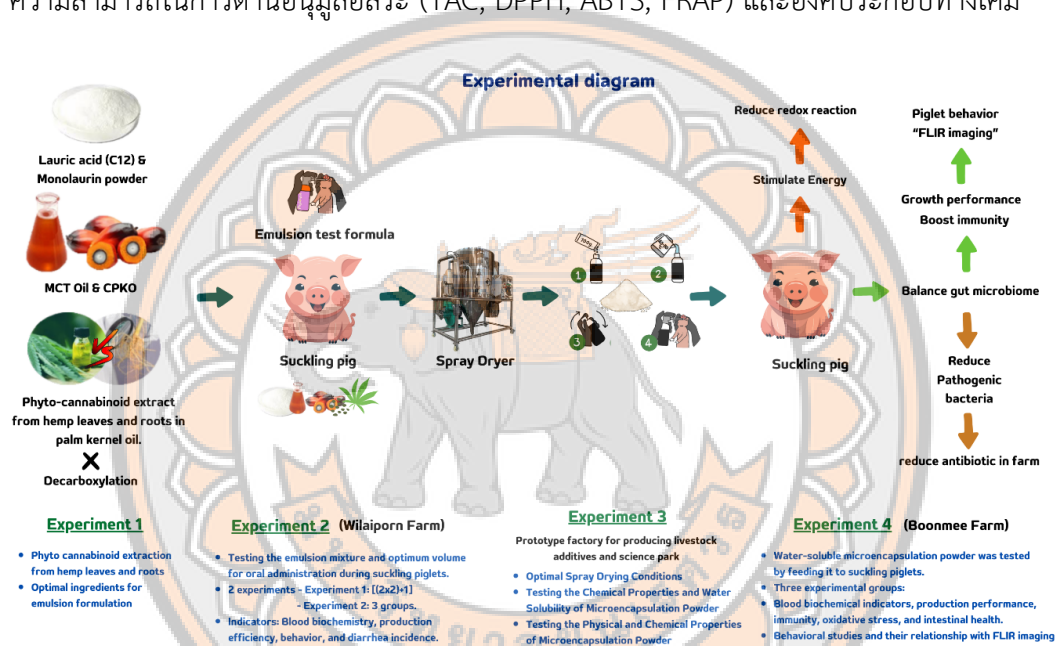


Figure 1.1 The diagram provides an overview of the research steps.

การทดลอง 1.2 ผลของระยะเวลาในกระบวนการตีคาร์บอกซิเลชันและอัตราส่วนการสกัดของกัญชงต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) ที่มีต่อองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ (Effect of duration of the decarboxylation and the extraction ratio of hemp to CPKO on the phytochemical composition and antioxidant potential of Phyto cannabinoid oil extracts)

1.2.1 วัตถุประสงค์ เพื่อหาอัตราส่วนของใบกัญชงต่อตัวทำละลาย (CPKO) และระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่สุด ที่ให้สาระสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด

1.2.2 ขอบเขตการทดลอง ศึกษาปัจจัยอัตราส่วนใบกัญชงต่อ CPKO: 3 ระดับ คือ 6%, 12% และ 18% (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) (ปัจจัย A) และปัจจัยระยะเวลาให้ความร้อน: 5 ระดับ คือ 0, 2, 4, 6, และ 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110°C (ปัจจัย B)

1.2.3 กระบวนการศึกษา นำวัตถุดิบไปกัญชงมาทำให้แห้ง บดละเอียด บรรจุในถุงผ้า แล้วนำไปอบนิ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave) เพื่อกระตุ้นสารด้วยกระบวนการ decarboxylation ก่อนนำไปแช่ในน้ำมันตัวทำละลายตามสัดส่วนของปัจจัย A และให้ความร้อนตามปัจจัยเวลาของปัจจัย B

1.2.4 ตัวชี้วัดประกอบด้วย วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC), ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, ABTS, FRAP), องค์ประกอบของกรดไขมัน และปริมาณสารแคนนาบินอยด์ (CBD และ CBDA) ในสารสกัดที่ได้

การทดลองที่ 2 ผลของการเสริมอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีสารไฟโตแคนนาบินอยด์และโมโนลอรีน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต พฤติกรรมทางสังคม ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือดในสุกรระยะดูนวม แบ่งเป็น 2 การทดลองย่อย และขอบเขตการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลอง 2.1 ผลของชนิดอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง และระดับการให้ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ปริมาณนมแม่ น้ำนมที่ได้รับ และค่าทางโลหิตวิทยา ในลูกสุกรระยะดูนวม

2.1.1 วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพสูตรอิมัลชันระหว่าง อิมัลชันของไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีกรดลอริก 30% (emulsion of medium chain triglycerides with 30% lauric acid; EML) และ อิมัลชันของไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีกรดลอริก 40% เสริมสารไฟโตแคนนาบินอยด์ phyto cannabinoids) (emulsion of medium chain triglycerides with 40% lauric acid plus phyto cannabinoids; EMPL) และเพื่อหาปริมาณการป้อนหรือโดส (dosage) เข้าทางปากที่เหมาะสมสำหรับลูกสุกรช่วงดูนวม ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือด

2.1.2 ขอบเขตการทดลองที่ 2.1 ใช้ลูกสุกรแรกเกิด (สัตว์ทดลอง) จำนวน 780 ตัว จากแม่สุกร 75 แม่ แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (ได้รับยาปฏิชีวนะ), กลุ่ม Low dose emulsion of medium chain triglycerides with 30% lauric acid (L-EML) กลุ่ม High dose emulsion of medium chain triglycerides with 30% lauric acid (H-EML) กลุ่ม Low dose emulsion of medium chain triglycerides with 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids (L-EMPL) และกลุ่ม high dose emulsion of medium chain triglycerides with 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids (H-EMPL) โดยใช้แผนการทดลอง augmented factorial design (2x2 + control)

2.1.3 ตัวชี้วัด ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต, ปริมาณการกินนมแม่ น้ำนมที่ได้รับ น้ำนม, อัตราการตายก่อนหย่านม ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือด

การทดลอง 2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางเสริมไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมนอลอรีน เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ยาปฏิชีวนะ ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือดลูกสุกรระยะดูนม

2.2.1 วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินศักยภาพของสูตรอิมัลชันที่ดีที่สุดจากผลการทดลองย่อย 2.1 (คือ **L-EMPL**) เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับสูตรที่เสริมด้วยโมนอลอรีน (Emulsion of medium chain triglycerides with 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids and monolaurin; **Mono-EMPL**) และกลุ่มที่ได้รับยาปฏิชีวนะต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือด ในลูกสุกรช่วงดูนม

2.2.2 ขอบเขตการทดลองที่ 2.2 ใช้ลูกสุกรแรกเกิด (สัตว์ทดลอง) จำนวน 355 ตัว จากแม่สุกร 36 แม่ แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (ได้รับยาปฏิชีวนะ) กลุ่ม EMPL และกลุ่ม Mono-EMPL โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design)

2.2.3 ตัวชี้วัด ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต, ปริมาณการกินนม น้ำเหลืองและน้ำมัน อัตราการตายก่อนหย่านม ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือด และ พฤติกรรมทางสังคม-การดูนม

การทดลอง 2.3 การศึกษาพฤติกรรมลูกสุกรแรกเกิด: ผลกระทบของสารเสริมต่อความแข็งแรงและการเข้าถึงเต้านมแม่

2.3.1 วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินผลของสารสูตรอิมัลชันต้นแบบต่อความแข็งแรง พฤติกรรมการดูนมของลูกสุกรแรกเกิด ความถี่ของพฤติกรรมการแข่งขันเข้าถึงเต้านมแม่ และลดความรุนแรงของรอยโรคบนใบหน้าที่เกิดจากการต่อสู้

2.3.2 ขอบเขตการทดลองที่ 2.3 ลูกสุกรแรกเกิด (อายุ 1–5 วัน) ที่มีน้ำหนักแรกเกิด 1.20–1.50 กก. จำนวน 108 ตัว จากแม่สุกร 18 ตัว แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (ได้รับยาปฏิชีวนะ) กลุ่ม EMPL และ กลุ่ม Mono-EMPL โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) สังเกตและเก็บข้อมูลพฤติกรรมและรอยโรคในช่วง 5 วันแรกหลังคลอด

2.3.3 ตัวชี้วัด ด้านความแข็งแรงและพฤติกรรมการดูนม ประกอบด้วย ความถี่ในการดูนม (suckling frequency; SF) และ ระยะเวลาที่ลูกสุกรเข้าถึงเต้านมจนดูนมเสร็จครั้งแรก (latency to first suckle; LFS) ส่วนด้านพฤติกรรมการแข่งขันทางสังคม บันทึกพฤติกรรมการแข่งขันเพื่อแย่งเต้านม (teat order engagement; TOE) และความถี่ของพฤติกรรมก้าวร้าวเพื่อจับจองเต้านม และ คะแนนรอยโรคบนใบหน้า (facial lesion score; FLS) บันทึกระดับความรุนแรงของบาดแผลบนใบหน้า (ประเมิน 4 ระดับ)

การทดลองที่ 3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงไมโครเอนแคปซูลดไขมันสายกลางเข้มข้นที่มีส่วนผสมของสารสกัดกัญชง และโมโนลอรินโดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลองย่อย

การทดลอง 3.1 การหาสัดส่วนอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน

3.1.1 วัตถุประสงค์ เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดระหว่างอิมัลซิไฟเออร์ Tween 80 (ชอบน้ำ) และ Span 80 (ชอบน้ำมัน) ที่ส่งผลให้ได้อิมัลชันที่มีเสถียรภาพสูงสุด สำหรับระดับความเข้มข้นของกรดลอริกที่แตกต่างกัน

3.1.2 ขอบเขตการทดลอง วางแผนการทดลองแบบ 3x4 factorial in CRD โดยใช้ปัจจัยควบคุมที่ได้จากผลการทดลองที่ 3.1 (homogenizer 12,000 rpm, core: wall ratio 1:3) มีปัจจัยที่ศึกษาดังนี้

ปัจจัย A (ระดับกรดลอริกใน core material) ประกอบด้วย 3 ระดับ คือ 40%, 50% และ 60%

ปัจจัย B (สัดส่วน Tween 80 ต่อ Span 80) ประกอบด้วย 4 ระดับ คือ 90:10, 80:20, 65:35 และ 50:50

3.1.3 ตัวชี้วัด ประเมินเสถียรภาพและคุณสมบัติของอิมัลชัน รวมถึงการคัดเลือกสภาวะที่ดีที่สุดเพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไป ประกอบด้วย คุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐาน ประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids; TSS) ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ดัชนีการแยกชั้นครีม (creaming index; CI) ดัชนีการตกตะกอน (precipitation Index; PI) ความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม (stability against cream separation; SACS) ดัชนีการแยกชั้นน้ำมัน (oiling off index; OI) ความหนืด (viscosity) สัดส่วนโฟมในอิมัลชัน (foam fraction; FF) และการวิเคราะห์ขั้นสูง ประกอบด้วย (สำหรับสภาวะที่เหมาะสม) วัดขนาดอนุภาค (Droplet Size) การกระจายตัวของอนุภาค (PDI) และค่าศักย์ซีตา (Zeta Potential)

การทดลอง 3.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของผงไมโครเอนแคปซูล

3.2.1 วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) ที่เหมาะสมที่สุด จากปัจจัยความเข้มข้นของกรดลอริก และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงไมโครเอนแคปซูลที่ได้จากอิมัลชันสภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลองก่อนหน้า

3.2.2 ขอบเขตการทดลอง วางแผนการทดลองแบบ 2x2 factorial in CRD มีปัจจัยที่ศึกษาดังนี้ ปัจจัย A (ชนิดของอิมัลชัน) ประกอบด้วย 2 ระดับ อิมัลชันที่มีกรดลอริก 40% และ 50% และ ปัจจัย B อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ประกอบด้วย 2 ระดับ 190°C และ 220°C

3.2.3 ตัวชี้วัดประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงไมโครเอนแคปซูลในด้านต่างๆ ประกอบด้วย

1) ประสิทธิภาพกระบวนการผลิต ได้แก่ ผลผลิต (spray drying yield) และ ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (encapsulation efficiency)

2) คุณสมบัติทางกายภาพของผง ได้แก่ ความชื้น, water activity (a_w) ความหนาแน่น (bulk & tapped density) ดัชนีการอัดตัวของผง (compressibility ratio) ความสามารถในการดูดความชื้น (hygroscopicity) และความสามารถในการละลาย (solubility)

3) คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณกรดไขมันชนิดต่างๆ และค่าพลังงาน

4) ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อิมมิจัน (Field Emission Scanning Electron Microscope; FESEM)

การทดลอง 3.3 การศึกษาปัจจัย และสภาวะการละลายน้ำของผงไมโครเอนแคปซูล

3.3.1 วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินคุณภาพการคืนรูปเป็นอิมัลชันของผงไมโครเอนแคปซูลเมื่อนำมาละลายน้ำ และศึกษาผลของสัดส่วนการละลายต่อเสถียรภาพของอิมัลชันที่ได้

3.3.2 ขอบเขตการทดลอง นำผงไมโครเอนแคปซูลที่ได้จากสภาวะการทำแห้งที่ดีที่สุด (จากการทดลอง 3.2) มาศึกษาคุณสมบัติการละลายน้ำ โดยมีปัจจัยที่ศึกษาดังนี้ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ละลาย กำหนด 3 ระดับอุณหภูมิ คือ 70 80 และ 90°C และสัดส่วนระหว่างผงไมโครเอนแคปซูลต่อน้ำที่ใช้ในการละลาย กำหนด 4 ระดับ คือ 1:0.5, 1:0.75, 1:1, และ 1:1.5

3.3.3 ตัวชี้วัด ประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS) สัดส่วนของอิมัลชันขุ่นหลังจากการละลายน้ำ (turbid emulsion ratio; TER) สัดส่วนน้ำมันที่ลอยอยู่ผิวน้ำ (surface oil layer ratio; SOLR) และ สัดส่วนของส่วนที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมด (total insoluble ratio; TIR)

การทดลองที่ 4 ผลของอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูลกรดไขมันสายกลางเข้มข้นร่วมกับสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอริน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมี ปฏิกริยารีดอกซ์ และจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรช่วงดูดนม

4.1 วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ผงไมโครเอนแคปซูลกรดไขมันสายกลางเข้มข้นที่มีส่วนผสมสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอริน (จากสภาวะที่เหมาะสมของงานทดลองที่ 3) ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมี ปฏิกริยารีดอกซ์ และจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรช่วงดูดนม

4.2 ขอบเขตการทดลอง ลูกสุกรแรกคลอดจำนวน 850 ตัว จากแม่สุกรจำนวน 63 ตัว แบ่งลูกสุกรออกเป็น 3 กลุ่มการทดลองควบคุม (Control Group) ถูกป้อนด้วยน้ำ RO (Reverse Osmosis Water) (CTR) เปรียบเทียบกับกลุ่มลูกสุกรกลุ่มที่ได้รับผงไมโครเอนแคปซูลกรดไขมันสายกลางเข้มข้น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) ผงไมโครเอนแคปซูลของกรดไขมันสายกลางเข้มข้นสูง ซึ่งมีส่วนผสมของกรดไขมันสายกลางเข้มข้น ร่วมกับ ผงกรดลอริก และสารสกัดจากใบกัญชง (microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids, which contains concentrated medium-chain fatty acids, lauric acid and hemp leaf extract; **MPL**) และ 2) MPL เสริมโมโนลอรีน (Monolaurin) (the same as MPL but supplemented with monolaurin; **MPLM**)

4.3 ตัวชี้วัด ประกอบด้วย สมรรถภาพการเจริญเติบโต (growth performance) ค่าทางโลหิตวิทยา (hematological parameters) และชีวเคมีในเลือด (biochemical blood parameters) ระดับภูมิคุ้มกัน (Immune levels: IgA, IgM, IgG) ปฏิกริยารีดอกซ์ (redox reaction) จุลินทรีย์ในลำไส้ (gut microbiome) และอุณหภูมิร่างกาย (body temperature)

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

1.4.1 ได้ส่วนผสมไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีกรดลอริกสูง ร่วมกับสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชง และกลีเซอรอลโมโนลอเรต จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ระดับภูมิคุ้มกัน และปรับปรุงสถานะปฏิกริยารีดอกซ์ในเลือดของลูกสุกรช่วงดูดนมได้ดี

1.4.2 ได้กระบวนการเตรียมอิมัลชันและการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสถานะที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผงไมโครเอนแคปซูลที่มีความเสถียร สภาวะคงที่ และประสิทธิภาพสูง

1.4.3 ได้ผงไมโครเอนแคปซูลที่ผลิตจากส่วนผสมข้างต้น สามารถนำไปใช้สำหรับลูกสุกร และส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถภาพการเจริญเติบโต ระดับภูมิคุ้มกัน และสุขภาพทางเดินอาหารของลูกสุกรช่วงดูดนม

1.4.4 ผลของการเสริมผงไมโครเอนแคปซูลจะส่งผลต่อความหลากหลายและโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรดูดนมอย่างชัดเจน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์และปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการตายก่อนหย่านมในลูกสุกรสายพันธุ์ลูกตก

การเพิ่มจำนวนลูกสุกรที่เกิดจากแม่สุกรสายพันธุ์ลูกตก (hyper-prolific sows) ได้รับการพัฒนาทางพันธุกรรมให้มีลูกมากขึ้น เช่น บางฟาร์มมีผลผลิตถึง 37 ตัวต่อแม่สุกรต่อปี อย่างไรก็ตามจำนวนที่เพิ่มขึ้นนี้สร้างภาระและเพิ่มอัตราการตายก่อนหย่านมในลูกสุกรอย่างมีนัยสำคัญ จากข้อมูลของฟาร์มในสเปน พบว่าแม่สุกรลูกตกมีอัตราการตายก่อนหย่านมสูงถึง 20-25% ซึ่งสูงกว่าปกติอย่างมาก เมื่อเทียบกับแม่สุกรสายพันธุ์ปกติที่มีอัตราการตายราว 3-6% โดยเฉพาะในฟาร์มที่มีการจัดการดี ส่วนในประเทศไทยจากการศึกษาของ Nuntapaition and Tummaruk. (2015) ได้รายงานผลสำรวจประสิทธิภาพการผลิตจาก 47 ฟาร์มสุกรขนาดต่างๆ ในประเทศไทย พบอัตราการตายก่อนหย่านมเฉลี่ย 11.2% โดยอัตรานี้แตกต่างกันไประหว่างฟาร์ม ตั้งแต่ 4.8-19.2% ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์จำนวนลูกสุกรที่เกิดพร้อมกัน และน้ำหนักลูกสุกรแรกเกิด โดยเมื่อพิจารณาจากผลกระทบจากการคัดเลือกสายพันธุ์พบว่า การคัดเลือกแม่สุกรสายพันธุ์ลูกตกที่ให้ลูกจำนวนมากขึ้นมีผลทางพันธุกรรมที่ขัดแย้งกับอัตราการรอดชีวิตของลูกสุกร อัตราการรอดชีวิตและจำนวนลูกสุกรที่หย่านมได้เหมาะสมจะลดลงถ้าการคัดเลือกไม่สมดุล โดยอัตราการรอดชีวิตจะลดลงเมื่อมีลูกมากและน้ำหนักลูกสุกรเฉลี่ยลดลง แต่มีผลการศึกษาว่าการคัดเลือกอย่างสมดุลที่รวมทั้งลักษณะลูกตกและอัตราการรอดชีวิตทำให้สามารถลดผลลัพธ์ทางลบนี้ได้บ้าง เช่น การเพิ่มน้ำหนักลูกสุกรและลดอัตราการตายในช่วงตั้งท้องและการเลี้ยงลูก

สาเหตุหลักของการตายก่อนหย่านมของลูกสุกร แบ่งปัจจัยการตายได้หลักๆ ดังนี้

- 1) การถูกทับ (crushing) เป็นสาเหตุหลักที่เกิดขึ้นบ่อย โดยเฉพาะในลูกสุกรน้ำหนักน้อย และถูกแม่ทับขณะคลอดหรือแรกเกิด คิดเป็นสัดส่วนการตาย 2.1% ของลูกสุกรที่เกิด
- 2) การอดอาหารหรือความสามารถในการดำรงชีวิตต่ำ (starvation & low viability) ลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดน้อยมีพลังงานในร่างกายไม่เพียงพอ ไม่สามารถเข้าถึงน้ำนมได้ทัน นำไปสู่ภาวะขาดพลังงานและภูมิคุ้มกัน การได้รับน้ำนมไม่พอเป็นเหตุสำคัญที่ทำให้ลูกสุกรมีภูมิคุ้มกันต่ำและเสี่ยงต่อโรคต่างๆ
- 3) ท้องเสีย (diarrhea) เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ลูกสุกรอ่อนแอและเสียชีวิตได้บ่อย โดยเฉพาะในฟาร์มที่มีปัญหาควบคุมเชื้อโรคในระบบทางเดินอาหาร

4) ปัจจัยอื่นๆ เช่น ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ การจัดการฟาร์มที่ไม่เหมาะสม เช่น การจัดที่นอน ลูกสุกรที่ไม่ได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิดในช่วงแรกเกิดและระยะเลี้ยงลูก โรคติดเชื้อเฉพาะกลุ่ม เช่น สุกรที่มีระดับภูมิคุ้มกันโรคพอร์คไทร์อาร์เอส (Porcine reproductive and respiratory syndrome; PRRS) ไม่สม่ำเสมอของฝูงอาจส่งผลต่ออัตราการตายก่อนหย่านม และหลังหย่านม เป็นต้น

สภาพปัญหาที่ได้กล่าวมานั้นส่งผลกระทบต่อเชิงเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมสุกร เนื่องจากเป็น การสูญเสียต้นทุนในด้านอาหาร การจัดการ การจัดการป้องกันโรค การยาปฏิชีวนะที่ใช้ในเชิงการ รักษา และ ป้องกัน รวมถึงการเลี้ยงให้มีอัตราการเจริญเติบโตตามเป้าหมายการผลิตใช้เวลาเลี้ยงนาน ขึ้น โดยในประเทศไทยลูกสุกรที่น้ำหนักแรกเกิดต่ำ และมีอัตราการตายสูงนั้นจะทำให้สูญเสียศักยภาพ ทางเศรษฐกิจของฟาร์มในวงเงินมหาศาลถึงหลักหลายล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะฟาร์มขนาดใหญ่ที่ผลิต ลูกสุกรจำนวนมาก นอกเหนือจากวิธีการจัดการที่ต้องปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น แนวทางการแก้ไขดังกล่าว เชิงการใช้ผลิตภัณฑ์สารเสริม เช่น การจัดการให้ลูกสุกรได้รับสารอาหาร และพลังงานเพียงพอตั้งแต่ แรกเกิด เน้นการให้สารเสริมโดยตรงเพื่อเพิ่มพลังงานและภูมิคุ้มกัน ลดความเสี่ยงจากโรคติดเชื้อและ อาการท้องเสีย ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ในกลุ่มส่วนผสมของไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีความเข้มข้นกรดล อริกสูง ช่วยกระตุ้นพลังงานเร่งด่วนและต้านเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรค เช่น *Streptococci* และ *Clostridium* เพื่อรักษาสุขภาพลำไส้ของลูกสุกรได้ และอีกทั้งมีแนวคิดการเสริมสารสกัดไฟโตแคนนา บินอยด์ เพื่อช่วยลดความเครียดออกซิเดชัน ปรับสมดุลระบบภูมิคุ้มกัน และส่งเสริมจุลินทรีย์ที่เป็น ประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร โดยจุดมุ่งหมายของฟาร์มมีความต้องการลดการใช้ยาปฏิชีวนะ ลด ต้นทุนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์สุกรในระบบอุตสาหกรรม

2.2 สรีรวิทยาและข้อจำกัดของลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดน้อย

ลูกสุกรแรกเกิดที่มีน้ำหนักน้อย โดยทั่วไปหมายถึงลูกสุกรที่มีน้ำหนักแรกเกิดต่ำกว่า 1.00 กก. ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความท้าทายทางสรีรวิทยาหลายประการ ข้อจำกัดเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อ อัตราการรอดชีวิตและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในระยะยาว ปัญหานี้มีความสำคัญอย่างยิ่งใน อุตสาหกรรมการผลิตสุกรสมัยใหม่ ซึ่งมุ่งเน้นการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้แม่สุกรสามารถให้ลูกได้จำนวน มากในแต่ละครอก การที่แม่สุกรมีลูกตกส่งผลให้มีลูกสุกรจำนวนหนึ่งเกิดมาพร้อมกับน้ำหนักตัวที่น้อย กว่าเกณฑ์ ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตช้าและอัตราการตายสูงกว่ารูปแบบการจัดการดั้งเดิม ซึ่งปัจจัย สำคัญที่สุดคือ พลังงานสำรองในร่างกายต่ำ ลูกสุกรแรกเกิดทุกตัวมีพลังงานสำรองในรูปของไกลโคเจน และไขมันอย่างจำกัด แต่ในลูกสุกรน้ำหนักน้อย ปริมาณพลังงานสำรองยังมีน้อยลงไปอีก โดยปกติแล้ว ไกลโคเจนที่สะสมในตับและกล้ามเนื้อจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วภายใน 12 ชั่วโมงแรกหลังคลอด เพื่อ รักษาระดับน้ำตาลในเลือดและสร้างความร้อนให้ร่างกาย แต่สำหรับลูกสุกรกลุ่มนี้ พลังงานที่สะสมไว้

อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายในช่วงเวลาสำคัญนี้ ภาวะพลังงานต่ำนี้นำไปสู่ข้อจำกัดที่สองคือ ความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิร่างกายต่ำ (thermoregulation) ลูกสุกรน้ำหนักน้อยมีพื้นที่ผิวต่อมวลกายสูงกว่าลูกสุกรน้ำหนักปกติ ทำให้สูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่ายและรวดเร็ว เมื่อรวมกับพลังงานสำรองที่ต่ำ ทำให้ลูกสุกรกลุ่มนี้มีความเสี่ยงสูงต่อภาวะตัวเย็นเกิน (hypothermia) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการตายในช่วงแรกหลังคลอด ด้วยร่างกายที่อ่อนแอและพลังงานต่ำ ทำให้ลูกสุกรน้ำหนักน้อย เข้าถึงนมแม่ได้ยาก และใช้เวลานานกว่าในการเข้าถึงเต้านมแม่ ยิ่งไปกว่านั้น พฤติกรรมการแข่งขันของลูกสุกรตัวใหญ่ในคอกเดียวกัน (น้ำหนักแรกเกิดมากกว่า 1.2 กก.) ยังเป็น การกีดกันการเข้าถึงน้ำนมของลูกสุกรตัวเล็ก ซึ่งนมแม่ไม่เพียงแต่เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดในช่วง 24 ชั่วโมงแรก แต่ยังเป็นแหล่งของภูมิคุ้มกันสำเร็จรูป (Passive artificially acquired immunity) ที่ได้จากแม่ การได้รับนมแม่ไม่เพียงพอหรือเข้าเกินไป ทำให้ลูกสุกรได้รับพลังงาน และภูมิคุ้มกันต่ำกว่าเกณฑ์ ส่งผลให้ร่างกายอ่อนแอและเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง

นอกจากนี้ ลูกสุกรแรกเกิดยังมี ระบบภูมิคุ้มกันและระบบทางเดินอาหารที่ยังพัฒนาไม่ สมบูรณ์ ในลูกสุกรน้ำหนักน้อย ภาวะโภชนาการที่ต่ำตั้งแต่แรกเกิดยิ่งส่งผลให้การพัฒนาของระบบ เหล่านี้ช้าลงไปอีก ทำให้มีความไวต่อการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหารและเกิดภาวะท้องเสียได้ง่าย ซึ่งเป็นอีกหนึ่งสาเหตุหลักของการตายในลูกสุกรระยะคูดนม ปัจจัยทั้งหมดนี้ยังส่งผลกระทบในระยะ ยาวคือ อัตราการเจริญเติบโตต่ำ ลูกสุกรน้ำหนักน้อยที่รอดชีวิตมาได้ก็มักจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ ต่ำกว่าลูกสุกรตัวอื่นในคอกเดียวกัน และท้ายที่สุดกลายเป็นสุกรแคระแกร็น (stunted pigs) ซึ่งมี ประสิทธิภาพการผลิตต่ำ และไม่เป็นที่ต้องการของตลาด

2.3 กรดไขมันสายกลาง (MCFAs) และไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT): กลไกการออกฤทธิ์และ ประโยชน์ในลูกสุกร

กรดไขมันสายกลางซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันที่มีคาร์บอน 6-12 อะตอม และไตรกลีเซอไรด์ สายกลาง เป็นสารอาหารที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อสุขภาพและอัตราการรอดชีวิตของลูกสุกร โดยเฉพาะในลูกสุกรแรกเกิดที่มีน้ำหนักตัวน้อย คุณสมบัติเฉพาะตัวในการถูกย่อยและดูดซึมอย่าง รวดเร็วทำให้ MCT เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญและมีประโยชน์หลายด้าน (Zentek et al., 2011)

2.3.1 ประเด็นการควบคุมอุณหภูมิร่างกาย (thermoregulation) เนื่องจากลูกสุกรแรกเกิด มีความท้าทายอย่างมากในการรักษาอุณหภูมิร่างกายให้อยู่ในระดับปกติ เนื่องจากมีพลังงานสำรองใน รูปไกลโคเจนและไขมันจำกัด ประกอบกับศูนย์ควบคุมอุณหภูมิในสมองส่วนไฮโปทาลามัสยังพัฒนาไม่ สมบูรณ์ (Prado et al., 2022) พบว่ากลไกการทำงานของ MCT เป็นแหล่งพลังงานที่พร้อมใช้งานได้ ทันที (readily available energy) เมื่อลูกสุกรได้รับ MCT จะถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด โดยตรงและขนส่งไปยังตับเพื่อนำไปสร้างเป็นพลังงานอย่างรวดเร็วผ่านกระบวนการออกซิเดชัน

พลังงานที่ได้มานี้มีความสำคัญต่อกระบวนการสั่นเพื่อสร้างความร้อน (shivering thermogenesis) ซึ่งเป็นกลไกหลักที่ลูกสุกรใช้ในการสร้างความร้อนเพื่อต่อสู้กับภาวะตัวเย็นเกิน (hypothermia) ในช่วง 48 ชั่วโมงแรกหลังคลอด (Hanczakowska, 2017) การได้รับพลังงานจาก MCTs อย่างรวดเร็วช่วยให้ลูกสุกรสามารถรักษาอุณหภูมิได้ดีขึ้นในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ (Zentek et al., 2011)

2.3.2 ประเด็นพลังงานสำรอง (energy reserves) ลูกสุกรแรกเกิดมีพลังงานสำรองในร่างกายน้อยมาก และต้องพึ่งพาพลังงานจากนมแม่เป็นหลัก การได้รับพลังงานเสริมจึงเป็นสิ่งจำเป็น พบว่ากลไกการทำงานของ MCT แตกต่างจาก LCT โดยการย่อย MCT ไม่ต้องอาศัยเอนไซม์ไลเปสจากตับอ่อนและเคลื่อนน้ำดีในปริมาณมาก และสามารถดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดผ่านทางหลอดเลือดดำพอร์ทัล (portal circulation) ได้โดยตรง ไม่ต้องผ่านระบบน้ำเหลือง กลไกนี้ทำให้ MCT เป็นแหล่งพลังงานที่ดูดซึมได้ง่ายและรวดเร็ว เหมาะสำหรับลูกสุกรที่ระบบการย่อยไขมันยังพัฒนาไม่เต็มที่ (Hanczakowska, 2017) ดังนั้นการเสริม MCT ช่วยให้ลูกสุกรโดยเฉพาะตัวที่มีน้ำหนักแรกเกิดน้อยมีพลังงานเพียงพอสำหรับกิจกรรมที่จำเป็นในช่วงแรกของชีวิต ซึ่งรวมถึงการเคลื่อนไหวเพื่อหาเต้านมแม่และการรักษาอุณหภูมิร่างกาย (Hong et al., 2012)

2.3.3 ด้านการพัฒนาของระบบทางเดินอาหารและระบบภูมิคุ้มกัน เนื่องด้วย MCT และ MCFAs ไม่เพียงแต่ให้พลังงาน แต่ยังมีผลดีต่อสุขภาพของลำไส้และระบบภูมิคุ้มกันโดยตรง จากกลไกการทำงานของ MCFAs มีคุณสมบัติด้านจุลชีพ โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *Salmonella* และแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของเยื่อลำไส้ (intestinal epithelial mucosal structure) ทำให้การดูดซึมสารอาหารมีประสิทธิภาพมากขึ้น และปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ (intestinal microbiota) การเสริมกลีเซอรอลโมโนลอเรต (GML) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดลอริก ยังช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในลำไส้เล็กและเพิ่มระดับพลังงาน (AMP) ในเยื่อบุผนังลำไส้ (Cui et al., 2022) ดังนั้นการปรับสมดุลจุลินทรีย์และเสริมสร้างความแข็งแรงของผนังลำไส้ช่วยลดอุบัติการณ์ของโรคท้องร่วงที่เกิดจากการติดเชื้อ และส่งเสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในช่วงหลังหย่านมที่ลูกสุกรมักเผชิญกับความเครียดและความเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง (Gebhardt et al., 2020)

2.3.4 ด้านความสามารถในการแข่งขันเพื่อเข้าถึงนมแม่เหลือง การได้รับนมแม่เหลือง (colostrum) ในปริมาณที่เพียงพอและรวดเร็วหลังคลอดเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดต่อการรอดชีวิตของลูกสุกร พลังงานที่ได้รับอย่างรวดเร็วจากการเสริม MCT ทำให้ลูกสุกรมีความกระตือรือร้นและแข็งแรงมากขึ้น จากการศึกษาหลายชิ้นพบว่าลูกสุกรที่แข็งแรงจะมีความสามารถในการแข่งขันเพื่อเข้าถึงเต้านมของแม่และดูดนมแม่เหลืองได้ดีขึ้น ซึ่งไม่เพียงแต่จะได้รับพลังงานและสารอาหารที่จำเป็นเท่านั้น แต่ยังได้รับภูมิคุ้มกันที่สำคัญจากแม่สุกร ซึ่งช่วยป้องกันโรคติดเชื้อต่างๆ ในช่วงแรกของการเกิดใหม่ มี

งานวิจัยพบว่าการเสริม MCT ในอาหารแม่สุกรช่วงท้ายของการตั้งท้องส่งผลให้ลูกสุกรมีอัตราการตายลดลงและมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มลูกสุกรน้ำหนักน้อย (Prado et al., 2022)

2.4 ศักยภาพของกรดลอริกและอนุพันธ์ (กลีเซอรอลโมโนลอเรต) ในการต้านจุลชีพ

กรดลอริก (Lauric acid; C12) ซึ่งเป็นกรดไขมันสายกลาง และอนุพันธ์ของมันอย่าง กลีเซอรอลโมโนลอเรต หรือที่รู้จักกันในชื่อ โมโนลอรีน (Monolaurin) ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางถึงคุณสมบัติในการต้านเชื้อจุลชีพ ทั้งแบคทีเรียและไวรัส โดยเฉพาะโมโนลอรีนซึ่งเป็นสารที่เกิดจากการรวมตัวของกรดลอริกกับกลีเซอรอล ถือว่ามีฤทธิ์ทางชีวภาพที่รุนแรงกว่ากรดลอริกในรูปอิสระ (Pluske et al., 2018)

2.4.1 กลไกการทำลายผนังเซลล์แบคทีเรียของกรดลอริกและโมโนลอรีนใช้ในการยับยั้งเชื้อจุลชีพคือการทำลายความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ ผ่านกิจกรรมการแทรกซึมและทำลายเยื่อหุ้มเซลล์เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมของกรดไขมันดังกล่าวผ่านคุณสมบัติคล้ายสารลดแรงตึงผิว (surfactant properties) โมเลกุลของกรดลอริกและโมโนลอรีนสามารถเข้าไปแทรกตัวในชั้นไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ (lipid bilayer) ของเชื้อจุลชีพได้ การกระทำนี้ส่งผลให้โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์เสียหาย, เพิ่มความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) และทำให้ส่วนประกอบสำคัญภายในเซลล์รั่วไหลออกมา ซึ่งนำไปสู่การตายของเซลล์ในที่สุด (Pangprasit et al., 2020) อีกทั้งยังช่วยยับยั้งเอนไซม์และการผลิตพลังงานของเชื้อแบคทีเรีย เนื่องด้วยกรดลอริกสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการสร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรีย เช่น เอนไซม์ MurA (UDP-N-acetylglucosamine enolpyruvyl transferase) เป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ผนังเซลล์ของแบคทีเรียทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาขั้นตอนแรกๆ ที่จำเป็นในการสร้างผนังเซลล์เปปทิโดไกลแคน (peptidoglycan) นอกจากนี้ยังเข้าไปรบกวนกระบวนการสร้างพลังงานของเซลล์ ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตและแบ่งตัวได้ตามปกติ (Borrelli et al., 2021)

2.4.2 การยับยั้งเชื้อก่อโรคสำคัญในสุกร พบว่ากรดลอริกและโมโนลอรีนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อก่อโรคที่สร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกร ในปัจจุบันเชื้อไวรัส PEDv (Porcine epidemic diarrhea virus) เป็นไวรัสที่มีเปลือกหุ้มเป็นไขมัน ทำให้ไวต่อการถูกทำลายด้วยกรดลอริกและโมโนลอรีน การศึกษาพบว่าการเสริมกรดลอริกสามารถลดความสามารถในการติดเชื้อของ PEDv ได้ นอกจากนี้ งานวิจัยล่าสุดยังยืนยันว่า โมโนลอรีน มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันการติดเชื้อ PEDv ในลูกสุกร โดยสามารถ ยับยั้งการแบ่งตัวของไวรัสพร้อมทั้งช่วยลดความรุนแรงอาการท้องเสีย และฟื้นฟูความยาวของวิลไล จากสภาวะหรือการทำลายลำไส้โดยเชื้อไวรัสได้ (Zhang et al., 2022a) เช่นเดียวกับ *Streptococcus spp.* ซึ่งเป็นเชื้อในกลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่เป็นสาเหตุสำคัญของโรคข้ออักเสบ เยื่อหุ้มสมองอักเสบ และการติดเชื้อในกระแสเลือดของสุกร กรดลอริกมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Streptococcus* หลายชนิดได้อย่างมีนัยสำคัญ (Matsue et al., 2019)

และ *Staphylococcus aureus* เป็นเชื้อนี้เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่ก่อให้เกิดโรคผิวหนังและการติดเชื้อต่างๆ การศึกษาพบว่ากรดลอริกสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *S. aureus* โดยทำให้เซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและทำลายความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์โดยตรง (Borrelli et al., 2021)

2.4.3 โมนอลอรินมีศักยภาพและกลไกการออกฤทธิ์ที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับลูกสุกรในช่วงดูตนม เนื่องจากเป็นสารที่สามารถออกฤทธิ์ได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์ไลเปส (Lipase) ซึ่งในลูกสุกรวัยอ่อนระบบเอนไซม์นี้ยังพัฒนาไม่เต็มที่ ส่งผลให้โมนอลอรินเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการเสริม ผลิตภัณฑ์สารเสริมในกลุ่มนมทดแทน หรือพลังงาน สำหรับลูกสุกรช่วงดูตนม ถึงแม้ในบางงานวิจัยอาจไม่พบผลโดยตรงของโมนอลอรินต่ออัตราการเจริญเติบโตของลูกสุกร แต่โมนอลอรินมีบทบาทสำคัญในการช่วยลดความรุนแรงของอาการท้องเสีย และส่งเสริมการฟื้นฟูโครงสร้างลำไส้ โดยเฉพาะการฟื้นฟูความยาวของวิลไล (intestinal villi) ที่ถูกทำลายจากการติดเชื้อไวรัส PEDv ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่นำไปสู่การรอดชีวิตและการเจริญเติบโตที่ดีในระยะยาว (Zhang et al., 2022) ในด้านภูมิคุ้มกัน โมนอลอรินช่วยเสริมสร้างการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในลูกสุกรที่ติดเชื้อ PEDv โดยพบว่าการใช้โมนอลอรินช่วยเพิ่มจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว (leukocytes) และอีโอซิโนฟิล (eosinophils) ซึ่งเป็นเซลล์สำคัญในการตอบสนองต่อการติดเชื้อ นอกจากนี้ โมนอลอรินยังช่วยปรับการทำงานของเส้นทางอินเตอร์เฟอรอน (interferon pathway) ซึ่งเป็นระบบป้องกันไวรัสหลักของร่างกาย ส่งผลให้ร่างกายสามารถฟื้นฟูสู่ภาวะสมดุลได้รวดเร็วยิ่งขึ้น (Wang et al., 2024) ในด้านค่าชีวเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่าโมนอลอรินช่วยลดระดับของ blood urea nitrogen (BUN) ในพลาสมา ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพในการใช้โปรตีนของร่างกายที่ดีขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระสำคัญ เช่น superoxide dismutase (SOD) และ catalase (CAT) ในเลือดและลำไส้ใหญ่ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการลดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ที่เกิดจากการติดเชื้อและสภาวะความเครียดทางชีวภาพต่าง ๆ (Wang et al., 2024) โดยสรุป โมนอลอรินจึงเป็นสารอาหารเสริมที่มีประโยชน์ในช่วงวัยอ่อนของลูกสุกร ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน ลดความรุนแรงของโรคติดเชื้อ ตลอดจนส่งเสริมการฟื้นฟูสุขภาพลำไส้และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในระยะยาว จึงนับเป็นทางเลือกที่ดีในการพัฒนาการจัดการโภชนาการและสุขภาพลูกสุกรในฟาร์มปัจจุบัน

2.4.4 กิจกรรมของแอลฟา-กลีเซอรอลโมนอเรต (α -GML) ต่อสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ (gut Microbiome) เมื่อรวมกับการเสริมกรดลอริก มีบทบาทสำคัญในการปรับสมดุลจุลินทรีย์ผ่านกลไกหลัก 2 ทาง คือ

1) การยับยั้งเชื้อก่อโรคโดยตรง โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก ซึ่งช่วยลดการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคที่เป็นภัยต่อระบบทางเดินอาหาร

2) การส่งเสริมสุขภาพลำไส้ ด้วยการลดการอักเสบและเสริมสร้างความแข็งแรงของผนังลำไส้ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยสร้างสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในลำไส้

จากการศึกษาของ Li et al. (2022) ศึกษาในลูกสุกรหย่านมพบว่าการเสริม α -GML หรือโมโนลอรีน ช่วยเพิ่มความสูงของวิลไล (Villus height) ในลำไส้เล็กส่วนเจจูนัมและไอเลียมได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การใช้กรดลอริกที่ผ่านการทำซาฟอนิฟิเคชันกับแคลเซียม (C12-Ca) ก็ช่วยเพิ่มความสูง และความกว้างของวิลไลในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมได้เช่นกัน ผนังลำไส้ที่สมบูรณ์และแข็งแรงช่วยป้องกันการดูดซึมของสารพิษ และเชื้อโรคเข้าสู่กระแสเลือด สอดคล้องกับการลดการอักเสบ และภาวะเครียดออกซิเดชันเมื่อเสริม α -GML ซึ่งช่วยเพิ่มระดับไซโตไคน์ต้านการอักเสบ (IL-10) และลดไซโตไคน์ที่ก่อให้เกิดการอักเสบ (TNF- α) ในซีรัม นอกจากนี้ยังเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (glutathione peroxidase) และลดสารบ่งชี้ภาวะเครียดออกซิเดชัน (Malondialdehyde) การลดการอักเสบและภาวะเครียดทำให้สภาพแวดล้อมในลำไส้เอื้อต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์มากขึ้น (Rebucci et al., 2021) โดยผลจากกลไกทั้งสองนี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้ลูกสุกรหย่านมที่เสริมด้วย α -GML โดยมีการเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียในไฟลัม Firmicutes และจีโนส *Lactobacillus* กับ *Blautia* ซึ่งเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตกรดไขมันสายสั้น (SCFAs) ซึ่งเป็นสารที่ส่งเสริมสุขภาพลำไส้ ขณะเดียวกันพบว่าการลดลงของแบคทีเรียในไฟลัม Bacteroidota และ Campilobacterota รวมถึงจีโนส *Campylobacter* ซึ่งเป็นเชื้อก่อโรค นอกจากนี้ยังลดสัดส่วนของ *Eubacterium rectale* ที่อาจมีผลเสียต่อสุขภาพลำไส้ (Li et al., 2022) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเสริมกรดลอริก และโมโนลอรีนในลูกสุกรช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผ่านกลไกการยับยั้งเชื้อก่อโรคโดยตรง ร่วมกับการส่งเสริมสุขภาพของผนังลำไส้และลดการอักเสบ ซึ่งสร้างสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมให้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์เจริญเติบโตได้ดีขึ้น

2.5 ไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชงและระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ในลูกสุกร และ คุณสมบัติด้านการอักเสบและต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกัญชง

ในอุตสาหกรรมการผลิตสุกรยุคใหม่ที่มีแนวโน้มการลดการใช้ยาปฏิชีวนะ การแสวงหาสารเสริมจากธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพเพื่อส่งเสริมสุขภาพและเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของลูกสุกร โดยเฉพาะกลุ่มที่มีน้ำหนักแรกเกิดต่ำ ถือเป็นโจทย์วิจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง สารสกัดจากกัญชง (*Hemp, Cannabis sativa L.*) ซึ่งอุดมไปด้วยสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายกลุ่ม รวมถึงกลุ่มไฟโตแคนนาบินอยด์ (Phyto cannabinoids) ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติที่

หลากหลาย ทั้งการต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และการปรับสมดุลระบบภูมิคุ้มกัน (immune modulation) กลไกการออกฤทธิ์ของสารไฟโตแคนนาบินอยด์ส่วนหนึ่งเกิดจากการทำงานร่วมกับระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ (endocannabinoid system; ECS) ซึ่งเป็นระบบสัญญาณชีวภาพที่มีอยู่ตามธรรมชาติในร่างกายสัตว์ ระบบนี้มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน การอักเสบ รวมถึงการรักษาความสมดุลภายในร่างกาย การวิจัยในสุกรและสัตว์ทดลองอื่น ๆ พบว่าไฟโตแคนนาบินอยด์สามารถช่วยลดการอักเสบและความเครียดจากออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยปรับปรุงสุขภาพโดยรวมและเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต นอกจากนี้ ไฟโตแคนนาบินอยด์ยังส่งเสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและช่วยลดผลเสียจากการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหารและระบบอื่น ๆ ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ สารสกัดจากกัญชงจึงเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและตัวช่วยทางสุขภาพในอุตสาหกรรมสุกร เพื่อให้เกิดการเลี้ยงดูที่ยั่งยืนและลดการพึ่งพายาปฏิชีวนะในระยะยาว

2.5.1 ไฟโตแคนนาบินอยด์และกลไกการทำงานร่วมกับระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ในสุกร ระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ (ECS) เป็นระบบการสื่อสารระหว่างเซลล์ที่ซับซ้อนในร่างกายสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม รวมถึงสุกร มีบทบาทสำคัญในการควบคุมและรักษาสมดุลทางสรีรวิทยา (homeostasis) ของร่างกาย เช่น ความอยากอาหาร การรับรู้ความเจ็บปวด อารมณ์ และการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (Rocca and Salvo, 2020) ระบบนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1) ตัวรับแคนนาบินอยด์ (cannabinoid receptors) ตัวรับหลักมี 2 ชนิด คือ CB1 และ CB2 (Cabral et al., 2015) โดยที่ ตัวรับ CB1 พบมากในระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system) เช่น สมอง โดยมีบทบาทสำคัญในการควบคุมผลทางจิตประสาท (psychoactive effects) ความอยากอาหาร ความเจ็บปวด การเคลื่อนไหว ความทรงจำ และการเรียนรู้ (Cortés et al., 2023) นอกจากนี้ตัวรับ CB2 พบในเซลล์ของระบบภูมิคุ้มกัน เช่น B-cell, macrophage รวมถึงเนื้อเยื่อส่วนปลายของร่างกาย เช่น ม้าม ต่อมทอนซิล และกลุ่มเซลล์ภูมิคุ้มกันอื่นๆ CB2 มีบทบาทสำคัญในการปรับการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันและควบคุมกระบวนการอักเสบ (Cabral et al., 2015)

2) เอนโดแคนนาบินอยด์ (endocannabinoids) เป็นสารที่ร่างกายสร้างขึ้นเองเพื่อจับกับตัวรับ CB1 และ CB2 ตัวอย่างสำคัญคือ anandamide (AEA) และ 2-arachidonoylglycerol (2-AG) ตัวอย่างสำคัญคือ anandamide (AEA) และ 2-arachidonoylglycerol (2-AG) (Donvito et al., 2018)

3) เอนไซม์ที่ทำหน้าที่สังเคราะห์และสลายเอนโดแคนนาบินอยด์ (endocannabinoids) มีบทบาทสำคัญในการควบคุมสมดุลและการทำงานของระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ (ECS) โดยเอนไซม์เหล่านี้จะสร้างและทำลายสารสื่อประสาทที่มีลักษณะเป็นสารไขมัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณในระบบ ECS เพื่อรักษาความสมดุลของร่างกายในหลายระบบทั้งระบบประสาท ระบบ

ภูมิคุ้มกัน และระบบสืบพันธุ์ ในส่วนของสารสกัดจากกัญชง (hemp extract) พบว่าประกอบด้วยไฟโตแคนนาบินอยด์ (Phyto cannabinoids) มากกว่า 100 ชนิด ซึ่งสารที่ได้รับการศึกษามากที่สุดและเป็นสารออกฤทธิ์หลัก ได้แก่ Cannabidiol (CBD) และ Tetrahydro-cannabinol (THC) Cannabidiol (CBD) เป็นสารที่ไม่มีฤทธิ์ต่อจิตประสาท (non-psychoactive) แต่มีคุณสมบัติทางเภสัชวิทยาที่โดดเด่น เช่น ด้านการอักเสบ ด้านอนุมูลอิสระ และช่วยลดความวิตกกังวล โดย CBD ออกฤทธิ์ผ่านกลไกที่ซับซ้อน เช่น ตัวรับชนิดแคนนาบินอยด์ชนิดหนึ่ง (putative cannabinoid receptor) แม้จะมีลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างจากตัวรับ CB1 และ CB2 แต่ GPR55 มีบทบาทในระบบประสาทและระบบทางเดินอาหาร มีส่วนเกี่ยวข้องกับการรับรู้ความเจ็บปวดและการอักเสบ รวมถึงกลไกทางสรีรวิทยาในลำไส้และสมอง และ transient receptor potential vanilloid 1 (TRPV1) ทำให้เกิดผลทางเภสัชที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพสูง (Cancino et al., 2014) ในขณะที่ Tetrahydrocannabinol (THC) เป็นสารที่มีฤทธิ์ต่อจิตประสาท (psychoactive) เป็นโปรตีนช่องทางไอออนที่ทำหน้าที่ตรวจจับและควบคุมอุณหภูมิร่างกายและความรู้สึกเจ็บปวด และจับกับตัวรับ CB1 โดยตรง ทำให้เกิดอาการตอบสนองทางประสาทและพฤติกรรมต่าง ๆ ของร่างกายที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ของไฟโตแคนนาบินอยด์ (Opyd, 2024) พบว่าทั้ง 3 ส่วน มีการทำงานร่วมกันของสารประกอบต่างๆ ในกัญชง ทั้งไฟโตแคนนาบินอยด์ เทอร์ปีน และฟลาโวนอยด์ ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า กลไกการทำงานร่วมกันของสารหลายชนิดในสารแคนนาบินอยด์ (entourage effect) ซึ่งเป็นการเสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกัน ทำให้สารสกัดโดยรวมมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้สารประกอบเดี่ยวๆ (Rocca and Salvo, 2020) สำหรับในสุกร การมีอยู่ของตัวรับแคนนาบินอยด์ในเซลล์รับรสบนลิ้น ยังบ่งชี้ว่าระบบ ECS อาจมีบทบาทในการรับรู้รสชาติและส่งเสริมการกินอาหารได้อีกด้วย (Cunha et al., 2024)

2.5.2 คุณสมบัติด้านการอักเสบและต้านอนุมูลอิสระ กลไกการส่งเสริมสุขภาพลูกสุกร ลูกสุกรแรกเกิด โดยเฉพาะกลุ่มน้ำหนักน้อย มักเผชิญกับภาวะเครียดจากการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ การติดเชื้อ และการอักเสบ ซึ่งนำไปสู่ภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) สารสกัดจากกัญชงสามารถเข้ามามีบทบาทในการบรรเทาปัญหาเหล่านี้ผ่านกลไกต่างๆ

1) กลไกการต้านการอักเสบ (anti-inflammatory mechanisms) ของสาร Cannabidiolic acid (CBDA) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของ CBD มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการอักเสบ โดยเฉพาะเอนไซม์ Cyclooxygenase-2 (COX-2) ซึ่งเป็นตัวหลักในกระบวนการอักเสบ คล้ายกับกลุ่มยาต้านการอักเสบที่ไม่ใช่สเตียรอยด์ (NSAIDs) (Cunha et al., 2024) นอกจากนี้ CBDA ยังสามารถปรับสมดุลของไซโตไคน์ (cytokine modulation) ได้โดยการควบคุมการทำงานของเซลล์ T-helper (Th cells) โดยลดการผลิตไซโตไคน์ที่ส่งเสริมการอักเสบ เช่น IFN- γ และ IL-12 จากเซลล์ Th1 และเพิ่มการผลิตไซโตไคน์ด้านการอักเสบ เช่น IL-4 จากเซลล์ Th2 กลไกนี้ช่วยลดการ

ตอบสนองการอักเสบที่รุนแรงเกินไปในร่างกาย ทำให้การอักเสบสงบลงและลดความเสียหายของเนื้อเยื่อ และพบอีกว่า CBDA ยังทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งช่วยลดความเครียดออกซิเดชันที่เกิดจากการอักเสบ ตลอดจนมีฤทธิ์ในการควบคุมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันที่ซับซ้อนโดยผ่านการกระตุ้นและยับยั้งตัวรับต่าง ๆ ในระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ (Endocannabinoid System) รวมถึงการกระตุ้นตัวรับ PPAR- γ ที่ช่วยควบคุมการอักเสบและเมตาบอลิซึมของเซลล์ โดยมีงานวิจัยล่าสุดยังพบว่า CBDA อาจมีบทบาทในด้านการต้านเชื้อจุลินทรีย์และช่วยลดอาการปวดตลอดจนอาการคลื่นไส้ ซึ่งเสริมความเป็นไปได้ในการใช้เป็นยาธรรมชาติที่มีศักยภาพทางการรักษาได้อย่างหลากหลาย อีกทั้ง CBDA ยังเป็นเป็นสารออกฤทธิ์ที่มีศักยภาพสูงในการลดการอักเสบอย่างมีประสิทธิภาพ ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง ปรับสมดุลของไซโตไคน์ และส่งเสริมการทำงานที่เหมาะสมของระบบภูมิคุ้มกัน โดยไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงทางจิตประสาทที่พบในสาร THC ซึ่งทำให้เป็นสารธรรมชาติที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาการรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบและความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกันในอนาคต (Donvito et al., 2018) และลดฮอร์โมนความเครียด เนื่องจากภาวะเครียดทางร่างกาย และจิตใจจะกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนคอร์ติซอล (Cortisol) ซึ่งในระยะยาวจะกดภูมิคุ้มกันและส่งเสริมการอักเสบ เมื่อพิจารณาการเสริมาร่วมกับไบโกลูซิงในสุกรระยะรุ่น-ขุนสามารถลดระดับฮอร์โมนคอร์ติซอลได้ (อดิศักดิ์ และคณะ 2565) การกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันจาก การเสริมกากเมล็ดถั่วเหลืองในอาหารสุกรหย่านมสามารถเพิ่มระดับภูมิคุ้มกัน IgM และ IgG ได้ ซึ่งเป็นผลมาจากส่งเสริมของสารไฟโตแคนนาบินอยด์ และการปรับสมดุลของระบบภูมิคุ้มกันโดยรวม (วันดี และคณะ 2565)

2) กลไกการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant mechanisms) ของสารกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในกัญชง เช่น cannafavin, kaempferol และ apigenin มีประสิทธิภาพสูงในการดักจับและลดปริมาณอนุมูลอิสระในร่างกายของสิ่งมีชีวิต โดยสารเหล่านี้สามารถบริจาคไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่ที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์สิ้นสุดลง (Cásedas et al., 2022) นอกจากนี้ การยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระยังเกิดขึ้นผ่านกลไกการยับยั้งเอนไซม์ Lipxygenase ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในการสร้างสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดการอักเสบและการเกิดอนุมูลอิสระ สารฟีนอลิกในกัญชงสามารถจับกับไอออนของเหล็ก (ซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์) ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้อีกทั้งยังสามารถจับกับไอออนโลหะเชิงซ้อน (chelating- transition metal ions) ซึ่งลดความเสี่ยงในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันผ่านปฏิกิริยา Fenton และ Haber-Weiss ได้อีกทางหนึ่ง (Nimse and Pal, 2015) ซึ่งสอดคล้องกับ **Figure 2.1** สารแคนนาบินอยด์โดยเฉพาะ cannabidiol (CBD) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและลดความเครียดออกซิเดชันในเซลล์ โดยสามารถทำงานผ่านตัวรับ cannabinoid หลัก ได้แก่ CB1, CB2 และตัวรับอื่น เช่น GPR55, TRPV1 ซึ่งช่วยควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระ (Reactive Oxygen Species, ROS) ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ นอกจากนี้ CBD สามารถกระตุ้นกลไกการต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย โดยส่งผลต่อการเพิ่มระดับของเอนไซม์สำคัญ ได้แก่ superoxide

dismutase (SOD), catalase และ glutathione peroxidase (GPx) ซึ่งมีหน้าที่ในการเปลี่ยน reactive oxygen species (ROS) ที่เป็นอนุมูลอิสระ ให้กลายเป็นสารที่ปลอดภัย เช่น น้ำ (H_2O) และออกซิเจน กลไกนี้ช่วยลดความเสียหายต่อเซลล์ เช่น การทำลายดีเอ็นเอ การเกิด lipid peroxidation ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ และลดการเกิดภาวะอักเสบเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับ oxidative stress การเสริม CBD จึงมีศักยภาพในการป้องกันและลดผลกระทบจากความเครียดออกซิเดชัน เสริมสร้างสุขภาพและความสมบูรณ์ของระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์ และ CBD ยังมีผลยับยั้งเส้นทางการส่งสัญญาณที่กระตุ้นการอักเสบ เช่น การลดการสร้าง cytokine เช่น Tumor Necrosis Factor-alpha ($TNF-\alpha$) และลดการทำงานของ NF- κ B, Cyclooxygenase-2 (COX-2) ซึ่งเป็นตัวกลางสำคัญในกระบวนการอักเสบ ซึ่งสรุปได้ว่า CBD และสารแคนนาบินอยด์อื่น ๆ มีบทบาทเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยปกป้องเซลล์จากความเสียหาย ช่วยลดการอักเสบ และส่งเสริมสุขภาพของเซลล์ผ่านกลไกการควบคุม ROS และเส้นทางการส่งสัญญาณภายในเซลล์อย่างมีประสิทธิภาพ

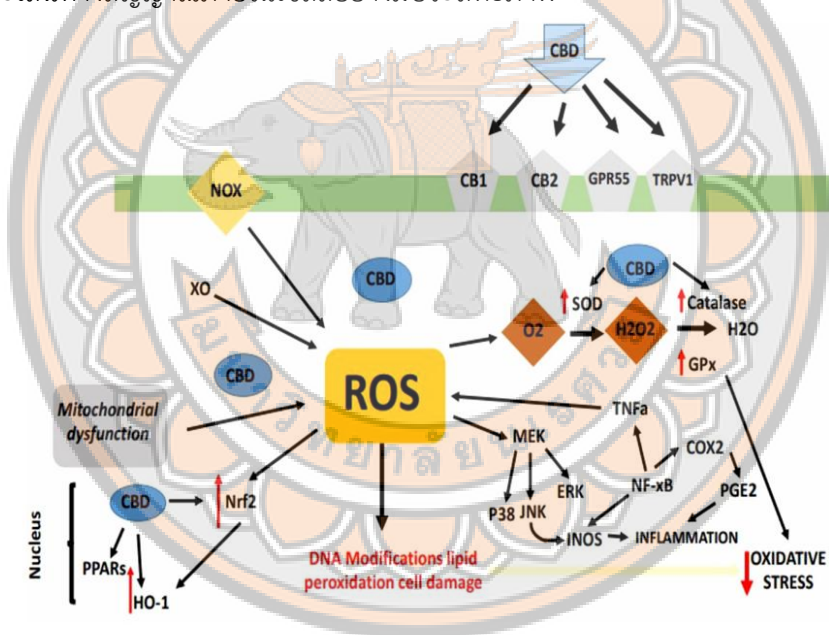


Figure 2.1 Overview of antioxidant property of cannabinoids, especially CBD, have been shown to act as scavengers of free radicals via neutralizing the reactive molecules, preventing them from causing cellular damage. (Hassan et al., 2023)

ด้วยกลไกเหล่านี้ สารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชงจึงมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้เป็นสารเสริมสุขภาพสำหรับลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดน้อย โดยทำงานร่วมกับระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ของร่างกาย ซึ่งเป็นระบบที่ควบคุมสมดุลทางสรีรวิทยาและช่วยลดการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน

ที่เกินความจำเป็นในรูปแบบของการอักเสบ รวมทั้งช่วยปกป้องเซลล์จากสภาวะเครียดออกซิเดชันที่เป็นปัจจัยสำคัญที่คุกคามการรอดชีวิต และส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในระยะเริ่มต้นของลูกสุกร การศึกษาวิจัยเชิงลึกเกี่ยวกับกลไกการออกฤทธิ์และผลของไฟโตแคนนาบินอยด์ในลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดน้อย จะเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติซึ่งมีศักยภาพในการลดการใช้ยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกร ช่วยส่งเสริมความยั่งยืนและสุขภาพสัตว์ในระยะยาว

2.5.3 กลไกการทำงานของไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชงต่อระบบเอนโดแคนนาบินอยด์:

แนวทางการส่งเสริมพัฒนาการของระบบทางเดินอาหารและภูมิคุ้มกันในลูกสุกรระยะดูนวม

ลูกสุกรในช่วงแรกเกิด โดยเฉพาะกลุ่มลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดน้อย (low birth weight piglets) เป็นกลุ่มที่มีความเปราะบางสูง เนื่องจากระบบทางเดินอาหารและระบบภูมิคุ้มกันยังพัฒนาได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เสี่ยงต่อการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร เกิดอาการท้องเสีย และมีอัตราการรอดชีวิตต่ำ สารสกัดจากกัญชงที่อุดมด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยเฉพาะไฟโตแคนนาบินอยด์ (Phyto cannabinoids) ได้แสดงศักยภาพโดดเด่นในการส่งเสริมสุขภาพลูกสุกรผ่านทำงานร่วมกับระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ (ECS; endocannabinoid system) ซึ่งเป็นระบบควบคุมสมดุลทางสรีรวิทยาสำคัญของร่างกายสัตว์ ระบบนี้ทำหน้าที่เป็นเครือข่ายสื่อสารระหว่างเซลล์เพื่อรักษาสมดุลของร่างกาย (homeostasis) (Donvito et al., 2018) ระบบนี้พบได้ในสัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิด รวมถึงสุกร และมีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการทางชีวภาพต่างๆ เช่น การอักเสบ ความเจ็บปวด ระบบภูมิคุ้มกัน และการทำงานของระบบทางเดินอาหาร โดยองค์ประกอบหลักของ ECS ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาของระบบทางเดินอาหารสุกรคลอดใหม่ มีรายละเอียดดังนี้

1) การลดการอักเสบในลำไส้ (reducing gut inflammation) การอักเสบที่ผนังลำไส้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การดูดซึมสารอาหารลดลงและเกิดอาการท้องเสีย ไฟโตแคนนาบินอยด์ เช่น CBD และ CBDA มีคุณสมบัติเด่นในการต้านการอักเสบโดยยับยั้งเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการอักเสบ การลดการอักเสบนี้ช่วยฟื้นฟูสภาพของวิลไล (villi) ในลำไส้ให้กลับมามีสุขภาพดี ส่งผลให้พื้นที่ผิวสำหรับดูดซึมสารอาหารเพิ่มขึ้น และช่วยให้ลูกสุกรได้รับสารอาหารจากน้ำนมแม่อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ ไฟโตแคนนาบินอยด์ยังช่วย ปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ (modulating gut microbiota) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่สัมพันธ์โดยตรงกับสุขภาพลำไส้ (Brown et al., 2024) ทั้งนี้ ไฟโตแคนนาบินอยด์ เช่น CBD และ THC สามารถฟื้นฟูการซึมผ่านของผนังลำไส้ (gut permeability) ที่ผิดปกติซึ่งเกิดจากการอักเสบให้กลับสู่ภาวะปกติได้ (Cohen et al., 2023) โดยเชื่อมโยงของกิจกรรม ECS มีความสัมพันธ์แบบสองทาง (bidirectional relationship) กับจุลินทรีย์ในลำไส้ กล่าวคือ ECS ช่วยส่งเสริมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ และจุลินทรีย์ที่ดีเหล่านี้ก็สามารถส่งเสริมการทำงานของ ECS ในทางกลับกันได้ นอกจากนี้ ECS ยังช่วยลดการอักเสบ และสร้างสภาวะที่เอื้อต่อการ

เจริญของจุลินทรีย์ดีในขณะลดสัดส่วนจุลินทรีย์ก่อโรค (Srivastava et al., 2022) ซึ่งสอดคล้องกับ **Figure 2.2** อธิบายบทบาทของไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชาทำงานผ่านระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ (ECS) ซึ่งช่วยส่งเสริมพัฒนาการของระบบทางเดินอาหารและภูมิคุ้มกันในลูกสุกรช่วงดูดนม โดยเฉพาะลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดต่ำที่มีความเปราะบางสูง เนื่องจากระบบทางเดินอาหารและภูมิคุ้มกันยังไม่พัฒนาเต็มที่ พบว่าระบบ ECS เป็นการควบคุมสมดุลทางสรีรวิทยาในร่างกายสัตว์ ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางสื่อสารระหว่างเซลล์เพื่อรักษาการสมดุลของร่างกาย สารไฟโตแคนนาบินอยด์ เช่น CBD, CBDA, THC จะยับยั้งการอักเสบในลำไส้ด้วยการลดเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการอักเสบ ส่วนในด้านภูมิคุ้มกัน ไฟโตแคนนาบินอยด์จะทำงานโดยกระตุ้นตัวรับ CB2 ที่อยู่บนเซลล์ภูมิคุ้มกัน เช่น B-lymphocytes, T-lymphocytes และ macrophages ซึ่งกระตุ้นการสร้างแอนติบอดี IgM และ IgG เสริมความแข็งแรงของระบบภูมิคุ้มกันในลูกสุกร ช่วยให้ลูกสุกรสามารถต้านทานเชื้อโรคได้ดียิ่งขึ้นโดยรวมแล้ว การทำงานของไฟโตแคนนาบินอยด์ร่วมกับระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ช่วยส่งเสริมสุขภาพลูกสุกรผ่านการควบคุมการอักเสบ ปรับสมดุลจุลินทรีย์ ดูแลการทำงานของลำไส้ และเสริมระบบภูมิคุ้มกันอย่างมีประสิทธิภาพ

2) การควบคุมการเคลื่อนไหวของลำไส้ (Regulating gut motility) ซึ่งเป็นหนึ่งในเป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้ที่ต้องการศึกษาความหลากหลายของประชากรจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค Next Generation Sequencing (NGS) อีกทั้งยังสามารถอภิปรายผลผลเชิงอ้อมของระบบทางเดินอาหารประเด็นการควบคุมการเคลื่อนไหวของลำไส้ (regulating gut motility) โดยที่ ECS มีบทบาทในการควบคุมการบีบตัวของลำไส้ การทำงานที่สมดุลของ ECS ช่วยให้การเคลื่อนไหวของลำไส้เป็นปกติ ลดปัญหาท้องผูก หรือท้องเสียที่เกิดจากการบีบตัวผิดปกติได้ (Zheng et al., 2022)

3) การส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของลูกสุกรช่วงดูดนม (Immune modulation) การส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของลูกสุกรช่วงดูดนม ลูกสุกรได้รับภูมิคุ้มกันส่วนใหญ่จากนมแม่ แต่ระบบภูมิคุ้มกันของตัวเองยังต้องใช้เวลาในการพัฒนา โดยเฉพาะไฟโตแคนนาบินอยด์สามารถช่วยเร่งและเสริมสร้างความแข็งแรงของระบบภูมิคุ้มกันได้ผ่านกลไกการปรับการทำงานของเซลล์ภูมิคุ้มกันโดยตรง (direct modulation of immune cells) โดยมีตัวรับ CB2 ซึ่งสามารถพบได้หนาแน่นบนผิวของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกัน เช่น B-lymphocytes (เซลล์สร้างแอนติบอดี), T-lymphocytes และ Macrophages การที่ไฟโตแคนนาบินอยด์เข้าไปจับกับตัวรับ CB2 สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานของเซลล์เหล่านี้ได้โดยตรง (Simard et al., 2022) อีกทั้งการกระตุ้นการสร้างแอนติบอดี (stimulating antibody production) จะช่วยเพิ่มระดับภูมิคุ้มกัน IgM และ IgG โดยกลไกที่เป็นไปได้คือ การที่แคนนาบินอยด์เข้าไปกระตุ้นเซลล์ B-lymphocytes ผ่านตัวรับ CB2 ทำให้เซลล์แบ่งตัวและพัฒนาไปเป็น plasma cell ที่ทำหน้าที่ผลิตแอนติบอดี (IgM และ IgG) ได้มากขึ้น (Simard et al., 2022; Tanasescu and Constantinescu, 2010) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ

วันดี และคณะ (2565) พบว่าการเสริมกากเมล็ดักขิงในสุกรหย่านมเพิ่มระดับ IgM และ IgG ซึ่งแสดงถึงภูมิคุ้มกันที่แข็งแรงขึ้น โดย IgM เป็นแอนติบอดีด่านแรกในการตอบสนองต่อการติดเชื้อและเป็นภูมิคุ้มกันหลักในกระแสเลือด การมีระดับ IgM และ IgG สูงจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการต่อสู้กับเชื้อโรคในลูกสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

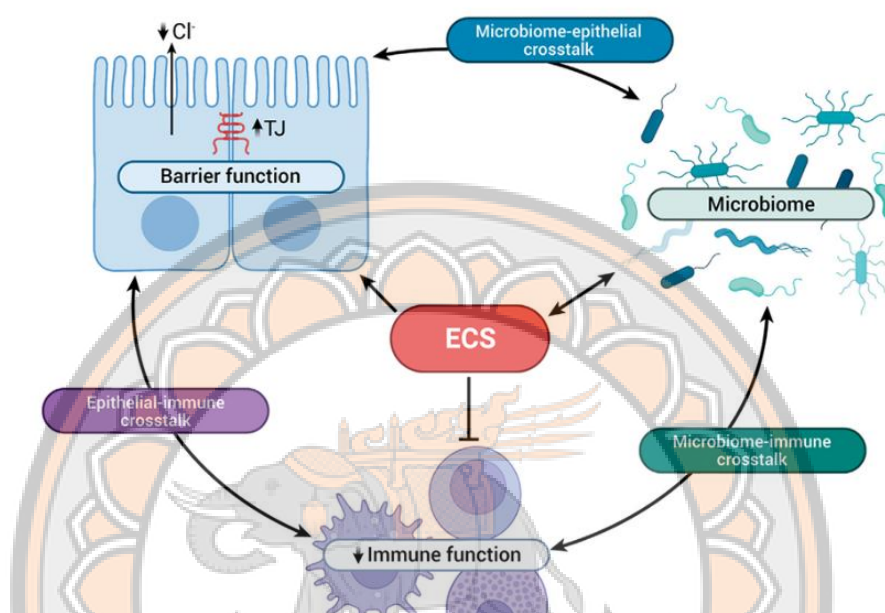


Figure 2.2 Endocannabinoid system (ECS) interactions with barrier, immune, and microbiome systems. (Cuddihey et al., 2022)

2.6 เทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูเลชันโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับผลิตภัณฑ์เสริมสำหรับสุกร

เทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูเลชัน (microencapsulation) คือกระบวนการสร้างเกราะป้องกันขนาดเล็กในระดับไมโครเมตร เพื่อห่อหุ้มสารออกฤทธิ์ (core material) ด้วยวัสดุผนังห่อหุ้ม (wall material) **Figure 2.3** ซึ่งช่วยปกป้องสารสำคัญจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ความร้อน ความชื้น ออกซิเจน หรือปฏิกิริยาเคมีอื่น ๆ ในการผลิตอาหารสัตว์ เทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูเลชันได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของสารเสริมโภชนะ ลดการสูญเสียสารออกฤทธิ์ และช่วยควบคุมการปลดปล่อยสารอย่างมีประสิทธิภาพในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ หนึ่งในวิธีการไมโครเอนแคปซูเลชันที่ได้รับความนิยมและถือว่าคุ้มค่าที่สุด คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสารละลายหรือสารแขวนลอยในรูปของเหลวให้กลายเป็นผงแห้งได้อย่างรวดเร็ว ด้วยการพ่นของเหลวเข้าสู่ห้องอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้ละอองของเหลวระเหยน้ำอย่างรวดเร็วและตกตะกอนเป็นอนุภาคไมโครผงขนาดไมโครเมตร ที่มีความเสถียรสูง สำหรับ

กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้มีข้อดีดังนี้ (1) สามารถผลิตสารไมโครเอนแคปซูลชั้นที่มีขนาดสม่ำเสมอและควบคุมได้ (2) เพิ่มอายุการเก็บรักษาของสารสำคัญโดยลดการสลายตัว (3) ช่วยปกป้องสารออกฤทธิ์จากความชื้นและออกซิเจน (4) มีต้นทุนการผลิตต่ำเมื่อเทียบกับวิธีไมโครเอนแคปซูลชั้นรูปแบบอื่น ๆ (5) เหมาะสำหรับการผลิตในปริมาณมากและสามารถปรับขนาดกระบวนการได้ง่าย ดังนั้น เทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูลชั้นด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยจึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสัตว์ (Pudžiulyte et al., 2025)

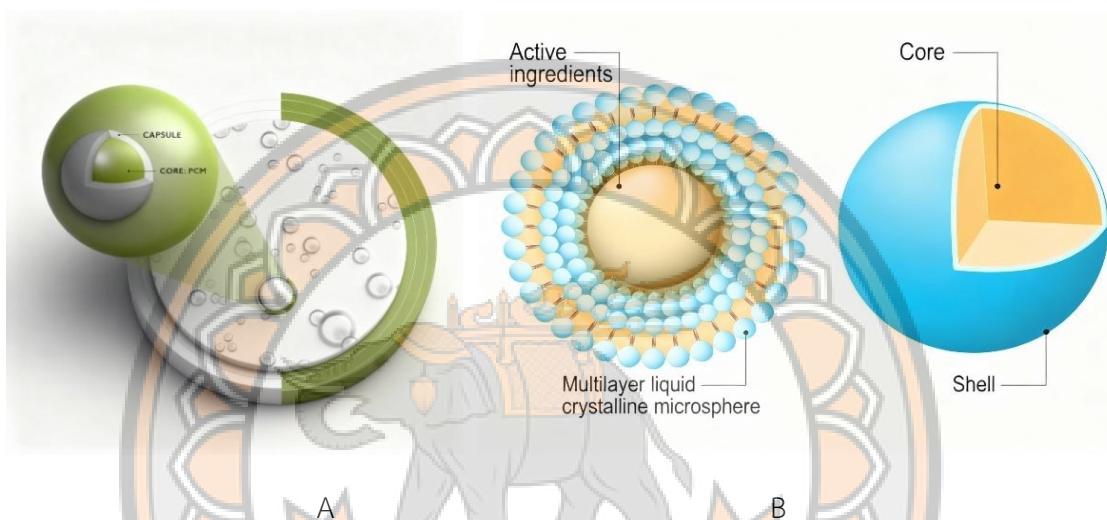


Figure 2.3 Structural characteristics of the emulsion before spray drying (A) and the microencapsulated powder following spray drying (B).

2.6.1 หลักการทำงานของเทคโนโลยีสเปรย์ดราย เป็นกระบวนการแปรรูปที่ได้รับความนิยมสูงในการผลิตไมโครเอนแคปซูล โดยกระบวนการนี้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) การเตรียมของเหลว (liquid feedstock preparation) เป็นขั้นตอนแรกและสำคัญที่สุด โดยนำสารออกฤทธิ์ที่ต้องการห่อหุ้ม (เช่น กรดไขมันสายกลาง สารสกัดกัญชง น้ำมันหอมระเหย) มาผสมกับวัสดุผนัง (เช่น มอลโตเดกซ์ทริน และ โปรตีน เป็นต้น) ในตัวทำละลาย (ส่วนใหญ่มักเป็นน้ำ) เพื่อสร้างเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันที่เรียกว่า อิมัลชัน (emulsion) หรือ สารแขวนลอย (suspension) โดยคาน้ำจิ้ม 2 ประเด็น แกนกลาง (core material) คือสารออกฤทธิ์ที่เราต้องการห่อหุ้ม เช่น น้ำมันหอมระเหย MCFA's หรือสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ เป็นต้น และ สารเคลือบ (wall material) คือสารที่ทำหน้าที่เป็นผนังทำการห่อหุ้มแกนกลางไว้ ส่วนใหญ่มักเป็นสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (เช่น มอลโตเดกซ์ทริน) หรือโปรตีน (เช่น เคซีน) ที่สามารถละลายน้ำได้ (Riadini, 2020)

2) การทำอิมัลชันให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenization) นำส่วนผสมของเหลวมาปั่นด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (homogenizer) ด้วยความเร็วสูง เพื่อให้อนุภาคของแกนกลาง (น้ำมัน) กระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ และสม่ำเสมอในสารเคลือบ (น้ำ) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลต่อความเสถียรของอิมัลชันและประสิทธิภาพการห่อหุ้ม

3) การพ่นฝอย (atomization) ของเหลวอิมัลชันที่เตรียมไว้จะถูกบีบเข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) และถูกพ่นผ่านหัวฉีดขนาดเล็ก (nozzle) ทำให้เกิดเป็นละอองฝอยละเอียดกระจายตัวเข้าไปในห้องอบลมร้อน

4) การทำแห้งอย่างรวดเร็ว (rapid drying) ละอองฝอยขนาดเล็กที่ถูกพ่นเข้าสู่ห้องอบ จะได้รับความร้อนจากลมร้อนที่อุณหภูมิสูง เช่น 190-220 °C ทำให้น้ำในสารเคลือบระเหยออกอย่างรวดเร็ว วัสดุผนังจะเกิดการแข็งตัวและสร้างเป็นผงอนุภาคแห้งที่ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ในแกนกลางห่อหุ้มไว้อย่างมั่นคง (microcapsules) กระบวนการทำแห้งอย่างรวดเร็วนี้เป็นกุญแจสำคัญที่ช่วยรักษาคุณภาพของสารออกฤทธิ์และลดการเสียหายทางเคมีหรือทางกายภาพ

5) การรวบรวมผลิตภัณฑ์ (particle collection) เมื่อตัวทำละลายระเหยออกไป จะเหลือเพียงผงแห้งขนาดเล็ก (microcapsules) ซึ่งจะถูกแยกออกจากลมร้อนและรวบรวมโดยระบบไซโคลน (cyclone separator)

2.6.2 ตัวชี้วัดทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อการประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ไมโครเอนแคปซูล ดังนี้

1) ตัวชี้วัดคุณภาพของอิมัลชัน (emulsion quality indicators) ประกอบด้วย ดัชนีการแยกชั้นของครีม/น้ำมัน (creaming/oiling-off Index) เป็นตัวชี้วัดความเสถียรของอิมัลชัน โดยบ่งชี้ถึงการแยกชั้นของไขมันหรือครีมออกจากน้ำ ขนาดอนุภาค (droplet size) เป็นตัวบ่งชี้ขนาดของหยดไขมันภายในอิมัลชัน โดยขนาดที่เล็กจะช่วยเพิ่มความเสถียรและประสิทธิภาพของอิมัลชันมากขึ้น และค่าการกระจายตัว (polydispersity index, PDI) แสดงความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาคในอิมัลชัน ค่า PDI ที่ต่ำแสดงถึงการกระจายตัวที่ดีและสม่ำเสมอ

2) ตัวชี้วัดคุณภาพของผงไมโครเอนแคปซูล (powder quality indicators) ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (Encapsulation efficiency) วัดปริมาณสารออกฤทธิ์ที่ถูกห่อหุ้มได้สำเร็จ เทียบกับปริมาณสารทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต เป็นตัวชี้วัดสำคัญที่บ่งบอกประสิทธิภาพของกระบวนการไมโครเอนแคปซูลขึ้น โดยที่จะต้องประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของผง (physical properties) ประกอบด้วย ความชื้น (moisture content) พบว่าตัวชี้วัดนี้ใช้เพื่อประเมินความคงตัวและอายุการเก็บรักษาของผง ส่วนค่าแอกติวิตีของน้ำ (water activity; a_w) เป็นตัวชี้วัดควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และความเสถียรของผลิตภัณฑ์ ส่วนความหนาแน่นของผง (bulk and tapped density) ซึ่งตัวชี้วัดนี้ใช้สำหรับการบรรจุและการไหลของผง และความสามารถใน

การละลาย (solubility) เป็นตัวชี้วัดความพร้อมใช้งานของสารที่ห่อหุ้มเมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร (Pui and Lejaniya, 2022) และการประเมินด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อดูรูปร่างลักษณะและพื้นผิวของอนุภาค

2.6.3 ความก้าวหน้าและปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในเทคโนโลยีกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยที่ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying technology) สามารถแบ่งตามกระบวนการและการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) การเตรียมของเหลวป้อน (liquid feedstock preparation) ขั้นตอนนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยต้องพิจารณาคุณสมบัติของสารออกฤทธิ์ หรือ กลุ่มสารที่ต้องการให้เป็น core material จะต้องเป็นสารที่ต้องการห่อหุ้ม ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์มักเป็นสารที่มีความเปราะบาง มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ หรือต้องการให้นำส่งไปยังอวัยวะเป้าหมาย เช่น กรดไขมันสายกลาง น้ำมันหอมระเหย ที่มีความไวต่อการออกซิเดชัน กรดอินทรีย์ (organic acids) เพื่อให้ไปออกฤทธิ์ในลำไส้ วิตามินและแร่ธาตุที่สลายตัวง่าย เช่น วิตามิน A D และ E และ โปรไบโอติกส์ (probiotics) เพื่อปกป้องเชื้อจากกรดในกระเพาะอาหาร

2) วัสดุผนัง (wall material) เป็นสารที่ใช้สร้างเกราะห่อหุ้ม core material เพื่อปกป้องและควบคุมการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ ปัจจุบันมีการพัฒนาใช้วัสดุที่หลากหลายมากขึ้น รวมถึงการผสมผสานวัสดุหลายชนิดเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่หลากหลายและเหมาะสมกับเป้าหมาย เช่น การใช้มอลโทเดกซ์ตริน (maltodextrin) ที่ละลายน้ำดี และมีราคาถูก แต่มีความสามารถในการสร้างอิมัลชันต่ำ กัมอะราบิก (gum arabic) ที่มีคุณสมบัติด้านการสร้างอิมัลชันและฟิล์มปกป้องที่ดีเยี่ยมแต่ราคาสูง ส่วนการใช้โปรตีนจากพืชและนม เช่น เวย์โปรตีน หรือโซเดียมเคซีนเนต ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ และเพิ่มความคงตัวให้ผลิตภัณฑ์ อีกทั้งการเลือกวัสดุที่ได้จากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมเกษตร เช่น ผนังเซลล์ยีสต์ โปรตีนจากกากคาโนลา หรือเส้นใยจากเปลือกส้ม ซึ่งช่วยส่งเสริมแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) และลดของเสีย ที่สร้าง (Pudžiulyte et al., 2025)

3) อิมัลซิไฟเออร์และสัดส่วนองค์ประกอบ (emulsifiers and composition ratios) การกำหนดชนิดและสัดส่วนของอิมัลซิไฟเออร์มีความสำคัญต่อการสร้างอิมัลชันที่มั่นคงและเหมาะสม เช่น การใช้ Tween 80 (ชอบน้ำ) และ Span 80 (ชอบน้ำมัน) ในสัดส่วนที่แตกต่างกันเพื่อหาค่า hydrophilic-lipophilic balance (HLB) ที่เหมาะสมกับระบบไขมันที่มีความซับซ้อน (เกตซิน และคณะ 2562) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความเสถียรภาพและคุณภาพของผงไมโครเอนแคปซูล ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนของการสร้างแคปซูลฟอสโฟลิพิดที่สมดุลระหว่างความชอบน้ำและน้ำมัน ขั้นตอนแรกคือ การประกอบชั้นคู่ (Bilayer Assembly) เกิดจากโมเลกุลฟอสโฟลิพิดเรียงตัวกันเป็นชั้นคู่ (bilayer) โดยหัวที่ชอบน้ำ (hydrophilic head) หันออกไปด้านนอก ส่วนหางที่ชอบน้ำมัน (lipophilic tail) หันเข้าหากัน ทำให้เกิดโครงสร้างพื้นฐานคล้ายเยื่อเซลล์ ขั้นตอนที่สอง การโค้งงอ

ของเวซิเคิล (Vesicle Curvature) เกิดขึ้น bilayer จะเริ่มโค้งงอและม้วนตัว ซึ่งแรงตึงผิวและแรงกระจายของโมเลกุลเป็นตัวผลักดันให้ชั้นนี้ก่อตัวเตรียมพร้อมสำหรับการปิดกลายเป็นทรงกลม การโค้งงอช่วยเตรียมช่องว่างภายในไว้สำหรับเก็บสารต่าง ๆ ที่จะนำไปห่อหุ้ม และขั้นตอนที่ 3 การก่อตัวของแคปซูล (Capsule Formation) เมื่อชั้น bilayer ปิดตัวเป็นวงกลมเกิดเป็นแคปซูล ทรงกลมนี้จะกักเก็บทั้งสารประกอบที่ชอบน้ำ (hydrophilic compound, วงกลมสีน้ำเงิน) และน้ำมัน MCT (MCT oil, สีเหลี่ยมสีเหลือง) ไว้ภายใน โครงสร้างนี้เป็นตัวอย่างของสมดุล HLB ที่ดี ทำให้สามารถบรรจุสารออกฤทธิ์สองชนิดพร้อมกันในหนึ่งแคปซูล โดยช่วยคงคุณภาพและควบคุมการปลดปล่อยสารในระบบชีวภาพหรือผลิตภัณฑ์ตามต้องการ

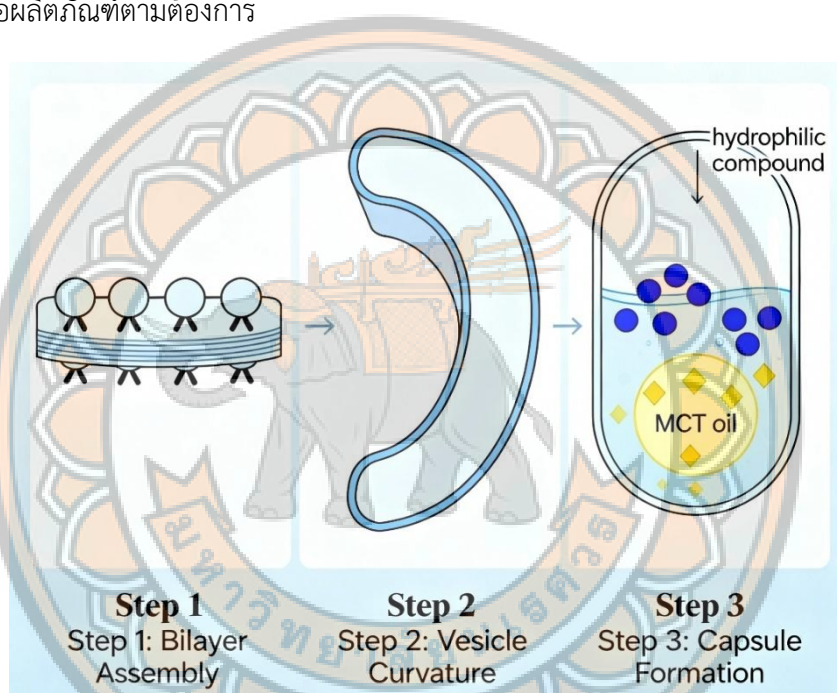


Figure 2.4 Schematic representation of phospholipid capsule formation illustrating the balance between hydrophilic and lipophilic properties (Hydrophilic-Lipophilic Balance, HLB), resulting in the formation of a lipid bilayer surrounding the MCT oil core.

สำหรับการเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์มีบทบาทสำคัญในการควบคุมสมดุล HLB ภายในแคปซูล ไมโครเอนแคปซูเลชันโดยเฉพาะเมื่อใช้ Tween 80 (hydrophilic) และ Span 80 (lipophilic) อัตราส่วนของสารทั้งสองชนิดนี้จะส่งผลต่อคุณสมบัติและความเสถียรของอิมัลชันที่เกิดขึ้น เช่น การสร้างชั้น lipid bilayer ที่ห่อหุ้มแกนกลาง MCT oil ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Debraj et al., 2023) เมื่อผสมวัสดุแกนกลาง (MCT oil) วัสดุห่อหุ้ม (phospholipid หรือโปรตีน) และอิมัลซิไฟเออร์ (Tween 80 และ Span 80) ด้วยเครื่อง homogenizer ที่ความเร็วรอบสูง โมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์จะไปจัดเรียงตัวที่ผิวหยดย่น้ำมันและเสริมสร้างโครงสร้าง lipid bilayer ภายนอก ส่งผลให้เม็ดไมโคร

รอนแคปซูลมีขนาดเล็ก สม่ำเสมอ ดังแสดง **Figure 2.5** และคงตัวในระบบน้ำได้นาน การกำหนดค่า HLB ให้เหมาะสมช่วยป้องกันการรวมตัวของหยดน้ำมัน ลดขนาดอนุภาค และเพิ่มประสิทธิภาพในการนำส่งและปลดปล่อยสารออกฤทธิ์สอดคล้องกับการศึกษาของ Chong et al. (2018) พบว่าค่าสมดุล HLB ที่เหมาะสม (เช่น 10–12 สำหรับ O/W nano emulsion) จะได้อิมัลชันที่มีเสถียรภาพสูงเพราะสัดส่วนของ Tween 80 และ Span 80 ช่วยสร้างพื้นผิวที่เหมาะสมสำหรับการปกป้องแกนกลางน้ำมัน และการกระจายตัวในน้ำ

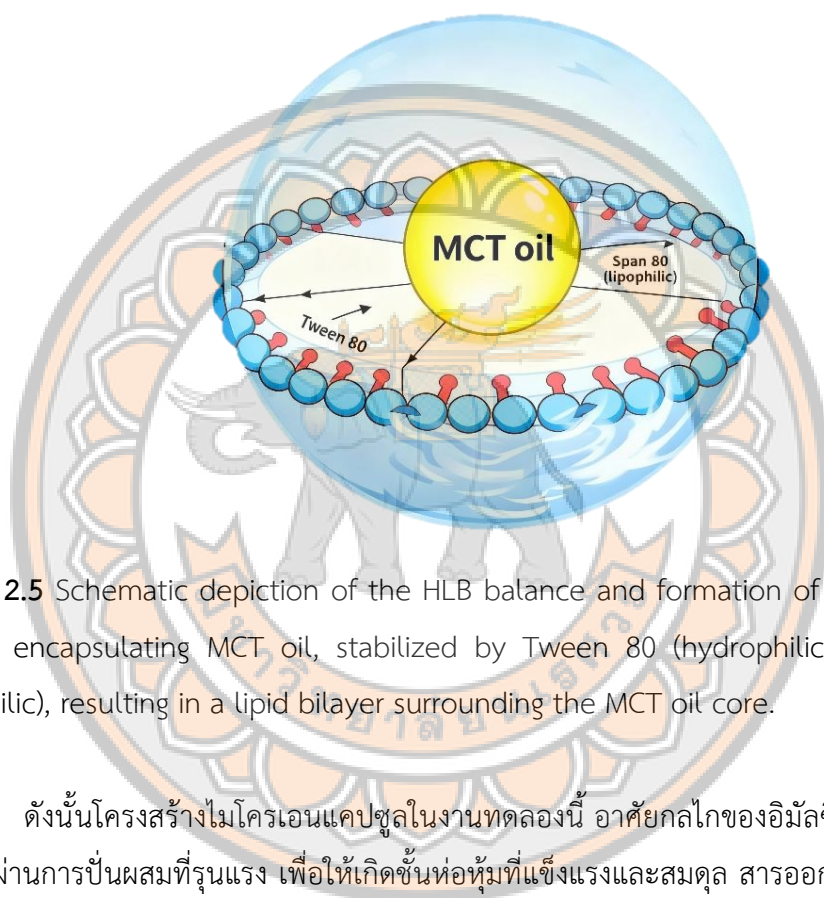


Figure 2.5 Schematic depiction of the HLB balance and formation of a phospholipid bilayer encapsulating MCT oil, stabilized by Tween 80 (hydrophilic) and Span 80 (lipophilic), resulting in a lipid bilayer surrounding the MCT oil core.

ดังนั้นโครงสร้างไมโครเอนแคปซูลในงานทดลองนี้ อาศัยกลไกของอิมัลซิไฟเออร์ที่ทำงานร่วมกันผ่านการป็นผสมที่รุนแรง เพื่อให้เกิดชั้นห่อหุ้มที่แข็งแรงและสมดุล สารออกฤทธิ์ภายในได้รับการปกป้องและปลดปล่อยอย่างมีประสิทธิภาพในอิมัลชันที่เสถียร อีกทั้งการกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมของอิมัลซิไฟเออร์จนได้ค่า HLB ของอิมัลชันในช่วง 8.5-9.0 เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการได้ผงไมโครเอนแคปซูลชั้นที่สามารถละลายน้ำได้ดี เนื่องด้วยสมดุล HLB ในช่วงนี้บ่งชี้ว่าสารลดแรงตึงผิว (emulsifiers) มีโครงสร้างที่เหมาะสมในการสร้างชั้นฟิล์มรอบหยดน้ำมัน (MCT oil) ซึ่งมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และชอบน้ำมัน (lipophilic) อยู่ในสัดส่วนที่สมดุล ช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสไขมันและน้ำให้ต่ำลงอย่างเหมาะสม ทำให้น้ำมันกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ และทนต่อการรวมตัวกันได้ดี โดยค่า HLB ที่เหมาะสมยังทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (O/W) ที่เสถียร โดยน้ำเป็นเฟสภายนอก และน้ำมันถูกกลืนอยู่ในหยดเล็กๆ สำหรับในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ความเสถียรของอิมัลชันมีผลโดยตรงต่อการได้ผงไมโครเอนแคปซูลที่มีโครงสร้างและ

คุณสมบัติที่ดี ค่า HLB ที่เหมาะสมช่วยให้ผงที่ได้ไม่ล่อยหรือแตกตัวเมื่อเจอกับน้ำ สามารถละลายน้ำได้ดี และสามารถปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ได้ในลักษณะที่ควบคุมได้ โดยการเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์อย่าง Tween 80 และ Span 80 ซึ่งมีค่า HLB แตกต่างกัน (Tween 80 สูง ชอบน้ำ Span 80 ชอบน้ำต่ำกว่า แต่ชอบน้ำมันสูงกว่า) ในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถสร้างชั้น lipid bilayer ที่สมบูรณ์ แข็งแรง และช่วยรักษาความสมดุลทางฟิสิกส์เคมีภายในไมโครเอนแคปซูล และ ช่วยให้ผงไมโครเอนแคปซูลมีความคงตัวทางกายภาพและเคมีในระยะยาว (Chong et al., 2018; Debraj et al., 2023)

4) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (inlet air temperature) ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการระเหยน้ำและกระบวนการแห้ง ตัวอย่างจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ 220°C ให้ผลผลิตสูงกว่า 190°C อย่างมีนัยสำคัญ แต่ข้อแลกเปลี่ยน (trade-off) คืออุณหภูมิสูงนี้ส่งผลให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (encapsulation efficiency) ลดลง เนื่องจากไขมันบนพื้นผิวผง (surface fat) มีปริมาณสูงขึ้น ส่งผลต่อคุณภาพผงไมโครเอนแคปซูล

5) อัตราการป้อน (feed rate) เป็นความเร็วในการป้อนของเหลวอิมัลชันเข้าสู่เครื่องพ่นฝอย ต้องปรับให้เหมาะสมกับอุณหภูมิขาเข้าเพื่อให้การระเหยน้ำสมบูรณ์และผลิตภัณฑ์ได้คุณภาพที่ดี

6) การทำให้เป็นละออง (atomization) ชนิดของหัวฉีดและแรงดันที่ใช้มีผลต่อขนาดหยดของอิมัลชัน ซึ่งจะกำหนดขนาดของเม็ดผงไมโครเอนแคปซูลที่ได้ ขนาดหยดที่เหมาะสมจะช่วยให้ผงมีลักษณะสม่ำเสมอและมีคุณสมบัติตรงตามต้องการ

2.6.4 ปัจจัยเชิงการละลายน้ำของผงไมโครเอนแคปซูลโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยความสามารถในการละลายน้ำและการคืนรูปเป็นอิมัลชันที่เสถียร (reconstitution) ถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสัตว์ในรูปแบบผงไมโครเอนแคปซูล โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำไปผสมน้ำก่อนการใช้งาน เช่น ผลิตภัณฑ์สำหรับลูกสุกรดูนม จากเอกสารการทดลองสามารถระบุปัจจัยหลักที่มีผลต่อการละลายน้ำได้ 3 ด้าน ได้แก่ คุณลักษณะของผง สภาวะในการละลาย และองค์ประกอบของอิมัลชันตั้งต้น

1) คุณลักษณะของผงไมโครเอนแคปซูล คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผงที่ได้จากกระบวนการพ่นฝอยส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการละลายน้ำ โดยมีองค์ประกอบสำคัญดังนี้ ประกอบด้วย 1) ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (encapsulation efficiency; EE) ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด หากประสิทธิภาพการห่อหุ้มต่ำ จะเกิดไขมันอิสระหรือไขมันบนพื้นผิวผงไมโครเอนแคปซูลในปริมาณ (surface fat) ซึ่งไขมันส่วนนี้จะขัดขวางการสัมผัสระหว่างน้ำกับวัสดุผนังที่มักละลายน้ำได้ดี ทำให้ผงไมโครเอนแคปซูลละลายได้ยากและมีโอกาสเกิดการจับตัวเป็นก้อนได้ (Domian and Wasak, 2008; Hu et al., 2024) 2) ความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Moisture and water activity; A_w) ผงที่มีความชื้นและค่า A_w ต่ำจะมีแนวโน้มสูงในการดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อม (hygroscopicity) ซึ่งอาจนำไปสู่ปัญหาการเกาะตัวเป็นก้อน ลดประสิทธิภาพการไหล (flowability)

และการกระจายตัวเมื่อนำไปผสมกับน้ำ นอกจากนี้ ความชื้นและค่า A_w ยังเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่บ่งบอกปัญหาการเหนียวติด (stickiness) ซึ่งส่งผลต่อความสำเร็จของกระบวนการพ่นฝอยอย่างมีนัยสำคัญ และสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับคุณสมบัติของวัสดุผง (Pui and Lejaniya, 2022) 3) ขนาดอนุภาคและความหนาแน่น (particle size and density) ขนาดอนุภาคที่เล็กและสม่ำเสมอจะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำ ทำให้ผงละลายได้เร็วขึ้น ส่วนความหนาแน่นของผง (bulk และ tapped density) มีผลต่อความเปียกชื้น (wettability) และการจมตัวของผงในน้ำ ซึ่งเป็นขั้นตอนเปิดสำคัญของกระบวนการละลาย (Pudziulevicius et al., 2025)

2) สภาพในการละลาย (reconstitution conditions) เป็นแนวทางการศึกษาสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการละลายผงผลิตภัณฑ์มีผลอย่างมากต่อเสถียรภาพของอิมัลชันที่คืนรูป เนื่องจากการละลายจะต้องใช้ตัวทำละลาย เช่น ตัวทำละลายเป็นน้ำ ดังนั้นปัจจัยอุณหภูมิจึงมีความสำคัญต่อสภาพการละลายน้ำ โดยพบว่าอุณหภูมิของน้ำช่วงระหว่าง 70°C และ 80°C ให้ผลลัพธ์ในการคืนรูปอิมัลชันที่ดีกว่า 90°C โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการรักษาความเสถียรของชั้นอิมัลชันขุ่น (turbid emulsion ratio; TER) อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงเกินไป อาจทำให้โครงสร้างของไมโครเอนแคปซูเลเสียหาย ส่งผลให้ไขมันรั่วไหลออกมาและเกิดการแยกชั้นเร็วขึ้น และร่วมด้วยปัจจัยของสัดส่วนผงไมโครเอนแคปซูเลต่อน้ำ เนื่องจากสัดส่วนในการผสมมีผลโดยตรงต่อความเข้มข้นของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solids; TSS) และความเสถียรของอิมัลชัน ซึ่งบ่งชี้ว่าผงสามารถกระจายตัวและละลายได้ดีที่สุดเมื่อมีปริมาณน้ำที่เพียงพอ (นิศรา, 2554)

3) องค์ประกอบของอิมัลชันตั้งต้น (initial emulsion composition) เป็นคุณสมบัติของอิมัลชันก่อนนำไปพ่นฝอยเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผงผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งส่งผลต่อการละลายน้ำในที่สุด เช่น ความเข้มข้นของวัสดุที่ถูกห่อหุ้ม เช่น การทำไมโครเอนแคปซูเลชัน สำหรับกรดไขมันสายกลางเข้มข้นที่มีสถานะกรดลอริกเข้มข้นสูง เมื่อนำมาทำเป็นผงและละลายน้ำ กลับให้ผลลัพธ์การคืนรูปเป็นอิมัลชันที่เสถียรมากกว่าสูตรที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งหมายความว่าอิมัลชันมีความคงตัวสูงและไม่เกิดการแยกชั้นในระยะเวลาหนึ่ง แต่จะต้องประเมินเชิงลึกด้านความเสถียรภาพของอิมัลชัน (zeta potential) ค่านี้เป็นตัวชี้วัดสำหรับวัดแรงผลักระหว่างอนุภาคในอิมัลชัน ค่าที่มาก (ค่าสัมบูรณ์) แสดงถึงความเสถียรที่มากกว่า และใช้วัดหรือประเมินแนวโน้มการคืนรูปเป็นอิมัลชันที่เสถียรได้ดีกว่า (Wang et al., 2024)

2.6.5 การนำเทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูเลชันไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ เทคโนโลยีนี้ช่วยแก้ปัญหา และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสัตว์ในระดับอุตสาหกรรมได้อย่างมาก ได้แก่

1) ช่วยเปลี่ยนของเหลวให้เป็นของแข็ง โดยสามารถเปลี่ยนสารออกฤทธิ์ที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมันชนิดต่างๆ และกรดไขมัน ให้กลายเป็นผงแห้งที่ไหลได้ดี (free flowing powder) ทำให้ง่าย

ต่อการจัดการ จัดเก็บ และที่สำคัญคือสามารถผสมเข้ากับสูตรอาหารสัตว์ (premix หรือ complete feed) ได้อย่างแม่นยำและสม่ำเสมอ (Estrada et al., 2024)

2) ช่วยปกป้องสารออกฤทธิ์และเพิ่มความคงตัว เช่น สารเสริมโภชนะหลายชนิด เช่น วิตามิน เอนไซม์ หรือน้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีความไวต่อปัจจัยแวดล้อม (แสง ความร้อน ออกซิเจน) และมีประโยชน์ต่อการเชื่อมสภาพไประหว่างกระบวนการผลิต และเก็บรักษาอาหารสัตว์ ซึ่งการห่อหุ้มด้วยไมโครเอนแคปซูลจะช่วยปกป้องสารเหล่านี้ให้คงสภาพและมีประสิทธิภาพสูงสุดจนกว่าสัตว์จะกินเข้าไป เป็นเกราะของวัสดุผนังช่วยปกป้องสารออกฤทธิ์ที่อยู่ภายในจากปัจจัยที่ทำให้เสื่อมสภาพ เช่น การออกซิเดชัน (ซึ่งเป็นปัญหาหลักของไขมันไม่อิ่มตัว) ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา (shelf life) และรักษาค่าทางโภชนาการไว้ได้นานขึ้น

3) สามารถควบคุมการปลดปล่อยและนำส่งสู่เป้าหมาย (controlled and targeted release) นี่คือนวัตกรรมที่สำคัญที่สุดในเชิงอุตสาหกรรม การห่อหุ้มช่วยให้สารเสริมโภชนะ เช่น กรดไขมันและสารสกัดจากพืช สามารถเคลื่อนผ่านสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดในกระเพาะอาหารไปได้อย่างปลอดภัย และถูกปลดปล่อยออกมาในลำไส้ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักในการออกฤทธิ์ ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารเสริมโภชนะมีประสิทธิภาพสูงสุด

4) ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและการละลาย เทคโนโลยีนี้ช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี เช่น ความหนาแน่น (bulk & tapped density) และดัชนีการอัดตัว (compressibility ratio) ที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบให้ผงผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการละลาย (solubility) และคืนรูปเป็นอิมัลชันในน้ำได้ดี ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำไปละลายน้ำก่อนป้อนให้สัตว์ เช่น ผลิตภัณฑ์สำหรับลูกสุกรตอนมโนงานวิจัยนี้

2.7 แนวทางการใช้สารสกัดจากธรรมชาติเพื่อทดแทนยาปฏิชีวนะสำหรับลูกสุกรช่วงตอนมโน

การเปลี่ยนแปลงจากการใช้ยาปฏิชีวนะเข้าสู่การใช้สารสกัดจากธรรมชาติในอุตสาหกรรมสุกร ถือเป็นยุทธศาสตร์สำคัญที่ตอบสนองต่อวิกฤตการณ์เชื้อดื้อยา (antimicrobial resistance; AMR) รวมถึงความต้องการของผู้บริโภคที่มุ่งเน้นความปลอดภัยของอาหารและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน การเลี้ยงลูกสุกรในช่วงตอนมโนเป็นระยะเวลาที่ท้าทายที่สุด เนื่องจากลูกสุกรมีความเปราะบางสูงและมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคท้องเสีย พบว่าการใช้สารสกัดจากธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพจึงไม่ใช่เพียงแต่เป็นทางเลือกในการทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะเท่านั้น แต่ยังเป็นการสร้างภูมิคุ้มกันและความแข็งแรงของลูกสุกรจากภายในร่างกาย รวมถึงภายในระดับเซลล์ การปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร และการสร้างสมดุลระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งจะส่งผลให้ลูกสุกรสามารถต้านทานโรคและเจริญเติบโตได้ดีขึ้น การประยุกต์ใช้สารสกัดจากธรรมชาติอย่างเหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจลึกซึ้งเกี่ยวกับกลไกการออกฤทธิ์และแนวทางการใช้ที่ถูกต้อง เพื่อให้เกิด

ประสิทธิภาพสูงสุดในการเลี้ยงสุกร (Liu et al., 2024) จากแนวทางการเลือกสารสกัดจากธรรมชาติ และกลไกการออกฤทธิ์ที่สำคัญสามารถแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม ดังนี้ 1) สารต้านจุลชีพธรรมชาติ (natural antimicrobial agents) เช่น กรดไขมันสายกลาง (MCFAs) โมโนลอริน และสารจากพืชที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียและไวรัส 2) สารต้านการอักเสบและสารต้านอนุมูลอิสระ (anti-inflammatory and antioxidant agents) ที่ช่วยลดภาวะการอักเสบและความเครียดออกซิเดชันในร่างกาย 3) สารที่ช่วยส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกัน (immunomodulators) ซึ่งทำหน้าที่เสริมสร้างและปรับสมดุลการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันให้เหมาะสม และ 4) โปรไบโอติกส์และพรีไบโอติกส์ (probiotics and prebiotics) ที่ช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ ส่งเสริมสุขภาพระบบทางเดินอาหารและเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหาร สำหรับแนวโน้มการประยุกต์ใช้เชิงอุตสาหกรรมปัจจุบัน สามารถแบ่งสารสกัดจากธรรมชาติ และกลไกการออกฤทธิ์ได้ดังนี้

2.7.1 แนวทางการใช้น้ำมันหอมระเหย (essential oils) เพื่อทดแทนยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกรช่วงดูนม กลุ่มของน้ำมันหอมระเหย เช่น ออริกาโน ไทม์ ยูคาลิปตัส และ อบเชย (Herve et al., 2023) มีคุณสมบัติต้านจุลชีพโดยตรง โดยจะเข้าไปทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียก่อโรค และยังช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ มักเรียกการทำงานแบบนี้ว่า ขอบเขตการทำงานลักษณะแบบองค์รวม (holistic) เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยส่งผลดีต่อสุขภาพ และการเจริญเติบโต การใช้ร่วมกันหลายชนิดมักให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้ชนิดเดียว เป็นสารสกัดจากพืชที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ทดแทนยาปฏิชีวนะในสุกรช่วงดูนม ซึ่งเป็นช่วงวัยที่เปราะบางและต้องการการดูแลเป็นพิเศษ อีกทั้งน้ำมันหอมระเหยมีกลไกการยับยั้งการติดเชื้อและลดปัญหาท้องเสีย มีกลไกที่สำคัญดังนี้ 1) การต้านจุลชีพโดยตรง (direct antimicrobial action) เข้าไปจับและทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียก่อโรคได้โดยตรง ทำให้ผนังเซลล์รั่วและสูญเสียส่วนประกอบสำคัญ (Vondruskova et al., 2010) 2) การปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ (gut microbiota Modulation) เปิดพื้นที่ให้แบคทีเรียที่มีประโยชน์ เช่น *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* เจริญเติบโตได้ดีขึ้น ส่งผลให้สมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ดีขึ้น 3) การลดการอักเสบ (anti-inflammatory Effect) สารสกัดจากพืชหลายชนิดมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ช่วยลดความเสียหายของผนังลำไส้ ทำให้ลำไส้ฟื้นตัวได้เร็ว และกลับมาทำหน้าที่ดูดซึมสารอาหารได้ตามปกติ (Herve et al., 2023) โดยเฉพาะกลไกการส่งเสริมการเจริญเติบโต เป็นผลพวงโดยตรงมาจากการมีสุขภาพลำไส้ที่ดีซึ่งน้ำมันหอมระเหยช่วยกระตุ้นการผลิตเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร เช่น เอนไซม์ไลเปส และอะไมเลส ทำให้สุกรสามารถย่อยน้ำมันแม่และอาหารเสริมที่ได้รับได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของลำไส้ (intestinal morphology) โดยเพิ่มความสูงของวิลไล (villi) ซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับดูดซึมสารอาหาร ทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้มากขึ้น (Ficagna et al., 2024) และ เพิ่มความน่ากินของอาหาร (palatability) อีกทั้งยังมีกลไกการส่งเสริมด้านพลังงาน ในสภาวะ

ปกติที่ลูกสุกรป่วยหรือติดเชื้อ ร่างกายจะต้องสูญเสียพลังงานจำนวนมากไปกับการต่อสู้กับเชื้อโรคและการซ่อมแซมส่วนที่อักเสบ การเปลี่ยนทิศทางการใช้พลังงาน (energy repartitioning) โดยนำมันหอมระเหยช่วยยับยั้งการติดเชื้อและลดการอักเสบได้ เกิดสมดุลพลังงานส่งเสริมให้กลับไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและการรักษามวลเนื้อในร่างกายได้อย่างเต็มที่ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในลูกสุกรแรกเกิดที่มีพลังงานสำรองจำกัด (Herve et al., 2023)

2.7.2 แนวทางการใช้สารประกอบกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ (phenolic compounds and flavonoids) เพื่อทดแทนยาปฏิชีวนะในลูกสุกรช่วงดุนม โดยสารสกัดจากใบกัญชง มีส่วนประกอบของสารกลุ่มนี้ สารประกอบเหล่านี้ไม่ใช่สารอาหารหลัก แต่เป็นสารพฤกษเคมี (phytochemicals) ที่มีคุณสมบัติทางชีวภาพสูง และส่งเสริมสุขภาพของลูกสุกรช่วงดุนมผ่านกลไกที่สำคัญดังนี้

1) กลไกการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) เนื่องจากลูกสุกรแรกเกิดและช่วงดุนมมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ซึ่งเป็นสภาวะที่ร่างกายมีอนุมูลอิสระ (free radicals) มากเกินไป ภาวะนี้เกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น กระบวนการคลอดที่ยาวนาน การได้รับพลังงานไม่เพียงพอ การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม หรือการติดเชื้อ ภาวะเครียดนี้จะทำลายเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย ทำให้ลูกสุกร อ่อนแอ ภูมิคุ้มกันตกต่ำ และเสี่ยงต่อการติดเชื้อมากขึ้น (Herve et al., 2023) โดยบทบาทของสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทำหน้าที่เป็น "หน่วยเก็บกวาดอนุมูลอิสระ" ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยจะเข้าไปจับและทำให้อนุมูลอิสระเสถียรขึ้น ป้องกันไม่ให้ไปทำลายเซลล์โปรตีน ไขมัน และ DNA ที่สำคัญของร่างกาย ดังนั้นการลดภาวะเครียดออกซิเดชันตั้งแต่นั้นๆ จะช่วยให้ลูกสุกรแข็งแรง มีพลังงานเหลือเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต และพัฒนาระบบภูมิคุ้มกันได้ดีขึ้น

2) กลไกการต้านการอักเสบ (anti-inflammatory effect) การอักเสบเป็นปฏิกิริยาตอบสนองของร่างกายต่อการติดเชื้อหรือการบาดเจ็บ แต่หากการอักเสบเกิดขึ้นมากเกินไป โดยเฉพาะในระบบทางเดินอาหาร จะทำให้ผนังลำไส้เสียหาย การดูดซึมสารอาหารลดลง และเป็นสาเหตุสำคัญของอาการท้องเสีย สารประกอบหลายชนิดในกัญชง เช่นเดียวกับ cannabidiol (CBD) ที่ทำงานร่วมกัน มีคุณสมบัติในการยับยั้งเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการอักเสบ เช่น cyclooxygenase (COX) เมื่อการอักเสบลดลง ผนังลำไส้จะแข็งแรงขึ้น (improved gut integrity) สามารถป้องกันไม่ให้เชื้อโรคและสารพิษซึมผ่านเข้าสู่กระแสเลือดได้ง่าย และยังช่วยให้ลำไส้กลับมาทำหน้าที่ย่อยและดูดซึมน้ำนมแม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Li et al., 2021)

3) กลไกการกระตุ้นและปรับสมดุลภูมิคุ้มกัน (immune modulation) ระบบภูมิคุ้มกันของลูกสุกรแรกเกิดยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ และต้องพึ่งพาภูมิคุ้มกันที่ได้รับจากนมแม่ (passive immunity) เป็นหลักทำให้มีความเสี่ยงสูงต่อการติดเชื้อต่างๆ ในช่วงสัปดาห์แรกของชีวิต

สารกลุ่มนี้ไม่ได้แค่ด้านการอักเสบ แต่ยังช่วยปรับสมดุลการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันได้ จากการศึกษาของ วันดี และคณะ (2565) พบว่าการใช้เศษเหลือจากกัญชงสามารถเพิ่มระดับสารภูมิคุ้มกัน (immunoglobulins) เช่น IgG และ IgM ในเลือดของสุกรหย่านม-ระยะเล็กได้ ดังนั้นการมีระดับภูมิคุ้มกันที่สูงขึ้นแสดงถึงร่างกายของลูกสุกรมีความพร้อมที่จะต่อสู้กับเชื้อโรคได้ดีขึ้น ลดโอกาสการป่วยและอัตราการตายลงได้ โดยสรุปสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในใบกัญชง ทำหน้าที่เป็น "หน่วยสนับสนุน" ที่สำคัญสำหรับลูกสุกรช่วงดูนม โดยการลดภาวะเครียดและลดการอักเสบที่ไม่จำเป็น ทำให้ร่างกายสามารถนำพลังงานและสารอาหารที่ได้รับจากน้ำนมแม่ไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาระบบต่างๆ ได้อย่างเต็มศักยภาพ แทนที่จะต้องสูญเสียไปกับการต่อสู้กับความเครียดและการอักเสบภายในร่างกาย

2.7.3 แนวทางการใช้กรดอินทรีย์และกรดไขมันสายกลาง (organic acids and MCFAs) เพื่อทดแทนยาปฏิชีวนะในลูกสุกรช่วงดูนม โดยที่กรดอินทรีย์และกรดไขมันสายกลาง (MCFAs) เป็นสารเสริมโภชนะที่มีศักยภาพสูงและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในฐานะทางเลือกทดแทนยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมสุกร ถึงแม้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่สุกรระยะหย่านม ซึ่งเป็นช่วงที่เผชิญกับความเครียดและการเปลี่ยนแปลงทางโภชนาการสูงสุด แต่หลักการและกลไกการออกฤทธิ์ของสารทั้งสองกลุ่มนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อส่งเสริมสุขภาพและเพิ่มอัตราการรอดของลูกสุกรในช่วงดูนมได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดน้อยที่มีความเปราะบางสูง ระบบทางเดินอาหารและระบบภูมิคุ้มกันยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ สารทั้งสองกลุ่มนี้ทำงานส่งเสริมกัน (synergistic effect) เพื่อสร้างความแข็งแกร่งจากภายใน โดยมีแนวทางและกลไกการออกฤทธิ์ที่สำคัญดังนี้

1) กรดอินทรีย์ (organic acids) เช่น กรดอินทรีย์ เช่น กรดฟอร์มิก, กรดซิตริก, กรดแลคติก, และกรดบิวทิริก ทำหน้าที่เป็นด่านแรกในการปกป้องระบบทางเดินอาหารที่ยังพัฒนาไม่เต็มที่ของลูกสุกร ถือเป็นผู้สร้างสมดุลให้ระบบทางเดินอาหาร โดยมีกลไกการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างพบว่ากรดอินทรีย์ช่วยลดค่า pH ในกระเพาะอาหารของลูกสุกร ซึ่งส่งผลดีสองประการคือ กระตุ้นการย่อยโปรตีน เมื่อสภาวะที่เป็นกรดมากขึ้นช่วยกระตุ้นเอนไซม์เพปซิน (pepsin) ให้ทำงานได้ดีขึ้น ทำให้การย่อยโปรตีนในน้ำนมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Kim et al., 2005) สร้างสภาวะที่ไม่เอื้อต่อเชื้อโรค โดยเมื่อเชื้อแบคทีเรียก่อโรคส่วนใหญ่ เช่น *E. coli* และ *Salmonella* ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด การลด pH จึงเป็นการควบคุมปริมาณเชื้อเหล่านี้ตั้งแต่ต้นทาง อีกทั้งยังมีกลไกการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคโดยตรง เมื่อโมเลกุลของกรดอินทรีย์ในรูปที่ยังไม่แตกตัว (undissociated form) สามารถแทรกซึมผ่านผนังเซลล์ของแบคทีเรียเข้าไปได้ เมื่อเข้าไปภายในเซลล์แล้ว กรดจะปล่อยโปรตอนออกมา ทำให้ภายในเซลล์ของแบคทีเรียมีความเป็นกรดสูงจนผิดปกติ และรบกวนการทำงานของเอนไซม์และกระบวนการสร้างพลังงาน จนทำให้เชื้อหยุดการเจริญเติบโตและตายในที่สุด

และส่งเสริมสุขภาพลำไส้และลดการอักเสบ โดยหลายงานวิจัยพบว่าการเสริมกรดอินทรีย์ช่วยลดการหลั่งสารกระตุ้นการอักเสบ (pro-inflammatory cytokines) เช่น TNF- α และ Interleukin ในลำไส้ นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของลำไส้ให้แข็งแรง โดยเพิ่มอัตราส่วนของความสูงวิลไลต่อความลึกของครีพท์ (villus-crypt ratio) ซึ่งหมายถึงพื้นที่การดูดซึมสารอาหารที่เพิ่มขึ้น (Cai et al., 2024)

2) กรดไขมันสายกลาง (MCFAs) เป็นแหล่งพลังงานเร่งด่วนพร้อมฤทธิ์ฆ่าเชื้อ ประกอบด้วยกรดคาโปรอิก (C6) กรดคาไพริก (C8) กรดคาปริก (C10) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดลอริก (C12) เป็นสารที่มีคุณสมบัติโดดเด่นและเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับลูกสุกรแรกเกิด สำหรับกลไกหลักของ MCFAs เป็นแหล่งพลังงานที่ดูดซึมได้รวดเร็ว ซึ่งแตกต่างจากไขมันสายยาว (LCFAs) โดยยังพบอีกว่า MCFAs ไม่จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการย่อยที่ซับซ้อน สามารถถูกดูดซึมได้บางส่วนตั้งแต่ในกระเพาะอาหาร และถูกนำไปใช้เป็นพลังงานในตับได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากคุณสมบัตินี้มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับลูกสุกรน้ำหนักน้อยที่มีพลังงานสำรองในร่างกายต่ำมาก การได้รับพลังงานเร่งด่วนจะช่วยให้ลูกสุกรสามารถรักษาอุณหภูมิร่างกายและมีความแข็งแรงพอที่จะดูดนมแม่เหลืองได้ สำหรับฤทธิ์ต้านจุลชีพโดยมีกลไกการฆ่าเชื้อของ MCFAs มีความโดดเด่น โดยสามารถเข้าไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ของแบคทีเรียแกรมบวกและไวรัสบางชนิดที่มีเปลือกหุ้มเป็นไขมัน (lipid-enveloped viruses) เช่น เชื้อ *Streptococcus suis* หรือเชื้อไวรัส PEDv ที่เป็นสาเหตุสำคัญของความสูญเสียในลูกสุกร เมื่อพิจารณาผลของการปรับปรุงสุขภาพและสัณฐานวิทยาของลำไส้ การเสริม MCFAs ช่วยส่งเสริมสุขภาพของเยื่อบุลำไส้ ทำให้โครงสร้างวิลไลแข็งแรงและสมบูรณ์ ซึ่งส่งผลต่อการดูดซึมสารอาหารในระยะยาว (Hanczakowska, 2017)

3) แนวทางการประยุกต์ใช้กรดอินทรีย์ (organic acids) และ กรดไขมันสายกลาง (MCFAs) เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากกลยุทธ์การเสริมฤทธิ์ (synergistic strategy) การใช้กรดอินทรีย์ร่วมกับ MCFAs ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้สารเดี่ยวๆ อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากกรดอินทรีย์จะทำหน้าที่ปรับสภาพแวดล้อมในลำไส้ให้ดีขึ้น ในขณะที่ MCFAs จะให้พลังงานและออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อโดยตรง ผ่านการใช้เทคโนโลยีห่อหุ้ม (encapsulation) เพื่อให้กรดอินทรีย์และ MCFAs สามารถเคลื่อนตัวไปออกฤทธิ์ในส่วนท้ายของลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ได้ ควรเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเทคโนโลยีการห่อหุ้ม (microencapsulation) ซึ่งจะช่วยปกป้องสารออกฤทธิ์ไม่ให้ถูกดูดซึมหรือทำลายในระบบทางเดินอาหารส่วนต้นไปเสียก่อน (Riadin, 2020) และมีการเสริมในอาหารแม่สุกรเพื่อกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพอีกประการหนึ่งคือการเสริม OAs และ MCFAs ในอาหารของแม่สุกรช่วงท้ายของการอุ้มท้องและช่วงให้นม สารออกฤทธิ์เหล่านี้สามารถส่งผ่านไปยังลูกสุกรผ่านทางน้ำนมได้ ซึ่งเป็นการสร้างภูมิคุ้มกันและส่งเสริมสุขภาพลำไส้ของลูกสุกรตั้งแต่เริ่มต้น (Estrada et al., 2024) โดยสรุป การใช้กรดอินทรีย์และ MCFAs เป็นแนวทางที่มีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์รองรับอย่างชัดเจนในการเป็นทางเลือกทดแทนยาปฏิชีวนะสำหรับลูกสุกรช่วงดูดนม โดย

อาศัยกลไกการปรับสมดุลลำไส้ การให้พลังงานแบบเร่งด่วน และการยับยั้งเชื้อก่อโรคโดยตรง ซึ่งเมื่อนำมาใช้ร่วมกันอย่างถูกวิธี จะสามารถลดอัตราการป่วยและตาย พร้อมทั้งส่งเสริมการเจริญเติบโตของลูกสุกรได้อย่างยั่งยืน

2.7.4 ความเชื่อมโยงระหว่างการใช้ essential oils, phenolic compounds, organic acids และ MCFAs ต่อการเปลี่ยนแปลงตัวชี้วัดองค์ประกอบทางเคมี และสารชีวเคมีของเลือดลูกสุกรช่วงดูนม โดยการใช้เพื่อทดแทนยาปฏิชีวนะในลูกสุกรช่วงดูนม ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและชีวเคมีในเลือดหลายด้าน ทั้งกลไกภูมิคุ้มกัน ด้านอนุมูลอิสระ ภาวะอักเสบ และสมรรถนะการเจริญเติบโต ตัวชี้วัดสำคัญจากตาราง (เช่น WBC, RBC, Hb, ภาวะ oxidant/antioxidant, enzyme, inflammatory markers) โดยมีความเชื่อมโยงกับข้อมูลทางวิชาการดังนี้

1) การใช้ essential oils เช่น thymol, cinnamaldehyde และ carvacrol ในลูกสุกรช่วงดูนมมีผลอย่างชัดเจนต่อการกระตุ้นภูมิคุ้มกันและสมดุลองค์ประกอบทางเคมีในเลือด โดยพบว่า essential oils สามารถเพิ่มระดับภูมิคุ้มกันสำคัญ ได้แก่ IgA, IgG, และ Albumin รวมทั้งค่า total antioxidant capacity (T-AOC) ซึ่งช่วยเสริมระบบป้องกันและลดการอักเสบ นอกจากนี้ยังช่วยรักษาระดับเซลล์เม็ดเลือดขาว (WBC) เซลล์เม็ดเลือดแดง (RBC) และเกล็ดเลือด (platelet) ให้อยู่ในช่วงสมดุลที่เหมาะสม งานวิจัยยังแสดงให้เห็นว่า essential oils ช่วยลด oxidative stress ด้วยการลดระดับ pro-inflammatory cytokines เช่น IL-6 และ TNF- α และยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของเม็ดเลือดและโปรไฟล์ของเอนไซม์ในตับอีกด้วย (Nhara et al., 2024; Diether et al., 2023) สอดคล้องกับการศึกษาของ Li et al. (2023) และ Su et al. (2018) พบว่า essential oils ส่งผลดีต่อเม็ดเลือดขาว (WBC) และเพิ่มค่ากิจกรรมภูมิคุ้มกันที่สำคัญ ได้แก่ IgM, IgG, IgA และเพิ่มความสามารถต้านอนุมูลอิสระโดยการเพิ่มปริมาณเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น superoxide dismutase (SOD) glutathione peroxidase (GPx) catalase (CAT) พร้อมทั้งลดระดับสารบ่งชี้ของการเกิด lipid peroxidation คือ malondialdehyde (MDA) นอกจากนี้ essential oils ยังลดอาการอักเสบและช่วยปรับสมดุล oxidative status ของร่างกาย รวมถึงช่วยปรับปรุงค่าดัชนีเม็ดเลือดแดง (RBC) ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hb) และปริมาณเม็ดเลือดแดงต่อปริมาตรเลือด (Hct) ให้อยู่ในช่วงมาตรฐาน

2) สารประกอบกลุ่ม phenolic compounds และ flavonoids มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และลดกระบวนการ lipid peroxidation ในกระแสเลือดของลูกสุกรช่วงดูนม โดยสารกลุ่มนี้ช่วยปรับสมดุลการอักเสบผ่านการลดระดับ cytokines สำคัญ เช่น IL-1 β , IL-6, IL-8 และ TNF- α ในหนูหย่านม นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มระดับภูมิคุ้มกันในซีรัม ได้แก่ IgG และ IgM รวมถึงเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระอย่าง SOD และ GPx (Minarti et al., 2024; Xu et al., 2022) โดยเสริมให้เม็ดเลือดขาวกลุ่ม lymphocyte และ neutrophil มีความสมดุล ทั้งยังลดอัตราการเกิดท้องเสีย และเสริมภูมิคุ้มกันโดยรวม นอกจากนี้ สารกลุ่มนี้ส่วนใหญ่

เป็น phytochemical ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง จึงเพิ่มกิจกรรมของ SOD, CAT และ GPx ในเลือด และลดระดับ MDA เป็นตัวชี้วัดของการเกิด oxidative stress ได้อย่างชัดเจน โดยสารเหล่านี้ช่วยเพิ่มระดับ immunoglobulins ได้แก่ IgA, IgG, IgM ในซีรัม ซึ่งสัมพันธ์กับความคงตัวของเม็ดเลือดแดง และประสิทธิภาพในการสร้างฮีโมโกลบิน (Hb) (Bešlo et al., 2023; Echegaray et al., 2020)

3) กรดอินทรีย์และ MCFAs สามารถช่วยปรับสมดุลค่าเม็ดเลือดขาว (WBC), เม็ดเลือดแดง (RBC) และค่า indices ทางฮีมาโตโลยีได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกัน โดยช่วยชะลอภาวะอักเสบเรื้อรังและเพิ่มระดับภูมิคุ้มกัน เช่น IgG และบางกรณี IgA หรือ IgM พร้อมทั้งกระตุ้นเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ GPx, SOD และ CAT อีกทั้งช่วยลดระดับ MDA ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดความเสียหายของเม็ดเลือดแดงและเพิ่มประสิทธิภาพกลไกการขนส่งออกซิเจนในเลือด (Caprarulo et al., 2023; Kwon et al., 2025) ส่วนในทางเดินอาหารพบว่ากรดอินทรีย์ และ MCFAs ช่วยสนับสนุนประสิทธิภาพการย่อยอาหารและช่วยสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยเพิ่มจำนวนแลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) และลดจำนวนแบคทีเรียก่อโรค เช่น อีโคไล (*E. coli*) ผลกระทบนี้สะท้อนให้เห็นในระดับเม็ดเลือดขาวและตัวชี้วัดการอักเสบในเลือด เช่น C-reactive protein (CRP) และ interleukin-6 (IL-6) ที่ลดลง (Jackman et al., 2020; Swiatkiewicz et al., 2020)

Table 2.1 Standard blood biochemistry values in piglets.

Standard blood biochemistry values in piglets	Standards
Group 1: Hematology and Blood Indices (Hematology) ^{1/}	
1.1) White Blood Cell count (WBC, cells x 10 ⁵ /form/mm ³)	5.5-20 x 10 ³ /μL 4.9-8.3 x 10 ⁶ /μL
1.2 Red Blood Cell count (RBC, cells x 10 ⁶ /cu.mm)	
1.3 Hemoglobin concentration (Hb, g/dL)	8-15 g/dL
1.4 Hematocrit (Hct, %)	24-46%
1.5) (cells x 10 ⁵ /cu.mm)	200-500 x 10 ³ /μL
1.6 Platelet count (cells x 10 ⁵ /cu.mm)	4.9-8.3 x 10 ⁶ /μL
1.7 Platelet count (cells x 10 ⁵ /cu.mm)	50-60 fL
1.8 Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH, pg)	15-30 pg
1.9 Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC, g/dL)	30-36 g/dL
1.10) Red Cell Distribution Width (RDW, %)	12-17%

Standard blood biochemistry values in piglets	Standards
Group 2: White Blood Cell Differential (WBC Differential) ^{1/}	
2.1) Neutrophil percentage (%)	20-60%
2.2) Lymphocyte percentage (%)	40-70%
2.3) Monocyte percentage (%)	2-12%
2.4) Eosinophil percentage (%)	0-5%
Group 3: Biochemical and Energy Metabolism Indices (Metabolism and Energy) ^{1/}	
3.1 Glucose (mg/dL): Level of glucose in the blood, essential energy source	70-120 mg/dL
3.2 Blood Urea Nitrogen (BUN, mg/dL)	10-30 mg/dL
3.3 Creatinine (mg/dL)	0.5-1.5 mg/dL
Group 4: Protein and Immune Precursors ^{1/}	
4.1) Total Protein (g/dL)	5.2-7.4 g/dL
4.2) Albumin (g/dL)	2.8-4.2 g/dL
4.3) Globulin (g/dL)	1.9-3.6 g/dL
Group 5: Liver Function Indicators ^{1/}	
5.1) Aspartate Aminotransferase (AST, U/L)	< 50 U/L
5.2) Alanine Aminotransferase (ALT, U/L)	< 40 U/L
5.3) Alkaline Phosphatase (ALP, U/L)	30-150 U/L
Group 6: Oxidative Stress Indicators ^{2/}	
6.1 Glutathione Peroxidase (GPx, U/mL)	300-450 (U/mL)
6.2 Superoxide Dismutase (SOD, U/mL)	1.5 – 2.50 (U/mL)
6.3 Catalase (CAT, U/mL)	0.5 – 1.5 (U/mL)
6.4 Malondialdehyde (MDA, nmol/mL or μ M)	1.5 – 3.5 (nmol/mL)
Group 7: Immunoglobulin ^{3/}	
7.1 Immunoglobulin G (IgG, mg/dL)	100 – 500 mg/dL)
7.2 Immunoglobulin M (IgM, mg/dL)	5 - 30 (mg/dL)
7.3 Immunoglobulin A (IgA, mg/dL)	6 - 35 (mg/dL)

Source: ^{1/}Thrall et al. (2022); Walugembe et al. (2014); Wang et al. (2020), ^{2/}Cayman Chemical assay (Marin et al., 2020; Pistol et al., 2023, 2024), ^{3/}(Cabrera et al., 2012; Logan Health Laboratories Test Catalog, 2024)

2.8 การวิเคราะห์การทำนายฟังก์ชันเชิงจีโนม และการศึกษาจุลินทรีย์ในลำไส้

การศึกษาหน้าที่และบทบาทของจุลินทรีย์ในลำไส้ของสิ่งมีชีวิต ทั้งในมนุษย์และสัตว์เศรษฐกิจ เช่น ลูกสุกร ต้องอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลจีโนมและเมตาจีโนมิกส์ (metagenomes) อย่างลึกซึ้ง การศึกษาจุลินทรีย์โดยการศึกษาลำดับข้อมูลยีนและโปรตีน โดยผ่านฐานข้อมูลเบื้องต้นที่ได้มีการพัฒนาทางชีวสารสนเทศเชิงฟังก์ชัน สำคัญต่อการถอดรหัสภูมิปัญญาเชิงกลไกจุลินทรีย์ (microbial functions) ที่ครอบคลุม 4 ด้านหลัก ผ่านการทำนายฟังก์ชัน (functional prediction) และการใช้ Heatmap วิเคราะห์ระยะไกลหลายระดับ ได้แก่ (1) COG (2) EC (3) KO Pathways และ (4) PFAM ซึ่งช่วยให้สามารถเชื่อมโยงโครงสร้างพันธุกรรมกับหน้าที่ทางชีวภาพในชีวภาพชุมชนไมโครไบโอม (microbiome community) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Franzosa et al., 2018; Sunagawa et al., 2015) COG และ PFAM โฟกัสที่การแบ่งกลุ่มยีนและโปรตีนนอกเหนือจากการจัดประเภทโดย EC และ KO ที่เชื่อมโยงกับเมแทบอลิซึมและเครือข่ายทางชีวเคมี ช่วยให้การวิเคราะห์ความหลากหลายของประชากรของจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยใช้ฐานข้อมูลที่มีความเชื่อมั่นสูง และสนับสนุนการวิจัยชีววิทยาระบบ (system biology) (Kanehisa et al., 2016; Tatusov et al., 2003)

โดยฐานข้อมูล COG มุ่งเน้นการจัดกลุ่มยีนที่มีหน้าที่เหมือนกันในสิ่งมีชีวิตหลายกลุ่ม (orthologs) ซึ่งเป็นการถอดรหัสหน้าที่กว่าร้อยกลุ่ม รวมถึงการเผาผลาญสารอาหาร และระบบขนส่งสารภายในเซลล์ (Gardner et al., 2011) ในขณะที่ EC number เน้นระบุเอนไซม์และปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการศึกษากิจกรรมเมแทบอลิซึมของชุมชนจุลินทรีย์ในลำไส้ อีกทั้งฐานข้อมูล KO (KEGG Orthology) และ Pathways นอกจากให้ข้อมูลลำดับยีนแล้วยังสนับสนุนการคาดการณ์เส้นทางของระบบเมแทบอลิซึมที่เกิดขึ้นภายในตัวอย่างจุลินทรีย์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ทำให้เข้าใจได้ว่าเส้นทางชีวภาพใดถูกกระตุ้น หรือถูกยับยั้งในบริบทของสุขภาพลำไส้ (Kanehisa et al., 2016) นอกจากนี้ PFAM ยังใช้เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยวิเคราะห์โดเมนโปรตีน และฟังก์ชันของโปรตีนในระดับโครงสร้างซึ่งรวมถึงการศึกษาการเปลี่ยนแปลง และกลไกการทำงานที่แตกต่างกัน สำหรับการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลเหล่านี้ร่วมกับข้อมูลเมตาจีโนมิกส์และการวัดความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร (abundance) ช่วยให้นักวิจัยใช้ Heatmap เพื่อประมวลผลการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชันได้อย่างชัดเจน ข้อมูลแสดงเป็นสีตามระดับการแสดงออกหรือปริมาณของแต่ละฟังก์ชันในกลุ่มตัวอย่างต่าง ๆ ซึ่งเหมาะสำหรับการเปรียบเทียบภาวะสุขภาพ และการจัดการชีวภาพในงานศึกษาสุขภาพลำไส้ (Franzosa et al., 2018; Langille et al., 2013)

การวิเคราะห์การทำนายฟังก์ชันด้วย KO และความสำคัญในการศึกษากลุ่มหรือชนิดจุลินทรีย์ของลำไส้ในลูกสุกร โดยผลงานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นถึงการใช้วิธีการทำนายแบบ KO ในการถอดรหัสและแปลผลการทำงานของระบบไมโครไบโอมในลำไส้ของลูกสุกร เช่น การทำหน้าที่สำคัญหลากหลายด้านในร่างกายมนุษย์ เช่น ศักยภาพการย่อยอาหาร ดูดซึมสารอาหาร และการส่งเสริมภูมิคุ้มกัน โดยที่การวิเคราะห์ KO อาศัยการเชื่อมโยงยีนที่มีความคล้ายกันในกลุ่มยีนออร์โธล็อก (orthologs gene) ซึ่งเป็นยีนในสิ่งมีชีวิตต่างสายพันธุ์ที่ส่งต่อกันจากบรรพบุรุษร่วมกันเพียงยีนเดียว โดยแยกออกจากกันในกระบวนการวิวัฒนาการที่ทำให้เกิดสปีชีส์ใหม่ๆ กับกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น การสังเคราะห์กรดอะมิโน การดูดซึมน้ำตาล สารตั้งต้นชีวเคมี และสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น (Vasquez et al., 2022) สำหรับการนำ Heatmap มาใช้ในการแสดงผลด้วย KO สามารถเปิดเผยการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชันเมแทบอลิซึมในกลุ่มตัวอย่างต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงความชุกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตบิวเทรต (butyrate) การสังเคราะห์วิตามิน บี และการตอบสนองต่อความเครียดของเซลล์ในระบบทางเดินอาหาร เป็นต้น (Upadhaya and Kim, 2022) โดยมีหลายงานวิจัยได้ทำการศึกษาระบบต่างในทางเดินอาหาร และความสัมพันธ์ของความหลากหลายจุลินทรีย์ในระบบทางอาหาร ให้เห็นว่า KO สามารถกำหนดหมวดหมู่ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกัน เช่น K04487 (cysteine desulfurized), K01057 (lipase), K00399 (superoxide dismutase) ซึ่งเชื่อมโยงกับกลไกทางชีวภาพของระบบภูมิคุ้มกัน และการป้องกันความเครียด

Heatmap KO ยังสนับสนุนการติดตามผลกระทบต่อโภชนาการ เช่น การเพิ่มปริมาณการเผาผลาญน้ำตาลและไขมัน ตลอดจนการเสริมสมดุลทางชีวภาพของชุมชนไมโครไบโอมในลำไส้ (Grzeskowiak and Zentek, 2025) ดังนั้น การใช้ KO ในการศึกษาจุลินทรีย์ของลูกสุกรเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สำคัญสำหรับการวางแผนการผลิต และพัฒนาเชื่อมโยงประสิทธิภาพการผลิต หรือการประยุกต์ใช้ Heatmap KEGG Pathways ในการประเมินความสามารถทางเมแทบอลิซึม และการทำงานของไมโครไบโอมในลูกสุกร เนื่องจาก KEGG Pathways สามารถให้กรอบการอธิบายเชิงชีวภาพในระดับความเชื่อมโยงสำหรับระบบเมแทบอลิซึมและการตอบสนองทางชีวภาพ การวิเคราะห์ Pathways ผ่าน Heatmap ช่วยให้เห็นภาพรวมของการแสดงออกของยีนในเส้นทางชีวภาพต่าง ๆ ในช่วงเวลาหรือกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันได้ชัดเจน (Chen et al., 2025) สำหรับงานวิจัยในลูกสุกรได้นำเทคนิคนี้มาใช้ในการศึกษาผลกระทบของสูตรอาหารที่แตกต่างกัน โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงในเส้นทาง ได้แก่

1) ไกลโคไลซิส (glycolysis) เป็นกระบวนการสลายกลูโคสในไซโตซอลของเซลล์ เพื่อผลิตพลังงานในรูปของ ATP และ NADH โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจน เป็นขั้นตอนแรกของการหายใจระดับเซลล์

2) Tricarboxylic acid cycle หรือ วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) (TCA cycle) เป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการสลายสารอาหารที่ได้จากไกลโคลิซิส ให้ได้พลังงานมากขึ้น โดยเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็น CO₂ พร้อมกับการสร้าง NADH, FADH₂ และ GTP (หรือ ATP) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสร้างพลังงานเพิ่มเติม

3) การเผาผลาญไขมัน (lipid metabolism) เป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการย่อย สังเคราะห์ และใช้งานไขมันในร่างกาย เช่น การย่อยไขมันเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล การผลิตและสลายไขมันเก็บพลังงาน เป็นต้น

4) กระบวนการคอมพลีเมนต์ (complement cascade) เป็นกลไกป้องกันทางภูมิคุ้มกันชนิดหนึ่งของร่างกาย ประกอบด้วยชุดโปรตีนที่ทำงานร่วมกันในการทำลายเชื้อโรค การกระตุ้นการตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน และการส่งสัญญาณให้เซลล์ภูมิคุ้มกัน

โดยกลไกเหล่านี้บ่งชี้ถึงพลังงาน และภูมิคุ้มกันในระบบทางเดินอาหาร เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wu et al. (2021) ผ่าน Color-coded Heatmap แสดงระดับการเข้าร่วมเส้นทางเมแทบอลิซึม ได้ช่วยให้นักวิจัยสามารถระบุเส้นทางที่สำคัญหรือเปลี่ยนแปลงจากสถานะสุขภาพปกติสู่ภาวะที่ไม่สมดุล (dysbiosis) โดยเน้นความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและการป้องกันโรคในลูกสุกร (Chen et al., 2019) ทำให้ Heatmap KEGG pathways เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการวางแผนการปรับสูตรอาหาร และการจัดการของฟาร์มสุกร (Huang et al., 2025)

อีกทั้งการวิเคราะห์ Heatmap RFAM เพื่อศึกษาฟังก์ชันระดับ RNA และการค้นหา biomarker ในระบบไมโครไบโอมของลำไส้ลูกสุกร พบว่า RFAM ใช้ฐานข้อมูล RNA สำคัญที่รวบรวมไว้ในฐานข้อมูล และมีอีกหลาย RNA ที่ยังไม่ได้ระบุชนิดของโปรตีน (non-coding RNA) รวมทั้ง RNA โครงสร้างที่มีบทบาทควบคุมการแสดงออกของยีนในระดับ transcriptional และ post-transcriptional (Gardner et al., 2011). การนำ Heatmap RFAM มาวิเคราะห์ช่วยอธิบายฟังก์ชันของ RNA เหล่านี้ในบริบทของงานด้านไมโครไบโอม โดยเฉพาะในลูกสุกรช่วงดูนม ซึ่งเป็นข้อมูลที่สะท้อนกลไกระดับโมเลกุล เช่น การควบคุมภูมิคุ้มกัน การรักษาความสมบูรณ์ของเยื่อบุลำไส้ และการตอบสนองต่อความเครียด (Kaeffer and Chen, 2023) ซึ่งการใช้ marker ของ RFAM เป็น biomarker สามารถช่วยระบุการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมทางชีวภาพของไมโครไบโอมที่สัมพันธ์กับสุขภาพและภาวะการเจ็บป่วย หรือตอบสนองต่อการศึกษาสูตรอาหารที่มีความแตกต่างกันกัน (Chang et al., 2021) ตัวอย่างเช่น RNA ประเภท Fructoselyase (RFAM ID: K00847) ช่วยให้ไมโครไบโอมใช้พลังงานจากฟรักโทสได้ดีขึ้น ขณะที่ RNA ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระและความเครียด เพิ่มขึ้นในคนที่ได้รับการบำบัดด้วยสาร Phyto cannabinoids (Atalay, et al., 2019) โดยที่การวิเคราะห์ Heatmap RFAM ยังสนับสนุนการตีความข้อมูลจีโนมิกส์เชิงหน้าที่ (functional genomics) โดยช่วยสร้างโมเดลฟังก์ชันโมเลกุลและระบบกลไกป้องกันในระบบทางเดินอาหาร ผ่าน

การบ่งชี้การตอบสนองต่อภาวะเครียดและการปรับโครงสร้างไมโครไบโอมที่ส่งเสริมสุขภาพลำไส้ โดยประเด็นนี้ถือเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาวิธีการให้สารอาหารเสริมและสูตรที่มีความแม่นยำมากขึ้น



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้แบ่งการวิจัยออกเป็น 4 การทดลอง

3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชง (*Cannabis sativa L.*) ด้วยน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบร่วมกับกระบวนการตีคาร์บอกซิเลชัน และศักยภาพในการใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมพลังงานสำหรับลูกสุกรขุน

3.2 ผลของการเสริมอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีสารไฟโตแคนนาบินอยด์และโมนอลอริน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต พฤติกรรมทางสังคม ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือดในสุกรระยะขุน

3.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงไมโครเอนแคปซูเลชันไขมันสายกลางเข้มข้นที่มีส่วนผสมของสารสกัดกัญชง และโมนอลอรินโดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.4 ผลของอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูเลชันไขมันสายกลางเข้มข้นร่วมกับสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมนอลอริน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมี ปฏิกริยารีดอกซ์ และจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรช่วงขุน

3.1 การทดลองที่ 1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชง (*Cannabis sativa L.*) ด้วยน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบร่วมกับกระบวนการตีคาร์บอกซิเลชัน และศักยภาพในการใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมพลังงานสำหรับลูกสุกรขุน

3.1.1 อุปกรณ์

- 1) ใบกัญชงสด
- 2) รากกัญชง
- 3) น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ (RPKO)
- 4) น้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO)
- 5) ถุงผ้าขนาด 5×15 เซนติเมตร
- 6) ภาชนะแก้วที่มีฝาปิดสนิท ขนาด 250 ml
- 7) ตู้อบลมร้อน ขนาด 150 ลิตร (Hot Air Oven 150L); รุ่น JSOF-150 (JSR)
- 8) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
- 9) เครื่องบดสมุนไพร
- 10) เครื่อง autoclave รุ่น SX-500
- 11) ตะแกรงร่อนขนาด 100 ไมครอน
- 12) ภาชนะสีชา ขนาด 200 ml
- 13) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer); รุ่น UV-1800 (SHIMADZU)
- 14) หลอดทดลอง (Cuvettes)

- 15) ปีเปตและไมโครปีเปต
- 16) เครื่องบ่มขนาด 50 ลิตร (Incubator) รุ่น WIG 1050 (Wies Cube)
- 17) อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (water bath) รุ่น WNB29 (Mettler)
- 18) เครื่องแก้ว เช่น ปีกเกอร์ หลอดทดสอบ (Beakers, test tubes)
- 19) เครื่องเขย่า (vortex mixer)
- 20) เครื่องวัดค่า pH

3.1.2 สารเคมี

- 1) โซเดียมเอริโธเรต (Sodium erythorbate)
- 2) ทวิน 80 (Tween 80)
- 3) กรดกาแลลิก (Gallic acid)
- 4) กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid)
- 5) สารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)
- 6) สารละลาย ABTS (2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)
- 7) TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine)
- 8) เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride; FeCl_3)
- 9) เมทานอล (Methanol)
- 10) เอทานอล (Ethanol)
- 11) สารบัฟเฟอร์อะซิเตต (Acetate buffer)
- 12) สารบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (Phosphate buffer)
- 13) สารละลายโฟลีน-ซีวาลเทอ (Folin-ciocalteu reagent)

การทดลอง 1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากรากและใบกัญชงโดยใช้น้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT) ชนิดต่างๆ

1) วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพของส่วนต่างๆ ของกัญชง ได้แก่ ใบและรากกัญชง และตัวทำละลายชนิดของน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ (RPKO) และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) ที่ใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์

2) วิธีการทดลอง

2.1 การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (factorial design) ขนาด 2×2 ภายใต้การสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยที่ A คือ วัตถุดิบจากกัญชง (ใบกัญชง และรากกัญชง) และปัจจัยที่ B คือ ชนิดของน้ำมันไตรกลีเซอไรด์ที่มี

กรดไขมันสายกลาง ได้แก่ น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ (RPKO) และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) มีสมการแบบหุ้่นแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (completely randomized factorial design) ขนาด 2x2

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

โดยที่

Y_{ijk} : ค่าการวัดหรือผลลัพธ์สำหรับองค์ประกอบที่ i ของแฟกเตอร์ A, j ของแฟกเตอร์ B และการทำซ้ำที่ k

μ : ค่าเฉลี่ยโดยรวมของประชากร

A_i : ผลของปัจจัย A ในระดับที่ i ($i = 1, 2$)

B_j : ผลของปัจจัย B ในระดับที่ j ($j = 1, 2$)

$(AB)_{ij}$: ผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย A และ B ที่ระดับ i และ j

ϵ_{ijk} : ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง

2.2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบของปัจจัย A ล้างดินที่ติดอยู่กับรากกัญชงด้วยน้ำประปา และคัดเลือกกิ่งหรือสิ่งแปลกปลอมที่ติดอยู่กับใบกัญชงนำไปตากแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ วัตถุดิบถูกคัดเลือกอย่างพิถีพิถันและบดละเอียดโดยเครื่องบดสมุนไพร เส้นใยกัญชงถูกแยกออกด้วยมือ ตัวอย่างที่บดละเอียดถูกร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมครอน (150 ไมครอน)

2.3 ตรวจสอบปริมาณสารแคนนาบินอยด์ (% w/w) ในใบและรากกัญชงประกอบด้วยสาร cannabidivarin (CBDV), cannabidiolic acid (CBDA), cannabidiol (CBD), cannabinol (CBN), tetrahydrocannabivarin (THCV), tetrahydrocannabinol (THC), cannabichromene (CBC) และ tetrahydrocannabinolic acid (THCA) ถูกวิเคราะห์โดยวิธีสเปกโทรสโกปีด้วยอุปกรณ์โครมาโทกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC) โดยอ้างอิงวิธี AOAC 2018.11 อ้างอิงโดย Correia et al. (2023) ส่วนองค์ประกอบทางเคมี เช่น ปริมาณแอซ พลังงาน คาร์โบไฮเดรต เส้นใยดิบ ไขมัน โปรตีน และความชื้น ถูกประเมินโดยวิธีมาตรฐานที่ดำเนินการโดย Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. สาขาเชียงใหม่

2.4 ขั้นตอนการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชงและรากกัญชง

2.4.1 ชั่งน้ำหนักใบและรากกัญชงบดละเอียดตามรายละเอียดในข้อ 2.2 ปริมาณ 12 กรัม บรรจุลงถุงผ้าขนาด 5x15 เซนติเมตร ในอัตราส่วนวัตถุดิบต่อปริมาณตัวทำละลาย 6% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ทั้งหมด 12 ถุง (สำหรับเปรียบเทียบสภาวะการสกัด 4 ปฏิสัมพันธ์ของการทดลอง และปัจจัยร่วมละ 3 ซ้ำ)

2.4.2 นำถุงผ้าที่บรรจุวัตถุดิบจะถูกห่อด้วยกระดาษฟอยล์อลูมิเนียม และนำไปฆ่าเชื้อด้วยการอบไอน้ำในเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 21 นาที ภายใต้ความดัน 0.11-0.15 เมกะปาสคาล เพื่อส่งเสริมกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน และเป็นส่วนหนึ่งของฆ่าเชื้อวัตถุดิบ

2.4.3 นำถุงผ้าจากขั้นตอนที่ 2.4.2 ใส่ลงในภาชนะแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อขนาด 250 ml หลังจากนั้นเติมน้ำมันตัวทำละลาย (RPKO และ CPKO) ปริมาตร 200 ml ต่อขวด เติมน้ำมัน สารประสานน้ำมันและน้ำ (emulsifier) Tween 80 อัตราส่วน 2% (น้ำหนัก/ปริมาตร) และ sodium erythorbate อัตราส่วน 0.3% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ลงในสารละลายและผสมเพื่อป้องกันการเหม็นหืน (Tymoszczyk, 2013) กดถุงผ้าให้จมลงใต้ก้นภาชนะแก้ว หลังจากนั้นปิดผนึกภาชนะให้สนิทและเขย่าส่วนผสมให้เข้ากัน

2.4.4 เก็บภาชนะแก้วจากข้อที่ 2.4.3 ไว้ในที่มืดเป็นเวลา 18-20 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (Fucak et al., 2023; Ryu et al., 2021) นำภาชนะแก้วที่บรรจุสิ่งทดลองออกจากตู้อบ แล้วพักให้เย็นอุณหภูมิ 30-35°C ในห้องมืด

2.4.5 สารสกัดที่อยู่ในตัวทำละลายชนิดต่างกันจะมีสีเปลี่ยนไป และมีความเหนียวหนืด ซึ่งมีสารไฟโตแคนนาบินอยด์ผสมอยู่ หลังจากนั้นกรองผ่านผ้าไนลอนขนาด 100 ไมครอน และบรรจุของเหลวหลังจากการกรองลงในภาชนะที่บดแสงและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$)

2.4.6 วิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ ประกอบด้วย total phenolic content (TPC) (mg GAE/g DW), total antioxidant capacity (TAC) in L-ascorbic acid (mg GAE/g DW), and antioxidant activity using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), (2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS), and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays (%) (Benkhaira et al., 2021; Minarti et al., 2024)

การทดลอง 1.2 ผลของระยะเวลาในกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันและอัตราส่วนการสกัดของกัญชงต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) ที่มีต่อองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์

1) วัตถุประสงค์ เพื่อหาอัตราส่วนของใบกัญชงต่อตัวทำละลาย (CPKO) และระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่สุด ที่ให้สาระสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด

2) วิธีการทดลอง

2.1 การวางแผนการทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (factorial design) ขนาด 3×5 ภายใต้การสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) เพื่อ

ประเมินผลของสองปัจจัยหลัก ได้แก่ (A) อัตราส่วนใบกัญชงต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) และ (B) ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation)

ปัจจัย A มี 3 ระดับ คือ A1 คือ 6% A2 คือ 12%, และ A3 คือ 18% (น้ำหนัก/ปริมาตรในน้ำมันตัวทำละลาย)

ปัจจัย B มี 5 ระดับ คือ B1 คือ 0 ชั่วโมง (กลุ่มควบคุม), B2 คือ 2 ชั่วโมง, B3 คือ 4 ชั่วโมง, B4 คือ 6 ชั่วโมง และ B5 คือ 8 ชั่วโมง

สมการตัวแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล ขนาด 3x5 สำหรับกรณีที่มีปัจจัย A 3 ระดับ และปัจจัย B 5 ระดับ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

โดยที่

Y_{ijk} คือ ค่าการวัดหรือผลลัพธ์ที่ได้จากปัจจัย A ในระดับที่ i, แฟกเตอร์ B ในระดับที่ j และการทำซ้ำครั้งที่ k

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของประชากรทั้งหมด

A_i คือ ผลของปัจจัย A ที่ระดับ i ซึ่งในที่นี้มี 3 ระดับ ได้แก่ A1=6%, A2=12%, และ A3=18% (น้ำหนัก/ปริมาตรในน้ำมันตัวทำละลาย)

B_j คือ ผลของปัจจัย B ที่ระดับ j ซึ่งมี 5 ระดับ ได้แก่ B1=0 ชั่วโมง (กลุ่มควบคุม), B2=2 ชั่วโมง, B3=4 ชั่วโมง, B4=6 ชั่วโมง และ B5=8 ชั่วโมง

$(AB)_{ij}$ คือ ผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย A และ B ที่ระดับ i และ j

ϵ_{ijk} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละหน่วยทดลอง

2.2 เตรียมใบกัญชงที่บดเตรียมไว้จากการทดลองที่ 1 ชั่งน้ำหนัก 12, 24, และ 36 กรัม และบรรจุลงในถุงผ้าขนาด 5x15 เซนติเมตร เพื่อให้มีความเข้มข้น 6%, 12%, และ 18% (น้ำหนัก/ปริมาตรในน้ำมันตัวทำละลาย) ขั้นตอนนี้ได้จำนวนถุงรวม 45 ถุง (สำหรับเปรียบเทียบสภาวะการสกัด 15 ปฏิสัมพันธ์ของการทดลอง และปัจจัยร่วมละ 3 ซ้ำ)

2.3 นำถุงหลังจากบรรจุใบกัญชงตามอัตราส่วนกำหนด ห่อด้วยกระดาษฟอยล์ อลูมิเนียมและนำไปฆ่าเชื้อในเครื่อง autoclave ที่ 121°C เป็นเวลา 21 นาที เพื่อส่งเสริมกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน และเป็นส่วนหนึ่งของฆ่าเชื้อวัตถุดิบ

2.4 บรรจุถุงผ้าบรรจุใบกัญชงลงในภาชนะแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เติมน้ำมันประสานน้ำมัน Tween 80 จำนวน 4 ml (หรือเทียบเท่า 2% น้ำหนักต่อปริมาตรในน้ำมัน) และ

sodium erythorbate 0.6 กรัม (0.3% น้ำหนัก/ปริมาตรในน้ำมัน) ลงในภาชนะแก้ว ปิดผนึกภาชนะให้แน่นหนา และเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 18-20 ชั่วโมง

2.5 เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดดำเนินการโดยให้ความร้อนในตู้อบลมร้อนที่ 110°C เป็นเวลา 0, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง (Fucak et al., 2023; Ryu et al., 2021) เมื่อครบตามช่วงระยะเวลากำหนด ตัวอย่างถูกทำความเย็นลงสู่ช่วงอุณหภูมิ 30-35°C ในที่มืด จากนั้นน้ำมันสารสกัดถูกกรองผ่านตะแกรงไนลอนขนาด 100 ไมครอน และเก็บในภาชนะที่บดแสงที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) (Incharoen et al., 2025)

2.6 วิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ ประกอบด้วย total phenolic content (TPC) (mg GAE/g DW), total antioxidant capacity (TAC) in L-ascorbic acid (mg GAE/g DW), and antioxidant activity using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), (2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS), and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays (%) (Benkhaira et al. 2021; Minarti et al. 2024)

3) การวิเคราะห์ทางสถิติ ข้อมูลจากการทดลอง 1.1 ได้ถูกวิเคราะห์โดยใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล 2×2 ในรูปแบบ CRD ส่วนการทดลอง 1.2 ใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล 3×5 ในรูปแบบ CRD เช่นกัน และข้อมูลทั้งหมดถูกนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยใช้ Tukey's honestly significant difference (HSD) test ซึ่งกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ โดยนำเสนอผลลัพธ์ในช่วงความเชื่อมั่น 95% การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดนี้ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Jamovi เวอร์ชัน 2.3.28 (The Jamovi Project, 2022; R Core Team, 2021; Fox and Weisberg, 2020; Length, 2020)

3.2 การทดลองที่ 2 ผลของการเสริมอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีสารไฟโตแคนนาบินอยด์และโมโนลอรีน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต พฤติกรรมทางสังคม ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือดในสุกรระยะตุ่ม

3.2.1 สัตว์ทดลองและโรงเรือน

กระบวนการทดลองสัตว์ในทุกขั้นตอนดำเนินการตามแนวทางของคณะกรรมการกำกับดูแลจริยธรรมการใช้สัตว์ในการทดลอง มหาวิทยาลัยนเรศวร (Naresuan university animal care and use committee: NUACUC) และผ่านความเห็นชอบโดยคณะกรรมการฯ (เลขที่เอกสารรับรอง 67 01 002, วันที่อนุมัติ 9 กรกฎาคม 2567) การดำเนินการศึกษาในครั้งนี้จัดขึ้นที่ฟาร์มสุกรขุนและแม่พันธุ์เชิงพาณิชย์ (ฟาร์มวิไลพร จังหวัดนครสวรรค์ ประเทศไทย) ซึ่งได้รับการรับรองมาตรฐานฟาร์ม

โดยกรมปศุสัตว์ และกาประเมินศักยภาพการเป็นหน่วยวิจัยภายใต้การควบคุมดูแลจากสัตวแพทย์ที่ได้รับใบอนุญาตอย่างถูกต้อง สถานที่ดำเนินการทดลองใช้ระบบปิด (closed system) ซึ่งติดตั้งระบบระบายอากาศด้วยระบบระเหยน้ำ (evaporative cooling) ร่วมกับการจัดการอุณหภูมิ และการระบายอากาศอย่างเหมาะสม

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้ลูกสุกรช่วงดูตนม สายพันธุ์ (Landrace × Landrace × Duroc) จากแม่สุกรลำดับท้อง 3-6 (multiparous sows) แม่สุกรสายพันธุ์ลูกตก (hyper-prolific breeds) ซึ่งเป็นแม่พันธุ์เพื่อการผลิตเชิงอุตสาหกรรม (parent stock; PS)

3.2.2 อุปกรณ์

- 1) เครื่องโฮโมจีไนเซอร์สำหรับเตรียมอิมัลชัน (Homogenizer)
- 2) เครื่องอบอุณหภูมิสำหรับเก็บรักษาและการควบคุมปฏิบัติการ (Incubator, oven)
- 3) อุปกรณ์สำหรับการเจาะเลือดและเก็บรักษาตัวอย่างเลือด (เช่น เข็มฉีดยา, หลอดเก็บเลือด EDTA)
- 4) เครื่องปั่นเหวี่ยงสำหรับแยกซีรัม (Centrifuge)
- 5) เครื่องวิเคราะห์ประเภท Hematology analyzer สำหรับตรวจวัดเม็ดเลือดต่างๆ
- 6) เครื่องวัดและวิเคราะห์ทางชีวเคมีสำหรับทดสอบโปรตีนในซีรัม (เช่น Spectrophotometer หรือ Automated biochemistry analyzer)

3.3.3 สารเคมี

- 1) ส่วนผสมของไขมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT) ปรับให้มีความเข้มข้นกรดลอริก 30% และ 40%
- 2) สารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชาผสมน้ำมัน CPKO
- 3) กลีเซอรอลโมโนลอเรต (Glycerol monolaurate) หรือ โมโนลอรีน (Monolaurin)
- 4) สารกันบูดและตัวช่วยระบบคงตัว (เช่น BHT - Butylated hydroxytoluene, กรดเบนโซอิก (Benzoic acid))
- 5) Tween 80 (Polyoxymethylene sorbitan oleate 80)

3.3.4 การเตรียมน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางในรูปแบบอิมัลชัน

- 1) การเตรียมสูตรอิมัลชันน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT) ทั้งสามสูตร เริ่มต้นด้วยการเติมน้ำในปริมาณ 13–15% ลงในส่วนผสมของน้ำมัน MCT จากนั้นนำมาโฮโมจีไนซ์ด้วยความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้เครื่องโฮโมจีไนซ์ความเร็วสูง สูตรฐานต้นแบบ คือ EML (อิมัลชันน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีกรดลอริก 30%) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่อ้างอิงจากคำ

ขออนุสิทธิบัตรหมายเลข 2503000945 และเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่ปัจจุบันจัดจำหน่ายภายใต้แบรนด์ไฟโตแทนท์ สูตรนี้ประกอบด้วยส่วนผสมน้ำมัน MCT ผสมซึ่งมีน้ำมันเมล็ดในปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง รวมกันเป็นสัดส่วน 54–58% ของสูตรทั้งหมด โดยมีการเติมผงกรดลอริกที่มีความบริสุทธิ์ 99.9% ในปริมาณ 14–16% บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอิน (BHT) ในปริมาณ 0.8–1.0% กรดเบนโซอิกที่ 0.3–0.4% และทวิน 80 (polysorbate 80) เป็นสารทำให้อิมัลชันคงตัวในสัดส่วน 12–14% การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันยืนยันว่าปริมาณกรดลอริกในสูตรนี้ไม่น้อยกว่า 30% (EML)

2) สำหรับการพัฒนสูตรอิมัลชันขั้นสูง ได้แก่ สูตร EMPL และ Mono-EMPL ได้เพิ่มความเข้มข้นของกรดลอริกขึ้นอย่างน้อย 40% โดยลดสัดส่วนของน้ำมัน MCT ผสมลงเหลือ 48–50% และเพิ่มผงกรดลอริกเป็น 18–22% พร้อมกับปรับระดับของ BHT กรดเบนโซอิก และทวิน 80 ให้คงที่เช่นเดียวกับสูตร EML และ สูตร Mono-EMPL ได้เติมผงโมโนลอรีนที่มีความบริสุทธิ์ 90% ในปริมาณ 1.8–2.0% (18–20 กรัมต่อกก. หรือ 1,800–2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แล้วไปลดสัดส่วนของผงกรดลอริก

ดังนั้นแนวทางการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการป้อนเข้าทางปากในลูกสุกร โดยใช้เข็มฉีดยาปริมาตร 10 ml ตามแนวทางหรือข้อปฏิบัติให้ยาหรือสารเสริมในการทดลองและส่วนผสมอิมัลชัน 4.1 และ 4.2 ปั่นผสมด้วยเครื่องโฮโมจีไนซ์ ที่ความเร็วรอบ 4,500 – 5,000 rpm กำหนดให้อุณหภูมิของอิมัลชันขณะป้อนจะถูกควบคุมให้อยู่ระหว่าง 28–30°C เพื่อให้แน่ใจว่าการส่งมอบสารอาหาร และประสิทธิภาพการดูดซึมอยู่ในระดับที่ดีที่สุดต่อมาทำการวิเคราะห์สัดส่วนกรดไขมัน องค์ประกอบทางเคมี คุณภาพ และความปลอดภัยทางจุลชีววิทยา โดยห้องปฏิบัติการกลางประเทศไทย central laboratory (Thailand) Co., Ltd. ซึ่งเป็นสถานที่วิเคราะห์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานห้องปฏิบัติการฯ โดยมีผลการวิเคราะห์กรดไขมัน องค์ประกอบทางเคมี และสารชีวเคมีในอิมัลชัน ได้แสดงใน Table 3.1 – 3.2

Table 3.1 Fatty acid composition of medium-chain triglyceride emulsions (EML, EMPL, and Mono-EMPL) Experiments 2.1 and 2.2

Fatty acid composition (g/100g) ^{1/}	EML ^{2/}	EMPL ^{3/}	Mono-EMPL ^{4/}
Caproic acid (C6:0)	0.09	0.09	0.09
Caprylic acid (C8:0)	1.38	1.26	1.12
Capric acid (C10:0)	1.37	1.25	1.21

Fatty acid composition (g/100g) ^{1/}	EML ^{2/}	EMPL ^{3/}	Mono-EMPL ^{4/}
Lauric acid (C12:0)	33.94	41.42	41.23
Medium-chain fatty acids (MCFA)	36.8	44.04	43.67
Myristic acid (C14:0)	5.97	5.93	5.48
Palmitic acid (C16:0)	7.62	9.08	8.22
Stearic acid (C18:0)	1.43	1.45	1.42
Arachidic acid (C20:0)	0.16	0.19	0.15
Behenic acid (C22:0)	0.07	0.09	0.07
Lignoceric acid (C24:0)	0.07	0.08	0.06
Saturated Fatty acid (g/100g)	52.1	60.84	59.05
Palmitoleic acid (C16:1n7)	0.05	0.05	0.05
Trans-9-Elaidic acid (C18:1n9-t)	0.03	0.06	0.05
cis-9-Oleic acid (C18:1n9-c)	13.21	14.92	13.81
cis-11-Eicosenoic acid(C20:1n11-c)	0.13	0.15	0.12
Nervonic acid (C24:1n9)	0.03	0.05	0.04
Monounsaturated fatty acid (g/100g)	13.46	15.12	14.08
cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6)	7.31	7.71	7.04
gamma-Linoleic acid (C18:3n6)	0.03	0.04	0.03
alpha-Linoleic acid (C18:3n3)	0.40	0.59	0.48
cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)	0.06	0.03	0.03
Arachidonic acid (C20:4n6)	0.01	0.01	0.01
Polyunsaturated Fatty acid (g/100g)	7.66	7.59	7.38
Unsaturated fat (g/100g)	21.32	22.42	21.64
Omega 3 (mg/100g)	442	498.42	482.64
Omega 6 (mg/100g)	7,358.63	7,761.14	7,478.79
Omega 9 (mg/100g)	13,242.06	14,270.29	12,841.89

Note: ^{1/} Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. ^{2/} EML: Emulsion of medium chain triglycerides with 30% lauric acid, ^{3/} EMPL: Emulsion of medium chain triglycerides with 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids, ^{4/} Mono-EMPL: Emulsion of medium chain triglycerides with 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids and monolaurin.

Table 3.2 Chemical Composition, Quality Parameters, and Microbiological Safety Analysis medium-chain triglyceride emulsions (EML, EMPL, and Mono-EMPL) Experiments 2.1 and 2.2

Items	EML ^{3/}	EMPL ^{4/}	Mono-EMPL ^{5/}
Cannabinoid profile^{1/}			
Cannabidiol (CBD) %w/w	-	0.018	0.017
Tetrahydrocannabinol (THC)	-	nd	nd
Chemical composition^{2/}			
Ash	0.12	0.12	0.1
Calories from Fat (kcal/100g)	661.59	788.94	748.78
Carbohydrates (g/100g)	<0.01	<0.01	<0.01
Fat (g/100g)	73.51	87.65	82.42
Water Content (%)^{2/}	15.23	15.42	15.32
Iodine Value (%)^{2/}	47.85	41.89	42.3
Peroxide Value (mEq Peroxide/kg)^{2/}	3.7	4.73	5.23
Heavy Metal Test (mg/kg)^{2/}			
Arsenic (As)	nd	nd	nd
Cadmium (Cd)	nd	nd	nd
Lead (Pb)	<0.050	<0.050	<0.050
Mercury (Hg)	nd	nd	nd
Total plate counts^{2/}			
<i>Salmonella</i> spp. (in 25g)	nd	nd	nd
Total Plate Count (CFU/g)	<10	<10	<10
Yeast and Molds (CFU/g)	<10	<10	<10

Note: ^{1/} Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. ^{2/} EML = Emulsion of medium chain triglycerides with 30% lauric acid, ^{3/} EMPL = Emulsion of medium chain triglycerides with 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids, ^{4/} Mono-EMPL= Emulsion of medium chain triglycerides with 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids and monolaurin.

การทดลอง 2.1 ผลของอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางและระดับการให้ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ปริมาณนมน้ำเหลือง นำนมที่ได้รับ และค่าทางโลหิตวิทยาในลูกสุกรระยะดูนม

1. สัตว์ทดลอง และการออกแบบการทดลอง สำหรับการทดลองที่ 2.1 การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสูตรอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางระหว่างสูตร EML และสูตร EMPL รวมถึงเพื่อศึกษาปริมาณการป้อน (dosage) ในระดับต่ำและสูง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับยาปฏิชีวนะผ่านทางปาก ซึ่งเหมาะสมสำหรับการใช้กับลูกสุกรในช่วงระยะดูนม โดยประเมินผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยา และค่าชีวเคมีในเลือด

การออกแบบการทดลองใช้สูตรอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดลอริกเป็นองค์ประกอบหลักตามสัดส่วนของผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ โดยสูตร EML มีความเข้มข้นของกรดลอริกในไขมันไม่ต่ำกว่า 30% ของกรดไขมันทั้งหมด เปรียบเทียบกับสูตร EMPL มีความเข้มข้นของกรดลอริกในไขมันไม่ต่ำกว่า 40% และมีส่วนผสมของสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งได้ทำการป้อนยาปฏิชีวนะ ในส่วนของสัตว์ทดลองใช้ลูกสุกรแรกเกิดสายพันธุ์ (Landrace × Landrace × Duroc) จำนวนทั้งหมด 1,063 ตัว โดยมาจากแม่สุกรลำดับท้อง 3–6 (multiparous sows) สายพันธุ์ลูกดก (hyper-prolific breeds) ที่ใช้เป็นแม่พันธุ์ในระบบการผลิตเชิงอุตสาหกรรม (Parent stock; PS) จำนวน 75 ตัว เลือกแม่สุกรที่อ้วนท้องครบ 107 วัน โดยพิจารณาคัดเลือกตามลำดับท้อง ความหนาของไขมันสันหลัง น้ำหนักแม่สุกร และกำหนดวันคลอดให้ใกล้เคียงกัน ลูกสุกรถูกแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มทดลอง แต่ละกลุ่มประกอบด้วยแม่สุกรจำนวน 15 ครอก โดยมีขนาดครอกเฉลี่ย 14.17 ตัวต่อตัวแม่สุกร ในแต่ละกลุ่มทดลอง ลูกสุกรได้รับอิมัลชันตามสูตรที่กำหนด พร้อมทั้งให้ในระดับปริมาณการป้อนที่แตกต่างกัน ผ่านทางปาก โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมได้รับจะได้รับยาปฏิชีวนะโทลตราซูล (toltrazuril) ปริมาณ 2 ml ต่อครั้ง หรือทำการป้อนเข้าทางปากที่ 100 มิลลิกรัมต่อครั้ง (1 ml ของยาปฏิชีวนะความเข้มข้น 5% หรือ 50 มิลลิกรัมต่อ ml) กำหนดการป้อนอิมัลชันและยาปฏิชีวนะดำเนินการใน 3 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่ 1 ภายใน 12–24 ชั่วโมงหลังคลอด ครั้งที่ 2 ในช่วงวันที่ 3–5 หลังคลอด และครั้งที่ 3 ในวันที่ 18 หลังคลอด ตามที่แสดงใน **Figure 3.1** การศึกษาที่ใช้แผนการทดลองแบบ augmented factorial design โดยกำหนด $(2 \times 2) + \text{control}$ ซึ่งช่วยให้สามารถประเมินผลของแต่ละกลุ่มทดลอง รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะในช่วงน้ำหนักแรกเกิดที่แตกต่างกัน และมีการใช้การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงเพื่อควบคุมและลดความแปรปรวนของข้อมูลจากหลายกลุ่มและหลายปัจจัยในเวลาเดียวกัน

สมการตัวแบบการทดลองแบบ augmented factorial design ขนาด 2×2 พร้อมกลุ่มควบคุม (control) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + C_k + \epsilon_{ijk}$$

โดยที่

Y_{ijk} คือ ค่าการวัดหรือผลลัพธ์ที่ได้จากแฟกเตอร์ A ในระดับ i, แฟกเตอร์ B ในระดับ j และหน่วยทดลองในกลุ่มควบคุมหรือทดลองในกลุ่มปกติที่ k

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของประชากรทั้งหมด

A_i คือ ผลของแฟกเตอร์ A ในระดับที่ i (สูตร EML และสูตร EMPL)

B_j คือ ผลของแฟกเตอร์ B ในระดับที่ j [แผนการป้อนสูตรอิมัลชัน ปริมาณต่ำ (low-dose) และ ปริมาณสูง (high-dose)]

$(AB)_{ij}$ คือ ผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างแฟกเตอร์ A และ B ที่ระดับ i และ j ; C_k คือ ผลของกลุ่มควบคุม (control)

E_{ijk} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มหรือข้อผิดพลาดในแต่ละหน่วยทดลอง

จาก **Figure 3.1** แสดงรายละเอียดของแผนการทดลองและข้อกำหนดในการใช้แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (factorial design) เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดสูตรอิมัลชันทั้งสองสูตร และปริมาณ

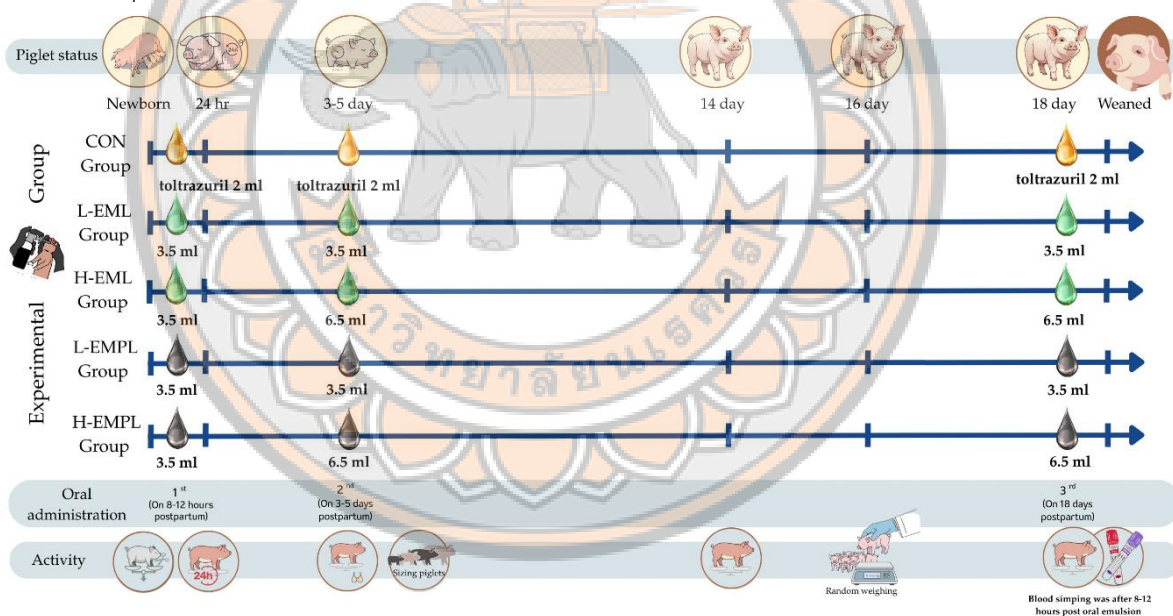


Figure 3.1 Diagram showing the design of experiment 2.1

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 เลือกแม่สุกรจำนวน 75 ตัว ในช่วงอายุอู้มท้อง 107 วัน ที่มีปัจจัยใกล้เคียงกันแต่ละกลุ่มทดลอง โดยทำการวัดน้ำหนัก ความหนาไขมันสันหลัง ลำดับท้องในช่วง 3-6 และกำหนดช่วงกำหนดคลอดใกล้เคียงกันไม่เกิน 14 วัน

2.2 เมื่อแม่สุกรคลอดทำการชั่งน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดทุกตัว และทำสัญลักษณ์ด้วยการติดนิโอเทป ขนาด 2×3 นิ้ว บนหลังลูกสุกร (ระบุลำดับคอก ลำดับการคลอด กลุ่มทดลอง และช่วงน้ำหนัก) เพื่อใช้สำหรับติดตามน้ำหนัก และตัวชี้วัดอื่นๆ เช่น ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต พฤติกรรม และสุม่เจาะเลือดตามช่วงน้ำหนักแรกคลอด ซึ่งแบ่งช่วงน้ำหนักแรกคลอดเป็น 5 ช่วง ประกอบด้วย (<0.9 , $0.91-1.05$, $1.06-1.20$, $1.21-1.35$, and >1.36 kg)

2.3 กำหนดป้อนสิ่งทดลองทั้ง 4 สูตร และ ยาปฏิชีวนะ จำนวน 3 ครั้ง ประกอบด้วย ครั้งที่ 1 ภายใน 12–24 ชั่วโมงหลังคลอด ครั้งที่ 2 วันที่ 3–5 (หลังจากที่ลูกสุกรเพศผู้ตอนอันทะเสร็จ) และครั้งที่ 3 วันที่ 18 หลังคลอด

2.4 ชั่งน้ำหนักลูกสุกร 5 ครั้ง ประกอบด้วย ครั้งที่ 1 ลูกสุกรคลอดใหม่ ครั้งที่ 2 วันที่ 3 หรือหลังจากกิจกรรมตอนอันทะ ครั้งที่ 3 หลังคลอด 14 วัน ครั้งที่ 4 หลังคลอด 18 วัน และเพิ่มเติม 1 ครั้ง วันที่ 16 หลังคลอดครั้งนี้เป็นการสุม่ชั่งน้ำหนัก 4.5-5.0 กก. จำนวน 50 ตัว (สุกรเพศผู้) แบ่งตามช่วงกลุ่มทดลอง และช่วงน้ำหนักทั้ง 5 ช่วง

2.5 ประเมินประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกร อัตราการตาย สาเหตุการตาย และปริมาณนมที่เลีย-น่านมที่ได้รับ 5 ตัวชี้วัดหลัก ได้แก่

2.6 สมรรถภาพของลูกสุกร ซึ่งประกอบด้วย ขนาดครอกลูกสุกรมีชีวิต ขนาดครอกในวันที่ 5, 14 และ 18 วันหลังคลอด และน้ำหนักตัวของลูกสุกรที่อายุ 24 ชั่วโมง, 5, 14 และ 18 วันหลังคลอด โดยใช้เครื่องชั่งดิจิทัลที่มีความแม่นยำ ± 0.01 กรัม

2.7 อัตราการตาย และสาเหตุการตายก่อนหย่านม ดัดแปลง และกำหนดแนวทางการบันทึกสาเหตุการตายของลูกสุกรจาก Jackman et al. (2020); Kongkeaw et al. (2025); Wilk et al. (2021) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 สาเหตุ ประกอบด้วย

2.7.1 การอดน่านม (Milk starvation) หมายถึง ลูกสุกรที่เสียชีวิตเนื่องจากการขาดสารอาหารและไม่ได้รับน่านม แสดงอาการฟองน้ำที่ปาก และผอมโทรมอย่างรุนแรง

2.7.2 สภาวะอ่อนแอ (Weak state) หมายถึง ลูกสุกรที่เสียชีวิตเนื่องจากสภาพร่างกายที่อ่อนแอเรื้อรัง มักพบว่ามียีนขนาดเล็ก สามารถพบเห็นโครงกระดูกปรากฏชัด หรือมีโรคเรื้อรังตามมา

2.7.3 ถูกแม่ทับ (Crushing) สามารถวินิจฉัยเมื่อลูกสุกรถูกพบว่าถูกราบแบนใต้แม่สุกร หรือมีอาการบวมซ้ำเฉพาะจุดที่ถูกกดทับ เป็นต้น

2.7.4 ท้องเสีย (Diarrhea) ที่ระบุจากอาการผิดปกติของลำไส้โดยต่อเนื่อง เช่น มีคราบสีเหลืองบริเวณรอบทวารหนัก มีมูลปนตามร่างกาย และมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ ซึ่งบันทึกตั้งแต่เกิดถึง 24 ชั่วโมงแรกและตลอดช่วงระยะเวลาการดูนม

2.8 ปริมาณนมน้ำเหลือง และน้ำนมที่ได้รับ (colostrum and milk intake) คำนวณโดยใช้สมการที่ได้รับการยอมรับสำหรับลูกสุกรช่วงดูนม

2.8.1 ปริมาณนมน้ำเหลืองที่ลูกสุกรได้รับ (Colostrum intake, CI) (mL/piglet) คำนวณโดยสมการ = $-217.4 + 0.217t + 1,861,019BW_{24}/t + BW_B \times (54.80 - 1,861,019/t) \times (0.9985 - 3.7 \times 10^{-4}tFS) + (6.1 \times 10^{-7}tFS^2)$ (Miguel et al 2021; Thongkhuy et al. 2020)

โดยที่ t คือ เวลาหลังคลอด (ชั่วโมง)

BW_{24} คือ น้ำหนักตัวลูกสุกรที่ 24 ชั่วโมง

BWB คือ น้ำหนักตัวลูกสุกรแรกเกิด

FS คือ ฤดูการคลอดของแม่สุกร

2.8.2 ปริมาณน้ำนมที่ได้รับ (Milk intake; MI) g/d คำนวณโดยสมการ = Milk required for maintaining live weight + $1.168 \times \text{Gain} + 0.00425 \times \text{Gain}^2$ โดยที่ นมที่ต้องการเพื่อรักษาน้ำหนักตัวที่มีชีวิตเท่ากับ 317 กรัมต่อวัน ในสัปดาห์ที่ 1 (วันที่ 3 ถึง 5) (Miguel et al 2021; Thongkhuy et al. 2020)

2.9 จากสุกรแรกคลอดทั้งหมด 1,063 ตัวทั้งหมด สุ่มเลือกลูกสุกร จำนวน 780 ตัว เป็นลูกสุกรที่สามารถติดตามน้ำหนักได้ตลอด 5 วัน ถูกจัดกลุ่มตามน้ำหนักแรกคลอดออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ น้ำหนักแรกคลอดต่ำกว่า 0.9 กก. (WT1), 0.91-1.05 กก. (WT2), 1.06-1.20 กก. (WT3), 1.21-1.35 กก. (WT4) และมากกว่า 1.36 กก. (WT5) กลุ่มควบคุม (CON, n=109), กลุ่มได้รับอิมัลชัน EML ปริมาณต่ำ (L-EML, n=160), กลุ่ม EML ปริมาณสูง (H-EML, n=166), กลุ่มได้รับอิมัลชัน EMPL ปริมาณต่ำ (L-EMPL, n=164) และกลุ่ม EMPL ปริมาณสูง (H-EMPL, n=181) การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการประเมินสามตัวชี้วัดหลัก ได้แก่ 1) อัตราการเจริญเติบโตวัดที่ช่วงเวลา 24 ชั่วโมงและ 5 วันหลังคลอด 2) ปริมาณนมน้ำเหลืองที่ลูกสุกรได้รับ (mlต่อลูกสุกรหนึ่งตัว) และ 3) ปริมาณน้ำนมที่ลูกสุกรได้รับ (mlต่อลูกสุกรหนึ่งตัว) โดยข้อมูลทั้งหมดถูกเก็บและวิเคราะห์ในรูปแบบที่มาตรฐานสำหรับลูก

สุกรแต่ละตัวอย่างละเอียดและเฉพาะเจาะจง เพื่อให้การเปรียบเทียบผลเป็นไปอย่างแม่นยำและเที่ยงตรงในงานวิจัยเชิงลึกนี้

2.10 เมื่อลูกสุกรมีอายุครบ 16 วัน จะทำการสุมซังน้ำหนักรเพื่อเลือกลูกสุกรสำหรับเจาะเลือด โดยเลือกเฉพาะลูกสุกรเพศผู้ที่มีน้ำหนักในช่วง 4.5-5.0 กก. เพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่มการทดลอง และครอบคลุมช่วงน้ำหนักแรกคลอดทั้ง 5 ช่วง ตามการออกแบบการทดลองในส่วนที่ 2.1 สำหรับการสุมเจาะเลือดในแต่ละกลุ่ม จะสุมเลือกลูกสุกรจำนวน 50 ตัว (กลุ่มละ 10 ตัว) โดยในแต่ละช่วงน้ำหนักจะสุมเลือกลูกสุกรจำนวน 2 ตัว การเก็บตัวอย่างเลือดโดยเจาะเลือดจากตำแหน่งหลอดเลือดดำ (cranial vena cava) ซึ่งอยู่ลึกใต้ผิวหนังบริเวณฐานคอด้านซ้ายหรือขวา ด้วยเข็มขนาด 18 G $\times$ 1.5 นิ้ว เลือดที่ได้จะถูกบรรจุลงในหลอดเก็บเลือดชนิด EDTA และเก็บรักษาในอุณหภูมิ 4–8 องศาเซลเซียสทันที หลังจากเก็บเลือดจะทำการปั่นแยกพลาสมาด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 $\times$ g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ภายใน 30 นาทีหลังการเก็บเลือด พลาสมาที่ได้จะถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ภายใน 24 ชั่วโมงก่อนนำส่งตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ การตรวจนับเม็ดเลือดสมบูรณ์ (complete blood count; CBC) รวมถึงพารามิเตอร์ของเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด จะดำเนินการด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหิต ABX Pentra 60 Hematology analyzer (Horiba medical, ประเทศฝรั่งเศส) เพื่อประเมินลักษณะของเลือดตามมาตรฐานสากล (Oliveira et al., 2018; Pinto et al., 2023) ส่วนการวิเคราะห์โปรตีนในพลาสมา ประกอบด้วยการวัดความเข้มข้นของโปรตีนรวม (total protein) อัลบูมิน (albumin) และโกลบูลิน (globulin) โดยใช้วิธีทดสอบทางชีวเคมีมาตรฐานตามแนวทางของพยาธิวิทยาคลินิกสัตว์แพทย์ (Thrall et al., 2022) ความเข้มข้นโปรตีนรวมวัดด้วย Total protein (Biuret) Assay Ki (Sari et al., 2024) ส่วนความเข้มข้นของอัลบูมินวัดโดยใช้วิธี Bromocresol green binding assay ดัดแปลงขั้นตอนและวิเคราะห์ด้วยเครื่องเคมีอัตโนมัติ PKL PPC 125 (Pokler Italia, ประเทศอิตาลี) ในขณะที่ความเข้มข้นของโกลบูลินคำนวณโดยการหาความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นโปรตีนรวมและอัลบูมิน

3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองถูกวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการแบบโมเดลเส้นตรงทั่วไป (general linear model; GLM) ผ่านโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 26 เพื่อทดสอบผลกระทบของสูตรอิมัลชันที่ทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับการรักษาด้วยยาปฏิชีวนะก่อนหน้านี้ ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลจะมีการตรวจสอบสมมติฐานเบื้องต้น ได้แก่ การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยใช้วิธี Shapiro–Wilk เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยแบบจำลองนี้ สำหรับการทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบ augmented factorial design ($2 \times 2 + \text{control}$) โดยกำหนดให้ปัจจัยที่ 1 (Factor A) คือ สูตรอิมัลชันสองชนิด ได้แก่ EML และ EMPL และ

ปัจจัยที่ 2 (Factor B) คือ รูปแบบการป้อนและระดับปริมาณการให้ในสองระดับ ได้แก่ ปริมาณต่ำ และปริมาณสูง รวมถึงวิเคราะห์ผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองด้วยความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองถูกประเมินโดยใช้การทดสอบ Tukey's honest significant difference (HSD) เพื่อเปรียบเทียบแบบจับคู่เมื่อพบผลหลักหรือผลปฏิสัมพันธ์ที่มีความมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ยังมีการวิเคราะห์ orthogonal contrasts เพื่อทดสอบสมมติฐานเฉพาะในเชิงลึก ได้แก่ การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มอิมัลชันทั้งหมด และการประเมินผลของระดับปริมาณการใช้ภายในกลุ่มสูตรอิมัลชัน ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติถูกกำหนดไว้ที่ค่า $P \leq 0.05$ และผลลัพธ์ทั้งหมดจากการวิเคราะห์จะแสดงในรูปของค่าเฉลี่ยควบคู่ไปกับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย ($\text{mean} \pm \text{standard error of the mean; SEM}$) เพื่อให้สามารถตีความและเปรียบเทียบผลการทดลองได้อย่างชัดเจนและแม่นยำ

การทดลอง 2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางเสริมไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอรีน เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ยาปฏิชีวนะ ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือดลูกสุกรระยะดูนัม

1. วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินศักยภาพของสูตรอิมัลชันที่ดีที่สุดจากผลการทดลอง 2.1 (คือ L-EMPL) เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับสูตรที่เสริมด้วยโมโนลอรีน (Mono-EMPL) และกลุ่มที่ได้รับยาปฏิชีวนะต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือด ในลูกสุกรช่วงดูนัม

2. สัตว์ทดลอง และการออกแบบการทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ EMPL) และ Mono-EMPL เป็นสูตรที่มีการเพิ่มเติมโมโนลอรีน เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับยาปฏิชีวนะ (CON) ใช้ลูกสุกรแรกเกิด สายพันธุ์ (Landrace $\times$ Landrace $\times$ Duroc) จำนวนทั้งหมด 509 ตัว จากแม่สุกรลำดับท้อง 3-6 (multiparous sows) เป็นแม่พันธุ์เพื่อการผลิตเชิงอุตสาหกรรม (parent stock, PS) จำนวน 36 ตัว โดยเลือกแม่สุกรจากลำดับท้อง ความหนาไขมันสันหลัง น้ำหนักแม่สุกร และกำหนดคลอดที่ใกล้เคียงกัน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มทดลอง แต่ละกลุ่มประกอบด้วยแม่สุกรจำนวน 12 ตัว มีขนาดครอกเฉลี่ย 14.13 ตัวต่อแม่ ซึ่งได้ลูกสุกรแรกเกิดเข้าในกลุ่มทดลอง 183 158 และ 168 ตัว (CON, EMPL และ Mono-EMPL) ตามลำดับ ทำการป้อนอิมัลชันทั้ง 2 สูตร และกลุ่มที่ใช้ยาปฏิชีวนะจำนวน 3 ครั้ง ประกอบด้วย ครั้งที่ 1 ภายใน 12–24 ชั่วโมงหลังคลอด ครั้งที่ 2 ในวันที่ 5 (หลังจากกิจกรรมตอนอันทะ) และ ครั้งที่ 3 ในวันที่ 18 หลังคลอด ปริมาตรของการป้อนเข้าทางปาก สำหรับกลุ่มควบคุมจะได้รับจะได้รับยาปฏิชีวนะโทลทราซูล (toltrazuril) ปริมาณ 2 ml ต่อครั้ง หรือทำการป้อนเข้าทางปากที่ 100 มิลลิกรัมต่อครั้ง (1 ml ของยาปฏิชีวนะความเข้มข้น 5% หรือ 50 มิลลิกรัมต่อ ml) ทำการ

ป้อนเข้าทางปากทั้งสามครั้งตลอดการทดลอง ส่วนกลุ่ม EMPL และ Mono-EMPL ทำการป้อนสิ่ง
ทดลองเข้าทางปากลูกสุกรปริมาตร 3.5 ml ทั้งสามครั้งตลอดการทดลอง ดังแสดง **Figure 3.2**

สมการตัวแบบสำหรับการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ที่มี 3 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ กลุ่มยาปฏิชีวนะ (CON) กลุ่ม EMPL และกลุ่ม Mono-EMPL

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

โดยที่

Y_{ij} คือ ค่าการวัดหรือผลลัพธ์จากกลุ่มการทดลองที่ i ในการทำซ้ำครั้งที่ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของประชากรทั้งหมด

τ_i คือ ผลของกลุ่มการทดลองที่ i ($i = 1$ สำหรับ CON, 2 สำหรับ EMPL, 3 สำหรับ Mono-EMPL)

ϵ_{ij} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง

3. ขั้นตอนการทดลอง

3.1 เลือกแม่สุกรจำนวน 36 ตัว ในช่วงอายุอู่มท้อง 107 วัน ที่มีปัจจัยใกล้เคียงกันแต่ละ
กลุ่มทดลอง โดยทำการวัดน้ำหนัก ความหนาไขมันสันหลัง ลำดับท้องในช่วง 3-6 และกำหนดช่วง
กำหนดคลอดใกล้เคียงกันไม่เกิน 14 วัน

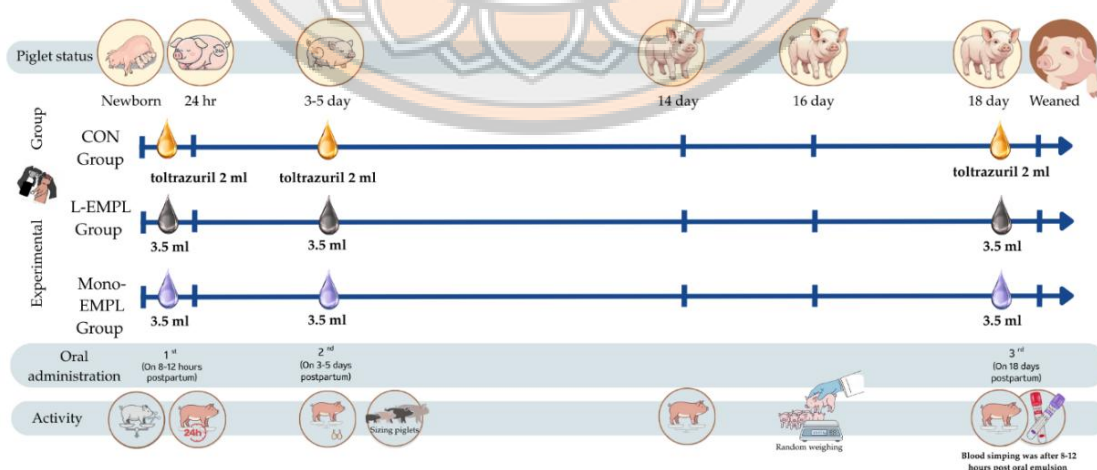


Figure 3.2 Diagram showing the design of experiment 2.2

3.2 เมื่อแม่สุกรคลอดทำการชั่งน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดทุกตัว และทำสัญญาลักษณะด้วยการติดน๊อเทป ขนาด 2×3 นิ้ว (ระบุลำดับคอก-ลำดับการคลอด-กลุ่มทดลอง-ชวงน้ำหนัก) เพื่อใช้สำหรับติดตามชั่งน้ำหนัก และตัวชี้วัดอื่นๆ เช่น ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต พฤติกรรม และสุมเจาะเลือดตามชวงน้ำหนักแรกคลอด ซึ่งแบ่งชวงน้ำหนักแรกคลอดเป็น 5 ชวง ประกอบด้วย (<0.9 , $0.91-1.05$, $1.06-1.20$, $1.21-1.35$, and >1.36 kg)

3.3 กำหนดป้อนสิ่งทดลองทั้ง 2 สูตร และ ยาปฏิชีวนะ **Figure 3.2** จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 3.5 ml ประกอบด้วย ครั้งที่ 1 ภายใน 12–24 ชั่วโมงหลังคลอด ครั้งที่ 2 วันที่ 3–5 (หลังจากที่ลูกสุกรเพศผู้ตอนอันทะเสร็จ) และครั้งที่ 3 วันที่ 18 หลังคลอด

3.4 ชั่งน้ำหนักลูกสุกร 5 ครั้ง ประกอบด้วย ครั้งที่ 1 ลูกสุกรคลอดใหม่ ครั้งที่ 2 วันที่ 3 หรือหลังจากกิจกรรมตอนอันทะเสร็จ ครั้งที่ 3 หลังคลอด 14 วัน ครั้งที่ 4 หลังคลอด 18 วัน และเพิ่มเติม 1 ครั้ง วันที่ 16 หลังคลอดครั้งนี้เป็นการสุมชั่งน้ำหนัก $4.50-5.50$ กก. จำนวน 24 ตัว (สุกรเพศผู้) กลุ่มทดลองละ 8 ตัว

3.5 ประเมินประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกร และปริมาณนมที่เหลือ-นํานมที่ได้รับ 5 ตัวชี้วัดหลัก ได้แก่

3.5.1 สมรรถภาพของลูกสุกร ซึ่งประกอบด้วย ขนาดครอกลูกสุกรมีชีวิต ขนาดครอกในวันที่ 5, 14 และ 18 วันหลังคลอด และน้ำหนักตัวของลูกสุกรที่อายุ 24 ชั่วโมง, 5, 14 และ 18 วัน หลังคลอด โดยใช้เครื่องชั่งดิจิทัลที่มีความแม่นยำ ± 0.01 กรัม

3.5.2 อัตราการตาย และสาเหตุการตายก่อนหยานม เป็นไปตามกรอบวิธีการ และสาเหตุการตาย ดัดแปลงจาก Jackman et al. (2020); Kongkeaw et al. (2025); Wilk et al. (2021) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 สาเหตุ ประกอบด้วย

1) การอดนํานม (Milk starvation) หมายถึง ลูกสุกรที่เสียชีวิตเนื่องจากการขาดสารอาหารและไม่ได้รับนํานม แสดงอาการฟองน้ำที่ปาก และผอมโหมอย่างรุนแรง

2) สภาวะอ่อนแอ (weak state) หมายถึง ลูกสุกรที่เสียชีวิตเนื่องจากสภาพร่างกายที่อ่อนแอเรื้อรัง มักพบว่ามียีนขนาดเล็ก สามารถพบเห็นโครงกระดูกปรากฏชัด หรือมีโรคเรื้อรังตามมา

3) ถูกแม่ทับ (crushing) สามารถวินิจฉัยเมื่อลูกสุกรถูกพบว่านอนแบบราบใต้แม่สุกร หรือมีอาการบวมซ้ำเฉพาะจุดที่ถูกกดทับ เป็นต้น

4) ท้องเสีย (diarrhea) ที่ระบุจากอาการผิดปกติของลำไส้โดยต่อเนื่อง เช่น มีคราบสีเหลืองบริเวณรอบทวารหนัก มีมูลเปื้อนตามร่างกาย และมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ ซึ่งบันทึกตั้งแต่เกิดถึง 24 ชั่วโมงแรกและตลอดช่วงระยะเวลาการดูคูนม

3.6 ปริมาณนมน้ำเหลือง และน้ำนมที่ได้รับ (colostrum and milk intake) คำนวณโดยใช้สมการที่ได้รับการยอมรับสำหรับลูกสุกรช่วงดูนม

2.6.1 ปริมาณนมน้ำเหลืองที่ลูกสุกรได้รับ (colostrum intake; CI) (mL/piglet) คำนวณโดยสมการ = $-217.4 + 0.217t + 1,861,019BW_{24}/t + BW_B \times (54.80 - 1,861,019/t) \times (0.9985 - 3.7 \times 10^{-4}tFS) + (6.1 \times 10^{-7}tFS^2)$ (Miguel et al 2021; Thongkhuy et al. 2020)

โดยที่ t คือ เวลาหลังคลอด (ชั่วโมง)

BW_{24} คือ น้ำหนักตัวลูกสุกรที่ 24 ชั่วโมง

BWB คือ น้ำหนักตัวลูกสุกรแรกเกิด

FS คือ ฤดูการคลอดของแม่สุกร

2.6.2 ปริมาณน้ำนมที่ได้รับ (milk intake; MI) g/d คำนวณโดยสมการ = milk required for maintaining live weight + $1.168 \times \text{Gain} + 0.00425 \times \text{Gain}^2$ โดยที่ นมที่ต้องการเพื่อรักษาน้ำหนักตัวที่มีชีวิตเท่ากับ 317 กรัมต่อวัน ในสัปดาห์ที่ 1 (วันที่ 3 ถึง 5) (Miguel et al 2021; Thongkhuy et al. 2020)

3.7 จากสุกรแรกคลอดทั้งหมด 509 ตัว สุ่มเลือกลูกสุกร จำนวน 355 ตัว เป็นลูกสุกรที่สามารถติดตามน้ำหนักได้ตลอด 5 วันอย่างชัดเจน ถูกจัดกลุ่มตามน้ำหนักแรกคลอดออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ น้ำหนักแรกคลอดต่ำกว่า 0.9 กก., 0.91-1.05 กก., 1.06-1.20 กก., 1.21-1.35 กก. และมากกว่า 1.36 กก. กลุ่มควบคุม (CON, n=90), กลุ่มได้รับ EMPL (n=118) และกลุ่มที่ได้รับ Mono-EMPL (n=147) การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการประเมินสามตัวชี้วัดหลัก ได้แก่ 1) อัตราการเจริญเติบโตวัดที่ช่วงเวลา 24 ชั่วโมงและ 5 วันหลังคลอด 2) ปริมาณนมน้ำเหลืองที่ลูกสุกรได้รับ (mlต่อลูกสุกรหนึ่งตัว) และ 3) ปริมาณน้ำนมที่ลูกสุกรได้รับ (mlต่อลูกสุกรหนึ่งตัว) โดยข้อมูลทั้งหมดถูกเก็บและวิเคราะห์ในรูปแบบที่มาตรฐานสำหรับลูกสุกรแต่ละตัวอย่างละเอียดและเฉพาะเจาะจง เพื่อให้การเปรียบเทียบผลเป็นไปอย่างแม่นยำและเที่ยงตรงในงานวิจัยเชิงลึกนี้

3.8 สุ่มซึ้นน้ำหนักเมื่อลูกสุกรมีอายุครบ 16 วัน เพื่อเลือกลูกสุกรสำหรับเจาะเลือด โดยเลือกเฉพาะลูกสุกรเพศผู้ที่มีน้ำหนักในช่วง 4.5-5.0 กก. เพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่มการทดลองและครอบคลุมช่วงน้ำหนักแรกคลอดทั้ง 5 ช่วง ตามการออกแบบการทดลองในส่วนที่ 2.1 สำหรับการสุ่มเจาะเลือดในแต่ละกลุ่ม จะสุ่มเลือกลูกสุกรจำนวน 50 ตัว (กลุ่มละ 10 ตัว) โดยในแต่ละช่วงน้ำหนักสุ่มเลือกลูกสุกรจำนวน 2 ตัว การเก็บตัวอย่างเลือดโดยเจาะเลือดจากตำแหน่งหลอดเลือดดำ (cranial vena cava) ซึ่งอยู่ลึกใต้ผิวหนังบริเวณฐานคอด้านซ้ายหรือขวา ด้วยเข็มขนาด 18 G $\times$ 1.5 นิ้ว เลือดที่ได้ถูกบรรจุลงในหลอดเก็บเลือดชนิด EDTA และเก็บรักษาในอุณหภูมิ 4–8 องศาเซลเซียสทันที หลังจากเก็บเลือดทำการปั่นแยกพลาสมาด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว $3,000 \times g$ เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ภายใน 30 นาทีหลังการเก็บเลือด พลาสมาที่ได้ถูกเก็บรักษาที่

อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ภายใน 24 ชั่วโมงก่อนนำส่งตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ การตรวจนับเม็ดเลือดสมบูรณ์ (CBC) รวมถึงพารามิเตอร์ของเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด ด้วยเครื่องวิเคราะห์เลือด ABX Pentra 60 hematology analyzer (Horiba Medical, ประเทศฝรั่งเศส) เพื่อประเมินลักษณะของเลือดตามมาตรฐานสากล (Oliveira et al. 2018; Pinto et al. 2023) ส่วนการวิเคราะห์โปรตีนในพลาสมา ประกอบด้วยการวัดความเข้มข้นของโปรตีนรวม (total protein) อัลบูมิน (albumin) และโกลบูลิน (globulin) โดยใช้วิธีทดสอบทางชีวเคมีมาตรฐานตามแนวทางของพยาธิวิทยาคลินิกสัตว์แพทย์ (Thrall et al., 2022) ความเข้มข้นโปรตีนรวม (Sari et al., 2024) ส่วนความเข้มข้นของอัลบูมินวัดโดยใช้วิธี Bromocresol green binding assay คัดแปลงขั้นตอน และวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดชีวเคมีในเลือดอัตโนมัติ PKL PPC 125 (Pokler Italia, ประเทศอิตาลี) ในขณะที่ความเข้มข้นของโกลบูลินคำนวณโดยการหาความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นโปรตีนรวมและอัลบูมิน

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้วิเคราะห์โดยใช้กระบวนการแบบโมเดลเส้นตรงทั่วไป (general linear model; GLM) ผ่านโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 26 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติถูกกำหนดไว้ที่ค่า $P \leq 0.05$ สำหรับทุกการวิเคราะห์ ผลลัพธ์ทั้งหมดถูกนำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ยพร้อมค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (mean $\pm$ standard error of the mean; SEM)

การทดลอง 2.3 การศึกษาพฤติกรรมลูกสุกรแรกเกิด: ผลกระทบของสารเสริมต่อความแข็งแรงและการเข้าถึงเต้านมแม่สุกร

เนื่องจากหน่วยทดลอง ของการทดลอง 2.2 ไม่ได้กรอเขี้ยว ซึ่งเป็นนโยบายขององค์กร เพื่อลดสภาพปัญหาการติดเชื้อมาจากการใช้เครื่องมือ ลดโอกาสการบาดเจ็บจากการใช้เครื่อง และเป็นส่วนหนึ่งสวัสดิภาพสัตว์ ดังนั้นมักพบร่องรอยบาดแผลบริเวณใบหน้า ซึ่งเป็นผลกระทบของกับพฤติกรรม การจัดลำดับทางสังคม พฤติกรรมการจำจองเต้านม ดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินผลของอิมัลชันต้นแบบต่อความแข็งแรง พฤติกรรมการดูดนมของลูกสุกรแรกเกิด ความถี่ของพฤติกรรมการแข่งขันเข้าถึงเต้านมแม่ และลดความรุนแรงของรอยโรคบนใบหน้าที่เกิดจากการต่อสู้

1. ขั้นตอนการทดลอง

1.1 ผู้วิจัยได้เลือกลูกสุกรแรกเกิดรวมทั้งหมด 216 ตัว สุกรเพศเมียทั้งหมด (เลือกลูกสุกรจำนวน 6 ตัวต่อครอก จำนวน 36 ตัวต่อกลุ่ม) จากแม่สุกรจำนวน 18 ครอก กำหนดให้มีลูกสุกรน้ำหนักแรกเกิดเฉลี่ยระหว่าง 1.20–1.50 กก. ถูกสุ่มเลือกจากการทดลอง 2 (งานวิจัยหลักใช้ลูกสุกร 509 ตัว จำนวน 36 แม่) และกำหนดให้ลูกสุกรแต่ละตัวถูกทำเครื่องหมายเฉพาะเจาะจงโดยใช้โน้ต

เทป ขนาด 2x3 นิ้ว ติดบริเวณหลังให้ชัดเจน เพื่อระบุและติดตามตัวได้อย่างแม่นยำ ดำเนินการเก็บข้อมูลด้านพฤติกรรมของลูกสุกรจากวิดีโอกล้อง CCTV ด้วย 2 ประเด็น

ประเด็นที่ 1 คือ ความถี่ของพฤติกรรมทางสังคม 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 หลังจากป้อนสิ่งทดลองครั้งที่ 1 (ช่วงการป้อน 8-12 ชั่วโมง) และครั้งที่ 2 หลังป้อนสิ่งทดลองครั้งที่ 2 (ช่วงทำการป้อนในวันที่ 3-5 หลังคลอด) บันทึกความถี่ของพฤติกรรมหลังการป้อนทั้ง 2 ครั้ง ภายใน 2 ชั่วโมง

ประเด็นที่ 2 บันทึกคะแนนร่องรอยบาดแผลบริเวณใบหน้าของลูกสุกรตลอด 5 วัน หลังคลอด

1.2 ขั้นตอนการบันทึก และประเมินความถี่พฤติกรรมของลูกสุกร (ประเด็นที่ 1) คือ การบันทึกความถี่พฤติกรรมทางสังคมสำหรับลูกสุกร เช่น การเข้าหาเต้านมแม่ พฤติกรรมการจับจองเต้านม และความรุนแรงหลังจากการต่อสู้ เป็นต้น ดำเนินบันทึกข้อมูล 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 หลังจากป้อนสิ่งทดลองครั้งที่ 1 (ช่วง 8-12 ชั่วโมง) และครั้งที่ 2 ในวันที่ 3-5 วันหลังคลอด กำหนดตัวชี้วัด และแบบแผนการบันทึกพฤติกรรมจากภาพวิดีโอด้วยย้อนหลังผ่านระบบกล้องวงจรปิดซึ่งติดตั้งเหนือตัวแม่สุกร 1.8-2.0 เมตร ประกอบด้วย

1.2.1 ความถี่เข้าดูดนม หรือความถี่เดินเข้าหาเต้านม (suckling frequency, SF) หมายถึงจำนวนครั้งที่ลูกสุกรแต่ละตัวเข้าใกล้เต้านม และใช้จมูกดันหรือดันรบกวนแม่สุกรภายในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงหลังจากการป้อนสิ่งทดลอง ดัดแปลงขั้นตอนการศึกษาพฤติกรรมจาก Puppe and Tuchscherer. (2000)

1.2.2 ระยะเวลาที่ลูกสุกรเข้าการดูดนมครั้งแรกจนสำเร็จ (latency to first suckling, LFS) หมายถึงการจับเวลาที่ลูกสุกรแต่ละตัวหลังจากได้รับสิ่งทดลอง โดยปล่อยพร้อมกันจากตำแหน่งกล่องกกภายในคอก จับเวลาดังกล่าวไปจนถึงลูกสุกรดูดนมสำเร็จ ซึ่งสามารถสังเกตพฤติกรรมการจับจองเต้านม และการคาบเต้านมทิ้งไว้หลังจากการดูดนมสำเร็จ (นาทีก) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดถึงความแข็งแรงและความกระตือรือร้นของลูกสุกร และความสำเร็จในการได้รับนมแม่เหลือง หรือ

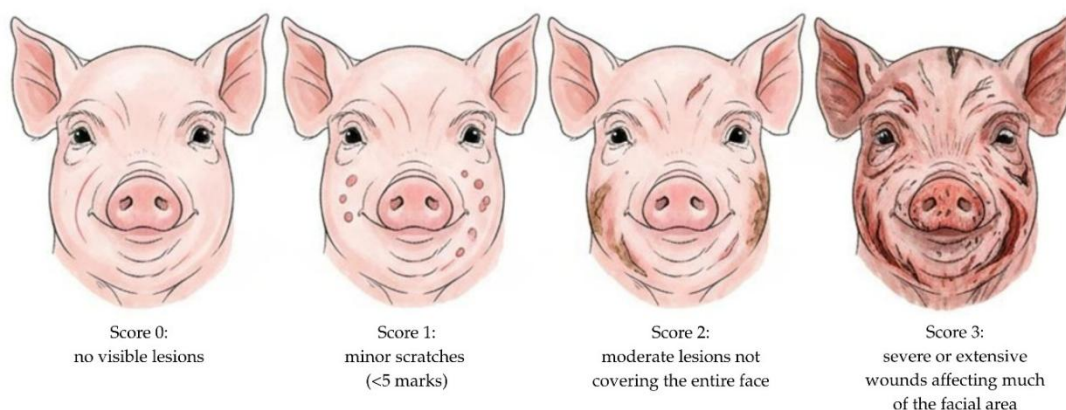


Figure 3.3 Grading scale for facial lesion scores (0–3) in neonatal piglets, with 0 = no visible lesions, 1 = minor scratches, 2 = moderate lesions, and 3 = severe or extensive wounds.

Adapted from Dividich et al. (2017); Wilk et al. (2021); Zhang et al. (2022)

1.2.3 การประเมินพฤติกรรมการต่อสู้ และพฤติกรรมการจับจองเต้านม (teat order engagement; TOE) จดบันทึกความถี่พฤติกรรมการต่อสู้ เพื่อแย่งจับจองเต้านม ภายในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง หลังการป้อนสิ่งทดลอง โดยอ้างอิงวิธีการจาก Skok et al. (2014)

1.3 การประเมินคะแนนบาดแผลบนใบหน้า (facial lesion score; FLS) (ประเด็นที่ 2) กำหนดบันทึกคะแนนความรุนแรงบาดแผลบนใบหน้าของลูกสุกร กำหนดเวลาบันทึกคะแนนความรุนแรงช่วงระหว่างเวลา 10:00 ถึง 12:00 น. (ตลอด 5 วัน) โดยกำหนดมาตรฐานการบันทึกบาดแผลจากคะแนนความรุนแรง 4 ระดับ (**Figure 3.3**) ได้แก่ คะแนน 0 หมายถึงไม่มีบาดแผลที่มองเห็นได้ คะแนน 1 คือบาดแผลเล็กน้อย (รอยขีดข่วนไม่เกิน 5 แห่ง) คะแนน 2 คือบาดแผลปานกลางจำนวนมากแต่ไม่ครอบคลุมทั้งใบหน้า และ คะแนน 3 คือบาดแผลรุนแรงที่ครอบคลุมบริเวณใบหน้าเป็นจำนวนมากหรือขนาดใหญ่ โดยอ้างอิงขั้นตอนการบันทึกจาก Le Dividich et al. (2017); Wilk et al. (2021); Zhang et al. (2022)

3.3 การทดลองที่ 3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงไมโครเอนแคปซูเลกรดไขมันสายกลางเข้มข้นที่มีส่วนผสมของสารสกัดกัญชง และโมโนลอรีนโดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. อุปกรณ์

1.1 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) รุ่น WIGGENS D500 (WIGGENS)

1.2 เครื่องวัดความเข้มข้นน้ำตาลโดยใช้แฟร็กโตมิเตอร์ (Brix Refractometer) รุ่น

NicetyMeter 1-50 Brix

1.3 เครื่องวัดค่า pH

1.4 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)

1.5 เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) แบบ DV -- E (3) โดยใช้หัววัดหมายเลข 3 และความเร็วรอบ 200 rpm

1.6 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอาหาร (Water activity meter) รุ่น Labstart-AW ยี่ห้อ Novasina ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

1.7 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) แบบฟลูอิดไลซ์เบด รุ่น SD-5L-FB

1.8 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

- 1.9 เครื่องแก้ว เช่น ปีกเกอร์ หลอดทดลอง และภาชนะแก้วบรรจุสารตัวอย่าง
- 1.10 ผ้าไนลอน ขนาด 100 ไมครอน
- 1.11 เครื่องวัดขนาดและการกระจายตัวของอิมัลชัน (Laser particle size distribution analyzer) รุ่น MALVERN Mastersizer 3000
- 1.12 เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า (Zeta potential measurement)
- 1.13 ตะแกรงร่อนผงขนาด 355 ไมครอน (50 เมช)
- 1.14 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลที่มีความแม่นยำ 0.01
- 1.15 เครื่องมือสำหรับวัดความชื้น (Moisture meter)

2) สารเคมี

- 2.1 มอลโตเด็คทรีนซ์ (Maltodextrin; MD)
- 2.2 โซเดียมเคซีเนต (Sodium caseinate; NaCas)
- 2.3 ทวิน 80 (Tween 80)
- 2.4 สเปน 80 (Span 80)
- 2.5 ผงกรดลอริก (Lauric acid powder 99.9%)
- 2.6 ผงโมโนลอรีน (Monolaurin powder)
- 2.7 กรดเบนโซอิก (Benzoic Acid)
- 2.8 สารกันฟอง (Anti foam)
- 2.9 สารป้องกันการออกซิเดชัน BHT (Butylated hydroxytoluene)

การทดลอง 3.1 การหาสัดส่วนอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน

1. วัตถุประสงค์ เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดระหว่างอิมัลซิไฟเออร์ Tween 80 (ชอบน้ำ) และ Span 80 (ชอบน้ำมัน) ที่ส่งผลให้อิมัลชันที่มีเสถียรภาพสูงสุด สำหรับระดับความเข้มข้นของกรดลอริกที่แตกต่างกัน (40, 50 และ 60 %)
2. ออกแบบการทดลอง แผนการทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบ factorial ขนาด 3x4 ภายใต้ CRD ซึ่งกำหนดปัจจัย 2 ตัว คือ ตัวแปรปัจจัยหลัก 3 ระดับ และตัวแปรปัจจัยรอง 4 ระดับ ทั้งหมด 12 กลุ่มทดลอง โดยแต่ละกลุ่มจะมีหน่วยทดลองได้รับการสุ่มอย่างสมบูรณ์
3. กำหนดปัจจัยสำหรับการทดลอง
 - ปัจจัย A คือ ระดับความเข้มข้นของกรดลอริก (lauric level) ใน core material 3 ระดับ ประกอบด้วย A1 คือ 40%, A2 คือ 50% และ A3 คือ 60%
 - ปัจจัย B คือ สัดส่วนระหว่างอิมัลซิไฟเออร์สองชนิด (Tween 80 และ Span 80) 4 ระดับ ประกอบด้วย B1 คือ 90:10 B2 คือ 80:20 B3 คือ 65:35 และ B4 คือ 50:50

ปัจจัยควบคุม การเตรียมไมโครเอนแคปซูล คือ รอบการปั่นของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่ใช้ความเร็ว 12,000 rpm ซึ่งช่วยให้อนุภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กและสม่ำเสมอ อีกทั้งยังควบคุมขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมวัสดุแกนกลาง (core) และวัสดุห่อหุ้ม (wall material) โดยกำหนดอัตราส่วน core ต่อ wall เท่ากับ 1 ต่อ 3 โดยเลือกใช้มอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin; MD) และโซเดียมเคซีเนต (sodium caseinate; NaCas) เป็นวัสดุห่อหุ้ม โดยกำหนดสัดส่วน MD ต่อ NaCas เท่ากับ 4 ต่อ 1 (ข้อมูลสภาวะเป็นไปตามผลงานทดลองซึ่งอ้างอิงจาก วันดี ทาตระกูล (Fundamental Fund 2567) สำหรับขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมนี้ จะเริ่มจากการนำน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาตั้งอุณหภูมิประมาณ 70°C เพื่อให้วัสดุห่อหุ้มทั้งสองชนิดละลายและกระจายตัวได้สมบูรณ์ ก่อนนำไปขั้นตอนการผสมกับ core material และเข้าสู่กระบวนการโฮโมจีไนเซชัน เพื่อให้ได้ไมโครเอนแคปซูลที่มีโครงสร้างแข็งแรง สม่ำเสมอ และเหมาะสำหรับการแปรรูปขั้นตอนถัดไป เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งช่วยให้ผงไมโครเอนแคปซูลที่ได้มีสมบัติการละลายน้ำและคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันที่ดีต่อไป

4. ขั้นตอนการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการเตรียมอิมัลชันสำหรับการทดลอง ในการเตรียมอิมัลชันสำหรับการทดลองครั้งนี้ ได้ออกแบบอิมัลชันโดยพิจารณาความเข้มข้นของกรดลอริกใน core materials ไม่ต่ำกว่า 40, 50 และ 60% โดยกำหนดอัตราส่วนของน้ำมันและสารช่วยอิมัลซิไฟเออร์ (Tween 80 และ Span 80) ตามข้อมูลใน Table 3.3-3.5 เพื่อใช้ในการทดสอบเสถียรภาพของอิมัลชัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 สูตรหลักในแต่ละระดับความเข้มข้นกรดลอริก คือ 90:10, 80:20, 65:35 และ 50:50 ขั้นแรกทำการชั่งส่วนผสมของน้ำมันดิบแต่ละชนิดและผงกรดลอริกตามอัตราส่วนในตาราง ซึ่งประกอบด้วย Phyto cannabinoid extract oil ในน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ น้ำมันรำข้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง ผงกรดลอริก และผงโมโนลอริน ผสมสารช่วยอิมัลชัน Tween 80 และ Span 80 ในปริมาณตามสูตร เพื่อควบคุมค่า HLB ของอิมัลชันให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ซึ่งแต่ละสูตรมีค่า HLB รวมดังนี้ ได้แก่ 8.84 (สูตร 90:10), 8.67 (สูตร 80:20), 8.41 (สูตร 65:35) และ 8.19 (สูตร 50:50) นอกจากนี้ ในทุกสูตรจะเติมสารกันออกซิเดชัน (BHT) ในปริมาณ 1 กรัม เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพของอิมัลชัน จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดไปผสมด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่อุณหภูมิ 105–110°C เป็นเวลา 4–6 ชั่วโมง หรือจนได้อิมัลชันที่มีลักษณะเนื้อเนียนและสม่ำเสมอ ขั้นตอนสุดท้าย ทำการคำนวณค่า HLB (hydrophilic-lipophilic balance) ของอิมัลชันแต่ละสูตร โดยพิจารณาจากค่า HLB ของวัตถุดิบน้ำมันแต่ละชนิด (ค่า HLB ของ core materials = 7.86) และตรวจสอบให้เหมาะสมกับสูตรที่ออกแบบไว้ เพื่อนำไปประเมินผลด้านเสถียรภาพและคุณสมบัติของอิมัลชันในขั้นตอนถัดไปของการทดลอง

4.2 การกำหนดสัดส่วนระหว่างอิมัลซิไฟเออร์สองชนิด (Tween 80 และ Span 80) พิจารณาจากค่า Hydrophilic-lipophilic balance โดยที่ Tween 80 มีค่า HLB สูงประมาณ 15 ซึ่งหมายถึงเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) เหมาะสำหรับการสร้างอิมัลชันน้ำในน้ำมัน (oil-in-water)

emulsion) และ Span 80 มีค่า HLB ต่ำประมาณ 4.3 ซึ่งเป็นตัวที่ชอบน้ำมัน (lipophilic) เหมาะสำหรับอิมัลชันน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsion) สำหรับการกำหนดสัดส่วนระหว่าง Tween 80 กับ Span 80 ในสัดส่วนที่เหมาะสมจะได้ค่า HLB ของส่วนผสมที่ตรงกับค่า HLB ที่ต้องการสำหรับอิมัลชันชนิดนั้น ๆ เพื่อให้ได้อิมัลชันที่มีความเสถียรสูงสุด (Singpanna & Charnvanich, 2021) โดยสูตรเบื้องต้นคำนวณสัดส่วนดังแสดงใน **Table 3.3-3.5**

$$HLB_{mix} = f \times HLB_{\text{Tween 80}} + (1-f) \times HLB_{\text{Span 80}}$$

โดยที่ f คือสัดส่วนของ Tween และ Span 80 ในส่วนผสม (โดยน้ำหนัก)

Table 3.3 Emulsion condition of Lauric acid concentration in core materials more than 40% and evaluation of HLB Value (Hydrophilic-lipophilic balance)

Oil raw material proportion	HLB Oil in raw material	Lauric acid concentration in core materials > 40%							
		90:10	Total HLB	80:20	Total HLB	65:35	Total HLB	50:50	Total HLB
Phyto cannabinoid oil ^{1/}	8	38.00	304.00	38.00	304.00	38.00	304.00	38.00	304.00
Rice bran oil (g)	8	12.00	96.00	12.00	96.00	12.00	96.00	12.00	96.00
Palm oil (g)	8	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00
Soybean oil (g)	8	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00
Lauric acid powder (g)	8	15.00	120.00	15.00	120.00	15.00	120.00	15.00	120.00
Monolaurin powder (g)	5.92	3.00	17.76	3.00	17.76	3.00	17.76	3.00	17.76
Tween 80 (g)	15	13.50	202.50	12.00	180.00	9.45	141.75	7.50	112.50
Span 80 (g)	4.3	1.50	6.45	3.00	12.90	5.25	22.58	7.50	32.25
BHT (g)		1.00		1.00		1.00		1.00	
Total HLB calculated									
Emulsion			8.84		8.67		8.41		8.19
Raw material			7.86		7.86		7.86		7.86

¹ Phytocannabinoid extract oil (hemp leaves) in crude palm kernel oil, hemp leaf to CPKO (12%) ratio, using temperature 105-110 °C, time 4-6 hr. (g).

Table 3.4 Emulsion condition of Lauric acid concentration in core materials is more than 50% and evaluation of HLB Value (Hydrophilic-lipophilic balance)

Oil raw material proportion	HLB Oil in raw material	Lauric acid concentration in core materials > 50%							
		90:10	Total HLB	80:20	Total HLB	65:35	Total HLB	50:50	Total HLB
Phyto cannabinoid oil ^{1/}	8	32.00	256.00	32.00	256.00	32.00	256.00	32.00	256.00
Rice bran oil (g)	8	10.00	80.00	10.00	80.00	10.00	80.00	10.00	80.00
Palm oil (g)	8	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00
Soybean oil (g)	8	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00
Lauric acid powder (g)	8	23.00	184.00	23.00	184.00	23.00	184.00	23.00	184.00
Monolaurin powder (g)	5.92	3.00	17.76	3.00	17.76	3.00	17.76	3.00	17.76
Tween 80 (g)	15	13.50	202.50	12.00	180.00	9.45	141.75	7.50	112.50
Span 80 (g)	4.3	1.50	6.45	3.00	12.90	5.25	22.58	7.50	32.25
BHT (g)		1.00		1.00		1.00		1.00	
Total HLB calculated									
Emulsion			8.84		8.67		8.41		8.19
Raw material			7.88		7.88		7.88		7.88

Table 3.5 Emulsion condition of Lauric acid concentration in core materials more than 60% and evaluation of HLB Value (Hydrophilic-lipophilic balance)

Oil raw material proportion	HLB Oil in raw material	Lauric acid concentration in core materials > 60%							
		90:10	Total HLB	80:20	Total HLB	65:35	Total HLB	50:50	Total HLB
Phyto cannabinoid oil ^{1/}	8	27.00	216.00	27.00	216.00	27.00	216.00	27.00	216.00
Rice bran oil (g)	8	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00
Palm oil (g)	8	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00
Soybean oil (g)	8	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00	8.00	64.00
Lauric acid powder (g)	8	30.00	240.00	30.00	240.00	30.00	240.00	30.00	240.00
Monolaurin powder (g)	5.92	3.00	17.76	3.00	17.76	3.00	17.76	3.00	17.76
Tween 80 (g)	15	13.50	202.50	12.00	180.00	9.45	141.75	7.50	112.50
Span 80 (g)	4.3	1.50	6.45	3.00	12.90	5.25	22.58	7.50	32.25
BHT (g)		1.00		1.00		1.00		1.00	

Oil raw material proportion	HLB Oil in raw material	Lauric acid concentration in core materials > 60%							
		90:10	Total HLB	80:20	Total HLB	65:35	Total HLB	50:50	Total HLB
Total HLB calculated									
Emulsion			8.84		8.67		8.41		8.19
Raw material			7.89		7.89		7.89		7.89

5. ตัวชี้วัด ประเมินความเสถียรภาพ และคุณสมบัติของอิมัลชัน รวมถึงการคัดเลือกสภาวะที่ดีที่สุดเพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไป ประกอบด้วย

5.1 คุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐาน ประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids; TSS), ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ดัชนีการแยกชั้นครีม (creaming index; CI) ดัชนีการตกตะกอน (precipitation index; PI) ความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม (stability against cream separation; SACS) ดัชนีการแยกชั้นน้ำมัน (oiling off Index; OI) ความหนืด (viscosity) สัดส่วนโฟมในอิมัลชัน (foam fraction; FF) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.1 การวัดการแยกชั้นครีม หรือ creaming index (CI) นำอิมัลชันในสภาวะที่กำหนดบรรจุอิมัลชันลงในหลอดทดลอง ขนาด 15 ml วางไว้ในอุณหภูมิห้อง เวลา 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 hr. ทำการวัดความสูงของตะกอนสีขาว และความสูงของอิมัลชันทั้งหมด (มิลลิเมตร) โดยความหนาแน่นของน้ำมันน้อยกว่าน้ำ ระหว่างเก็บรักษาเม็ดไขมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวด้านบนของอิมัลชันเกิดการแยกชั้นส่วนของครีมทึบแสง (cream layer) อยู่ด้านบน ขณะที่ส่วนใส (serum layer) อยู่ด้านล่าง สามารถคำนวณดัชนีการเกิดครีม (creaming index)

$$\text{Creaming index (\%)} = 100 \times (H_s \div H_e) \text{ ----- หน่วย \%}$$

โดยที่ H_s (mm) คือ ความสูงของอิมัลชันส่วนที่ใส

H_e (mm) คือ ความสูงของอิมัลชันทั้งหมด

5.2.2 การวัดปริมาณตะกอน (precipitation index; PI) นำอิมัลชันที่ผสมไปแล้ว เทลงในหลอดทดลอง 15 ml ทันที หลังจากนั้นภายใน 2 ชั่วโมง นำไปวางในน้ำอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านไป 4, 8 และ 12 ชั่วโมง ทำการวัดความสูงของตะกอนสีขาว และความสูงของอิมัลชันทั้งหมด (มิลลิเมตร)

$$PI = 100 \times (H_p \div H_e) \text{ ---- \%}$$

เมื่อ H_p คือ ความสูงของส่วนตะกอน (mm)

H_e คือ ความสูงทั้งหมดของอิมัลชัน เมื่อผ่านไป 12 ชั่วโมง (mm)

5.2.3 การวัดความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม (stability against cream separation; SACS) % (10 ml, ปั่นเหวี่ยง (centrifuge) 3,000 rpm, 5 นาที)

$$\text{SACS} = 100 * (\text{Hs} \div \text{He}) \text{ ---- } \%$$

เมื่อ Hs คือ ความสูงของส่วนใส (mm)

He คือ ความสูงทั้งหมดของอิมัลชันก่อนปั่นเหวี่ยง ณ ชั่วโมงที่ 0 (mm)

5.2.4 การวัดความคงตัวต่อการแยกชั้นน้ำมันแยกชั้นหลังจากปั่นเหวี่ยง (Oiling off index; OI)

$$\text{OI} = 100 * (\text{Ho} \div \text{He}) \text{ ---- } \%$$

เมื่อ Ho คือ เป็นความสูงของส่วนน้ำมัน (mm)

He คือ เป็นความสูงทั้งหมดอิมัลชัน (mm)

5.2.5 ความหนืด (viscosity) DV – E หัววัดหมายเลข 3 กำหนดอุณหภูมิของอิมัลชัน 30 °C ความเร็วรอบ 200 rpm ใช้เวลาวัด 30 วินาที หน่วย cP และ % Torque ซึ่งประเมินศักยภาพของส่วนผสมความหนืด (ซีเมนต์เบอร์ 3)

5.2.6 ค่ากิจกรรมของน้ำอิสระ (Water activity, a_w) นำอิมัลชันที่ผสมไปแล้วภายใน 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง LABSTART-AW มีช่วงระหว่าง 0.1 – 1.0 a_w

5.2.7 การวิเคราะห์เสถียรภาพของอิมัลชัน (Emulsion stability index; ESI) อิมัลชันที่เตรียมเสร็จแล้ว ตั้งทิ้งไว้ระยะเวลา 10 นาที เพื่อเจือจาง 1 ต่อ 25 ส่วน โดยปริมาตร ด้วยสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate; SDS) หรือ Sodium lauryl sulfate ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร หลังจากนั้นวัดการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร ด้วย cuvette ขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นมาตรฐาน

$$\text{ESI} = [T_0 \times \Delta t] \div [T_0 - T_{10}]$$

โดยที่ T_0 = ค่าดูดกลืนแสงที่ 500 nm ที่วัดทันทีหลังจากเตรียมอิมัลชัน

T_{10} = ค่าดูดกลืนแสงที่ 500 nm ที่วัดทันทีหลังตั้งอิมัลชันทิ้งไว้ 10 นาที

Δt = ระยะเวลาที่ตั้งอิมัลชันทิ้งไว้ = 10 นาที

5.2.8 การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsion activity index; EAI) นำอิมัลชันที่เตรียมเสร็จแล้ว ตั้งทิ้งไว้ระยะเวลา 10 นาที เพื่อเจือจาง 1 ต่อ 25 ส่วน โดยปริมาตร ด้วยสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate: SDS) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร หลังจากนั้นวัดการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร ด้วย cuvette

ขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นมาตรฐาน โดยที่ความเข้มข้นของโปรตีนที่ใช้จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสร้างอิมัลชันและความเสถียร

$$EAI (m^2/g) = (2 \times A_{500} \times DF) \div (C \times l \times \phi \times 10^4)$$

โดยที่ A_{500} = ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร (nm) ของอิมัลชันวัดทันทีหลังตั้งอิมัลชันทิ้งไว้ 10 นาที

DF = อัตราการเจือจาง (dilution factor) (25 ส่วน)

C = ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายก่อนการเกิดอิมัลชัน (g/mL) โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของโปรตีน (g/mL) = มวลของโปรตีน/ปริมาตรของสารละลาย mL = $60 \div 500 = 0.12$ g/mL

l = path length ของคิวเวท (10 mm) (Path length 10 mm, Inside width 10 mm, Volume 3.5 mm = $45 \times 12.5 \times 12.5$ mm = 7,031.25)

ϕ = อัตราส่วนของน้ำมันในอิมัลชันทั้งหมด (fraction of oil phase)

10^4 = ค่าคงที่ที่ใช้ในการแปลงหน่วยเพื่อให้ค่า EAI อยู่ในหน่วย m^2/g

5.3 การวิเคราะห์ขั้นสูง ประกอบด้วย (สำหรับสภาวะที่เหมาะสม) วัดขนาดอนุภาค (droplet size), การกระจายตัวของอนุภาค (Polydispersity Index ;PDI), และค่าศักย์ซีตา (zeta potential) ด้วยเครื่อง Laser particle size distribution analyzer) MALVERN Mastersizer 3000

5.4 Microscopic images of oil-in-water emulsions state (magnification 40X; 50 μ m)

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี General Linear Model (GLM) ตามแผนการทดลองแบบ 3x4 แฟกทอเรียล ใน CRD โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 26 เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบ two-way factorial ซึ่งเป็นการทดสอบผลกระทบของปัจจัยทั้งสองและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตามต่าง ๆ $P \leq 0.05$ ในกรณีที่พบความแตกต่าง ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มจะถูกเปรียบเทียบด้วยการทดสอบ Turkey's Honestly Significant Difference (HSD) ตามวิธีของ Steel and Torrie (1992) เพื่อระบุความแตกต่างระหว่างแต่ละคู่ของกลุ่มอย่างชัดเจนและแม่นยำ

การทดลอง 3.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของผงไมโครเอนแคปซูล

1. วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) ที่เหมาะสมที่สุดจากปัจจัยความเข้มข้นของกรดลอริก และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (inlet air temperature) ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงไมโครเอนแคปซูลที่ได้จากอิมัลชันสภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลอง 3.1

2. วางแผนการทดลองแบบ factorial ขนาด 2x2 ใน Completely Randomized Design (CRD) โดยใช้อิมีลชันที่สภาวะเหมาะสมที่สุด lauric acid 40% และ 50%, Tween80: Span80 (80:20) มีปัจจัยที่ศึกษาดังนี้

ปัจจัย A คือ อิมีลชัน Lauric acid concentration in core materials (Oil) กำหนดให้มี 2 ระดับ A1 คือ 40% และ A2 คือ 50% ภายใต้ Ratio between Tween 80 and Span 80 (%) ที่เหมาะสม 80:20

ปัจจัย B คือ อุณหภูมิลมร้อนที่เข้า (Inlet air temperature) ความเร็วที่ใช้สำหรับป้อนเข้าเครื่อง Spray drier หรือ เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จำนวน 2 ระดับ B1 คือ 190°C และ B2 คือ 220°C

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

โดยที่

Y_{ijk} คือ ค่าการวัดหรือผลลัพธ์สำหรับแฟกเตอร์ A ในระดับที่ i (40% หรือ 50%) และแฟกเตอร์ B ในระดับที่ j (อุณหภูมิลมร้อน 190°C หรือ 220°C) ในการทำซ้ำครั้งที่ k

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของประชากรทั้งหมด

A_i คือ ผลของแฟกเตอร์ A ที่ระดับ i ได้แก่ สัดส่วนความเข้มข้นกรดลอริกใน core materials (40% และ 50%) โดยอยู่ภายใต้สัดส่วน Tween80 และ Span80 ที่เหมาะสม 80:20

B_j คือ ผลของแฟกเตอร์ B ที่ระดับ j ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนที่เข้าเครื่อง Spray drier (190°C และ 220°C)

$(AB)_{ij}$ คือ ผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างแฟกเตอร์ A และ B ระดับ i และ j

ϵ_{ijk} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง

3. ตัวชี้วัดประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงไมโครเอนแคปซูลในด้านต่างๆ ประกอบด้วย

3.1 ประสิทธิภาพกระบวนการ ประกอบด้วย ผลผลิต (spray drying yield) และประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (encapsulation efficiency)

3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของผง ประกอบด้วย ความชื้น, water activity (a_w) ความหนาแน่น (bulk & tapped density) ดัชนีการอัดตัวของผง (compressibility ratio) ความสามารถในการดูดความชื้น (hygroscopicity) และความสามารถในการละลาย (solubility)

3.3 คุณสมบัติทางเคมี ประกอบด้วย องค์ประกอบทางเคมี (โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต) ปริมาณกรดไขมันชนิดต่างๆ และค่าพลังงาน



Figure 3.4 Ingredients diagram for microencapsulation powder preparation

3.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (FESEM) ยี่ห้อ ThermoFisher รุ่น Apero 5 ที่กำลังขนาด 500x, 1,000x และ 5,000x **Figure3.4**

4. ขั้นตอนการทดลอง

4.1 ใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ชนิด Fluidized Bed Spray Drying รุ่น SD-5L-FB ขนาดอัตราการระเหยน้ำ 5 ลิตรต่อชั่วโมง

4.2 ส่วนผสมอิมัลชันที่เหมาะสมของการทดลอง 3.2 ที่มีสภาวะคงตัวในสภาพของเหลว เพื่อทำแห้งแบบพ่นฝอยจากของเหลวกลายเป็นผง ด้วยการฉีดพ่นวัตถุดิบที่เป็นของเหลวเข้าไปภายในถังอบแห้ง (drying chamber) เพื่อระเหยน้ำออกและให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงแห้งตามต้องการ

4.3 กำหนดช่วงประสิทธิภาพสูงสุดในการระเหยน้ำ 4-5 ลิตรต่อชั่วโมง ณ อุณหภูมิลมร้อนที่เข้า (Inlet air temperature) 2 ระดับ 190, และ 220°C และกำหนดอุณหภูมิลมร้อนที่ออก (Outlet air temperature) 75-90°C

4.4 spray gas ช่วง 800-1,000 (ลิตร/ชั่วโมง) หรือ เกจวัดความดันและระบบวาล์วปรับความดันพร้อมชุดแยกน้ำและน้ำมันออกจากลมตามศักยภาพของเครื่อง

4.5 ปั๊มลำเลียง (Feed Pump) ใช้ป้อนของเหลวเข้าสู่ระบบหัวฉีดพ่นฝอย ด้วยอัตรา 6 และ 12 มิลลิลิตรต่อนาที และกำหนดจังหวะการดันหัวสเปร์ย 2-3 ครั้งต่อนาที เพื่อลดการอุดตัน

4.6 ระบบพ่นฝอย (Atomizer System) ใช้ชุดหัวฉีดแบบ Two-Fluid Nozzle System มีขนาดที่เหมาะสมมีขนาดที่สามารถพ่นฝอย

4.7 กำหนดการทำงานของชุดค้อนลม (Air hammer) ติดตั้งค้อนลม ทุกๆ 15 นาที เพื่อเคาะให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายซึ่งอาจปนเปื้อนหรือตกค้างหลุดออกไป และสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้ในประสิทธิภาพและปริมาณสูงสุด

4.8 กำหนดความเร็วที่เหมาะสมของพัดลมเป่าอากาศ เพื่อกำหนดออกซิเจน เข้า-ออก ภายในถัง โดยประมาณ 5-6%

4.9 การประเมินประสิทธิภาพการห่อหุ้มดำเนินการโดยการเตรียมตัวอย่างผงไมโครเอนแคปซูเลชันที่ได้จากกระบวนการผลิตในน้ำหนัก 1.5 กรัม จากนั้นทำการวัดปริมาณไขมันที่ไม่ถูกห่อหุ้ม (surface fat) โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายเพื่อละลายไขมันผิวของผงในตู้ดูดควัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างผงไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นระยะเวลา 2-4 ชั่วโมง เพื่อให้เฮกเซนระเหยออกจนหมด แล้วทำการชั่งน้ำหนักผงที่เหลือในขวดแก้ว คำนวณปริมาณ surface fat จากน้ำหนักที่เหลือ ต่อน้ำหนักผงไมโครเอนแคปซูเลชันเริ่มต้น โดยใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการคำนวณหาค่า%ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (% Encapsulation Efficiency; %EE) ตามสูตร $\%EE = 100 - ((W_{total} - W_{surface}) \div W_{total}) \times 100$ ซึ่งแสดงถึงสัดส่วนไขมันที่ถูกห่อหุ้มอย่างมีประสิทธิภาพ (3 ซ้ำ) (Ballesteros et al., 2017)

4.10 คำนวณประสิทธิภาพการผลิต (Spray drying yield; SDY) คือ น้ำหนักผงแห้ง หลังจากการกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย / น้ำหนักของสารแขวนลอยเริ่มต้นที่ป้อนสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.11 ชั่งน้ำหนักผงไมโครเอนแคปซูเลชัน จากนั้นคำนวณอัตราการไหลของของไหล (feed flow rate) หรือ ความเร็วปั๊มลำเลียง (Feed Pump) โดยคำนวณจากของน้ำหนักของเหลว (อิมัลชัน) ที่ป้อนเข้าระบบต่อระยะเวลาที่ใช้สำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.12 นำผงไมโครเอนแคปซูเลชันที่ได้ตรวจสอบกิจกรรมของน้ำอิสระ (Water activity, a_w) (3 ซ้ำ)

4.13 ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี และกรดไขมัน ของผงไมโครเอนแคปซูเลชัน

4.14 ความหนาแน่นของผง (bulk density) ชั่งผงไมโครเอนแคปซูเลชัน 50 กรัม บรรจุลงในกระบอกตวงขนาด 100 ml (3 ซ้ำ)

ความหนาแน่นของผง เท่ากับ น้ำหนักของตัวอย่าง (g) ÷ ปริมาตรของตัวอย่าง (ml)

4.15 ความหนาแน่นของผงที่มีการเคาะ (tapped density) คำนวณจาก ความหนาแน่นของผง เท่ากับ น้ำหนักของตัวอย่าง (g) ÷ ปริมาตรของตัวอย่าง (ml) หลังจากการเคาะจำนวน 10 ครั้ง กำหนดระยะห่างของการเคาะจากพื้น 20 เซนติเมตร (3 ซ้ำ)

4.16 ดัชนีการอัดตัวของผง (compressibility ratio; %) เท่ากับ (tapped density - bulk density) ÷ tapped density × 100 (3 ซ้ำ)

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี General linear model (GLM) ตามแผนการทดลองแบบ 2x2 แฟกทอเรียล ใน CRD โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 26 เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบ two-way factorial ซึ่งเป็นการทดสอบผลกระทบของปัจจัยทั้งสองและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตามต่าง ๆ $P \leq 0.05$ ในกรณีที่พบความแตกต่าง ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มจะถูกเปรียบเทียบด้วยการทดสอบ Turkey's honestly significant difference (HSD) ตามวิธีของ Steel and Torrie (1992) เพื่อระบุความแตกต่างระหว่างแต่ละคู่ของกลุ่มอย่างชัดเจนและแม่นยำ

การทดลอง 3.3 การศึกษาปัจจัย และสภาวะการละลายน้ำของผงไมโครเอนแคปซูล

1. วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินคุณภาพการคืนรูปเป็นอิมัลชันของผงไมโครเอนแคปซูลเมื่อนำมาละลายน้ำ และเพื่อศึกษาผลของสัดส่วนการละลายต่อเสถียรภาพของอิมัลชันที่ได้
2. ขอบเขตการทดลอง นำผงไมโครเอนแคปซูลที่ได้จากสภาวะการทำแห้งที่ดีที่สุด (จากการทดลอง 3.2) มาศึกษาคุณสมบัติการละลายน้ำ โดยมีปัจจัยที่ศึกษาดังนี้ ปัจจัยอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ละลาย กำหนด 3 ระดับ คือ 70, 80 และ 90°C และสัดส่วนระหว่างผงไมโครเอนแคปซูลต่อน้ำที่ใช้ในการละลาย หรือ (ผงต่อน้ำ) กำหนด 3 ระดับ 1:0.75, 1:1, 1:1.5
3. การวางแผนการทดลอง กำหนดวางแผนการทดลองแบบ factorial ขนาด 3x3 ภายใต้ Completely Randomized Design (CRD) ของผงไมโครเอนแคปซูล 4 สูตรดังนี้
 - 3.1 ผงไมโครเอนแคปซูล ความเข้มข้นกรดลوريค 40% ใช้อุณหภูมิ Inlet Tm 190°C
 - 3.2 ผงไมโครเอนแคปซูล ความเข้มข้นกรดลوريค 40% ใช้อุณหภูมิ Inlet Tm 220°C
 - 3.3 ผงไมโครเอนแคปซูล ความเข้มข้นกรดลوريค 50% ใช้อุณหภูมิ Inlet Tm 190°C
 - 3.4 ผงไมโครเอนแคปซูล ความเข้มข้นกรดลوريค 50% ใช้อุณหภูมิ Inlet Tm 220°C

ปัจจัยในการศึกษา

ปัจจัย A คือ อุณหภูมิของน้ำใช้ละลายผงไมโครเอนแคปซูล กำหนดให้มี 3 ระดับ A1 คือ 70°C A2 คือ 80°C และ 90°C

ปัจจัย B คือ สัดส่วนผงต่อน้ำร้อน จำนวน 3 ระดับ B1 คือ 1:0.75 B2 คือ 1:1 และ B3 คือ 1:1.5

สมการตัวแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Completely Randomized Factorial Design) ขนาด 3x3 สำหรับกรณีที่มีปัจจัยทั้งสอง คือ

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

โดยที่

Y_{ijk} คือ ค่าการวัดหรือผลลัพธ์ที่ได้จากแฟกเตอร์ A ในระดับ i, แฟกเตอร์ B ในระดับ j และการทำซ้ำครั้งที่ k

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของประชากรทั้งหมด

A_i คือ ผลของแฟกเตอร์ A ที่ระดับ i ซึ่งในที่นี้คืออุณหภูมิของน้ำใช้ละลายผงไมโครเอนแคปซูล มี 3 ระดับ คือ $A_1=70^{\circ}\text{C}$, $A_2=80^{\circ}\text{C}$, และ $A_3=90^{\circ}\text{C}$

B_j คือ ผลของแฟกเตอร์ B ที่ระดับ j ซึ่งคือ สัดส่วนผงต่อน้ำร้อน มี 3 ระดับ คือ $B_1=1:0.75$, $B_2=1:1$, และ $B_3=1:1.5$

$(AB)_{ij}$ คือ ผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างแฟกเตอร์ A และ B ที่ระดับ i และ j

E_{ijk} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มที่เกิดขึ้นในแต่ละหน่วยทดลอง

4. ขั้นตอนการทดลอง

การศึกษาความสามารถในการละลายของผงไมโครเอนแคปซูล (Solubility of microencapsulated powder) โดยชั่งตัวอย่างผงไมโครเอนแคปซูล 4 สภาวะ เพื่อศึกษาความสามารถในการละลายน้ำ กำหนดสัดส่วนผงต่อน้ำอุ่น จำนวน 3 ระดับ (ผสมในภาชนะที่มีฝาปิด ขนาด 25 ml) สัดส่วน 1:0.75, 1:1, 1:1.5 และใช้น้ำที่อุณหภูมิต่างกัน 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ละลายผงไมโครเอนแคปซูลตามสัดส่วนของน้ำในภาชนะที่มีฝาปิดทำการเขย่าให้เข้ากัน 3 นาที (3 ซ้ำ) เมื่อจัดสัดส่วนตามตัวชี้วัดแล้ว นำส่วนผสมทั้งหมด (รวมตะกอนและน้ำ) ไปอบที่ 105°C จนน้ำระเหยหมด ทำการชั่งน้ำหนักน้ำมันเหลือ ซึ่งน้ำหนักที่ได้คือน้ำมันที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อถูกหักออกจากน้ำหนักภาชนะเริ่มต้น (น้ำหนักไขมันอิสระ + ไขมันที่รั่วจากไมโครเอนแคปซูล) แปลงขั้นตอนจาก (Domian and Wasak 2008; Kaushik et al. 2015; Tonon, Grosso, and Hubinger 2011)

$$\text{Solubility}(\%) = \left[\frac{\text{Weight of emulsion from water solubility ratio} - \text{Weight after drying (water-insoluble oil)}}{\text{Weight of emulsion from water solubility ratio}} \right] \times 100;$$

4.1 สัดส่วนของอิมัลชันขึ้นหลังจากการละลายน้ำ (Turbid emulsion ratio, TER); $\text{TER} = \left(\frac{\text{ความสูงชั้นอิมัลชันขึ้น}}{\text{ความสูงรวมของของเหลว}} \right) \times 100;$ %

4.2 สัดส่วนน้ำมันที่ลอยอยู่ผิวน้ำ (Surface oil layer ratio, SOLR); $\text{SOLR} = \left(\frac{\text{ความสูงชั้นน้ำมัน}}{\text{ความสูงรวมของของเหลว}} \right) \times 100;$ %

4.3 สัดส่วนน้ำมันที่ไม่ละลายน้ำต่ออิมัลชันทั้งหมด (Water-Insoluble Oil to Total Emulsion Ratio, WIOTER); $\text{WIOTER} = \left(\frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่เหลือหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักอิมัลชันเริ่มต้น}} \right) \times 100;$ %

4.4 การคำนวณสัดส่วนการละลายน้ำของผงไมโครเอนแคปซูล (Water-Soluble Powder Ratio, WSPR) เมื่อนำ 100 ลบด้วยค่า WIOTER (%)

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี General Linear Model (GLM) ตามแผนการทดลองแบบ 3x3 factorial ในระบบการทดลองดีไซน์แบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 26 เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบ two-way factorial ซึ่งเป็นการทดสอบผลกระทบของปัจจัยทั้งสองและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตามต่าง ๆ ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ผลลัพธ์จะถูกพิจารณาจากค่า p-value หากค่า p-value น้อยกว่า 0.05 ถือว่าปัจจัยหรือปฏิสัมพันธ์นั้นมีผลที่มีนัยสำคัญ ในกรณีที่พบความแตกต่าง ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มจะถูกเปรียบเทียบด้วยการทดสอบ Turkey's Honestly Significant Difference (HSD) ตามวิธีของ Steel and Torrie (1992) เพื่อระบุความแตกต่างระหว่างแต่ละคู่ของกลุ่มอย่างชัดเจนและแม่นยำ

3.4 การทดลองที่ 4 ผลของอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูลกรดไขมันสายกลางเข้มข้นร่วมกับสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอริน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมี ปฏิกริยารีดอกซ์ และจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรช่วงตอนนม

4.1 อุปกรณ์

- 1) อุปกรณ์ผสมผงไมโครเอนแคปซูล (ภาชนะเขย่าพร้อมลูกบอลตะแกรงสปริง)
- 2) หัวปั๊มสำหรับป้อนน้ำหรืออิมัลชัน (3 ครั้ง ต่อ 3.5 ml)
- 3) น้ำ RO ผ่านฆ่าเชื้อ
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับสุกร (เพื่อชั่งน้ำหนักลูกสุกรหลายช่วงอายุ)
- 5) เครื่องวัดความหนาไขมันสันหลัง A-mode ultrasonography (Renco lean meter®) สำหรับวัด Backfat thickness
- 6) เครื่องไมโครเพลตรีดเดอร์ (Microplate Reader) สำหรับตรวจวัดปฏิกิริยาสีของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น SOD, GPX, MDA
- 7) เข็มเจาะเลือดเบอร์ 18 ขนาด 1.5 นิ้ว สำหรับเจาะเลือดตำแหน่งหลอดเลือดดำ (cranial vena cava)
- 8) หลอดเก็บเลือดชนิด EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid) ที่มีความเข้มข้น 1.6 mg EDTA ต่อ ml ของเลือด
- 9) หลอดเก็บเลือดแบบ Cot (Clot Tube) ใช้สำหรับเก็บเลือดที่ต้องการให้เลือดแข็งตัว
- 10) เครื่องปั่นเหวี่ยงเลือด (Centrifuge)

- 11) ตู้แช่เย็น 4-8 องศาเซลเซียสและตู้แช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส สำหรับเก็บเลือดและพลาสมา
- 12) กล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR C5 สำหรับวัดอุณหภูมิร่างกายลูกสุกร
- 13) ก้านสว็อบมูลสุกรจากทวาร (Isohelix Swab Formats; SK-3S) และหลอดเซนต์ปีแยร์ ขนาด 2 ml สำหรับเก็บตัวอย่าง
- 14) เครื่อง NanoDrop™ 2000 Spectrophotometer สำหรับวัดความเข้มข้น DNA
- 15) เครื่อง PCR Thermal Cycler (Bio-Rad C1000™) สำหรับทำปฏิกิริยา PCR
- 16) อุปกรณ์ทำเจลอิเล็กโตรโฟรีซิส (Gel electrophoresis apparatus) สำหรับตรวจสอบคุณภาพ DNA

4.2 สารเคมี

- 1) IRON Dextran Injection สำหรับฉีดเสริมธาตุเหล็กหลังเจาะเลือด
- 2) ชุดตรวจการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ SOD, GPX และ MDA
- 3) วัสดุสำหรับ PCR ได้แก่ น้ำยา, ไพรมเมอร์จำเพาะ (V3-V4 16S rRNA primers)

4.3 วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูล MPL และ EPML เปรียบเทียบกับกลุ่ม CTR ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมี ปฏิกริยารีดอกซ์ และจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรช่วงดูนัม

4.4 ขอบเขตการทดลอง ทำการทดลอง ณ บุญมีฟาร์ม จังหวัดอุดรธานี ใช้ลูกสุกรแรกเกิดสายพันธุ์ (Landrace × Landrace × Duroc) จำนวน 850 ตัว เป็นหน่วยผลิตแม่พันธุ์เพื่อการผลิตเชิงอุตสาหกรรม (parent stock, PS) จำนวน 63 ตัว โดยแบ่งลูกสุกรออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละประมาณ 21 ตัว ตัว โดยเลือกแม่สุกรจากลำดับท้อง ความหนาไขมันสันหลัง น้ำหนักแม่สุกร และกำหนดคลอดที่ใกล้เคียงกัน ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) เพื่อประเมินประสิทธิภาพ กลุ่มควบคุม (CTR) ประกอบด้วยลูกสุกรจำนวน 286 ตัว ซึ่งทำการป้อนน้ำ RO ที่ผ่านการฆ่าเชื้อเพื่อใช้เป็นสารควบคุม และกลุ่มทดลองที่ได้รับการป้อนอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูลกรดไขมันสายกลาง 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม MPL ลูกสุกรได้รับการป้อนอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูลกรดไขมันสายกลางเข้มข้นที่มีส่วนผสมสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ จำนวนลูกสุกร 281 ตัว และ กลุ่ม MPLM ได้รับอิมัลชัน MPL เสริมโมโนลอริน จำนวนลูกสุกร 283 ตัว ทำการป้อนเข้าทางปากทั้งสามครั้งตลอดการทดลอง ครั้งละ 3.5 ml ดังแสดง **Figure 3.5**

4.5 ตัวชี้วัด ประกอบด้วย สมรรถภาพการเจริญเติบโต อัตราการเกิดท้องเสีย ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือด ระดับภูมิคุ้มกัน (IgA, IgM, IgG) ปฏิกริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) จุลินทรีย์ในลำไส้ (Gut Microbiome) และอุณหภูมิร่างกาย

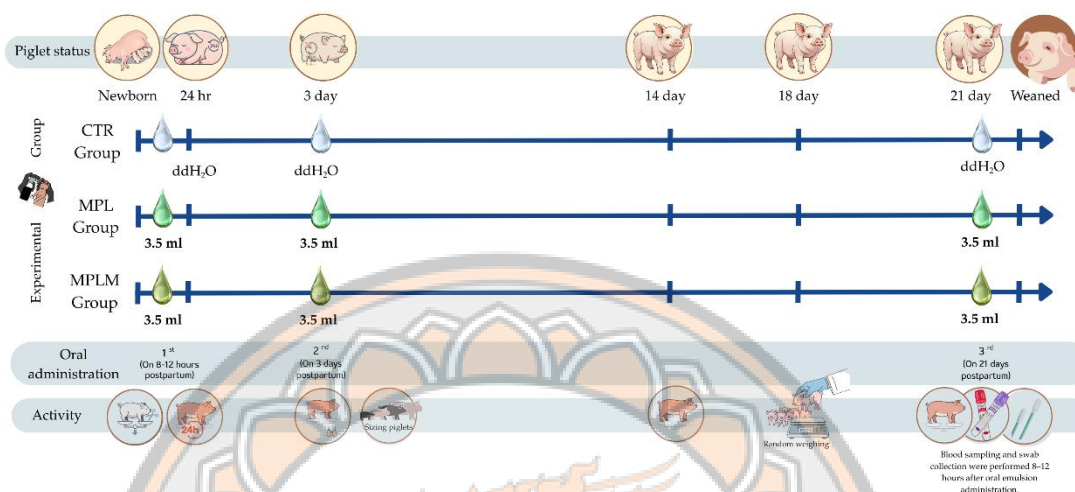


Figure 3.5 Diagram showing the design of experiment 4

4.6 ขั้นตอนการทดลอง

4.6.1 ทำการเตรียมผงไมโครเอนแคปซูลทั้ง 2 ชนิด โดยมีความเข้มข้นกรดลิกในวัสดุแกนกลาง 50% ใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีอุณหภูมิเข้า 200 °C และอุณหภูมิออก 90 °C ซึ่งเป็นไปตามข้อสรุปจากการทดลองที่ 3 หลังจากนั้นนำผงไมโครเอนแคปซูลมาผสมกับน้ำที่มีอุณหภูมิ 70°C ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยผสมในภาชนะเขย่าที่มีลูกบอลตะแกรงสปริง ใช้เวลาเขย่าประมาณ 1 นาที เพื่อให้ผงกระจายตัวและละลายอย่างสมบูรณ์

4.6.2 กลุ่มควบคุมทำการป้อนน้ำ RO (CTR) และกลุ่มทดลองป้อน MPL และ EPML ในสภาวะอุ่น 28-30 °C ปริมาณ 3.5 ml ต่อครั้ง จำนวน 3 ครั้ง

4.6.3 จำนวนครั้งสำหรับการป้อนเข้าทางปากลูกสุกร ครั้งที่ 1 ภายใน 12-24 ชั่วโมงหลังคลอด ครั้งที่ 2 ในวันที่ 3 หลังคลอด และครั้งที่ 3 วันที่ 21 หลังคลอด หรือก่อนหย่านม 8-12 ชั่วโมง

4.6.4 แม่สุกรทุกตัว และทุกกลุ่ม ฟาร์มมีโปรแกรมได้รับวัคซีนป้องกันโรคท้องเสีย มีชื่อทางการค้า เอนเทอริโคลิกซ์ อีมีล อินี (ENTERICOLIX®) ปริมาณ 2 มิลลิลิตรต่อตัว ในแม่สุกรก่อนคลอด 2 สัปดาห์ และลูกสุกรอายุ 14 วัน

4.6.5 เลือกแม่สุกรจำนวน 63 แม่ จำนวน 3 กลุ่มการทดลอง กลุ่มทดลองละ 21 ตัว โดยกำหนดความสม่ำเสมอของแม่สุกรภายในกลุ่มทดลอง ดังนี้ 1) ช่วงลำดับท้อง 1 จำนวน 8 ตัว ช่วงลำดับท้อง 2-5 จำนวน 8 ตัว และ ลำดับท้อง 6-8 จำนวน 5 ตัว 2) น้ำหนักแม่สุกรก่อนคลอด 3 วัน ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแม่สุกรต่อกลุ่ม ± 10 กก. 3) กำหนดคลอดของแม่สุกรใกล้เคียงกัน ± 5 วัน 4) ความหนาไขมันสันหลังของแม่สุกร (Backfat Thickness) การวัดที่ตำแหน่งซี่โครงคู่ที่ 10 ตำแหน่ง P2 โดยใช้เครื่อง A-

mode ultrasonography (Renco lean meter[®], minneapolis, MN, USA) บันทึกน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดทุกตัว เพื่อเลือกสุกรที่มีน้ำหนัก 4 ช่วง ดังนี้ < 0.99 (WT1) 1.00 – 1.20 (WT2) 1.21 – 1.41 (WT3) และ > 1.42 (WT4) กก. ทำสัญลักษณ์บนตัวลูกสุกรด้วย นีโอเทปขนาด 2 นิ้ว ภายใน 24 ชม. และตรวจเช็คป้ายบนตัวลูกสุกรให้คงอยู่ตลอด 21 วัน

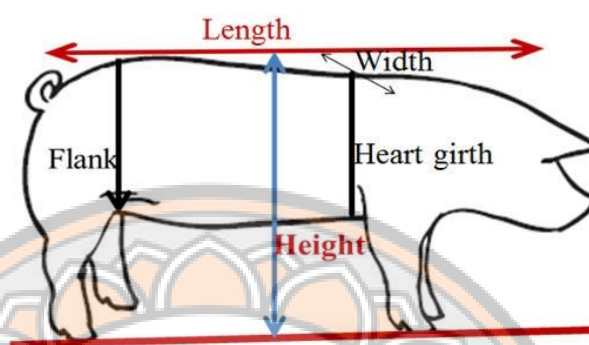


Figure 3.6 Calculation of pig weight mass (kg)

น้ำหนักสุกร (กก.) เท่ากับ $-80.261 + 0.251(\text{ความยาวลำตัว(ซม.)}) + 1.024(\text{ความสูงลำตัว(ซม.)}) + 1.016(\text{ความยาวรอบอก(ซม.)})$ (Walugembe et al., 2014)

4.6.6 บันทึกน้ำหนักลูกสุกร จำนวน 5 ครั้ง (ครั้งที่ 1 ลูกสุกรคลอดใหม่ ครั้งที่ 2 หลังคลอด 24 ชม. ครั้งที่ 3 วันที่ 3 หลังคลอด ครั้งที่ 4 วันที่ 14 หลังคลอด และครั้งที่ 5 ก่อนหย่านม 1 วัน หรือ 19-21 วันหลังคลอด) และบันทึกสาเหตุการตายของลูกสุกรหลังคลอด อัตราการเจริญเติบโต (average daily gain; ADG) และ ประสิทธิภาพการผลิตในหน่วยคลอดแต่ละกลุ่มน้ำหนัก และช่วงอายุ 24 ชั่วโมง 3, 14 และ 21 วันหลังคลอด เช่น ปริมาณนมที่ลูกสุกรได้รับ (colostrum intake; CI) และ น้ำนมที่ลูกสุกรได้รับ (milk intake; MI)

สูตรคำนวณปริมาณนมที่ลูกสุกรได้รับ (colostrum intake; CI) (g/d) = $-217.4 + 0.217t + 1,861,019BW_{24/t} + BW_B \times (54.80 - 1,861,019/t) \times (0.9985 - 3.7 \times 10^{-4}tFS) + (6.1 \times 10^{-7}tFS^2)$

เมื่อ t = เวลา (นาทิจ) ที่ผ่านไประหว่างซังน้ำหนักครั้งแรกและครั้งที่สอง (ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาของการได้รับนมที่เหลือง)

$BW_{24/t}$ = น้ำหนักที่ 24 ชม (kg)

BW_B = น้ำหนักแรกคลอด (kg)

tFS = ช่วงเวลาระหว่างการคลอดและการดูดนมครั้งแรก (นาทิจ)

สูตรคำนวณปริมาณน้ำนมที่ลูกสุกรได้รับ (milk intake; MI) (g/d) = milk required for maintaining live weight + $1.168 \times \text{Gain} + 0.00425 \times \text{Gain}^2$

เมื่อ milk required for maintaining live weight

317 g/d week 1 (day 3 to 5)

531 g/d week 2 (day 10 to 12)

582 g/d week 3 (day 17 to 19)

gain คือ อัตราการเจริญเติบโต (กรัม)

4.6.7 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างเลือดลูกสุกร เมื่อลูกสุกรอายุครบ 18 วัน ทำการสุมซัง น้ำหนัก เพื่อสุมเลือกลูกสุกรช่วงน้ำหนักที่เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงน้ำหนักแรกคลอด และวันที่ 21 เลือกลูกสุกรคละเพศเก็บตัวอย่างเลือดหลังจากป้อนสิ่งทดลองภายใน 8-12 ชั่วโมง กำหนดเลือกลูกสุกรน้ำหนัก 5.0-6.0 กก. สุมเลือกสุกรกลุ่มละ และช่วงน้ำหนักละ 2 ตัว (คละเพศ เพศเมีย 1 ตัว และ เพศผู้ 1 ตัว ต่อช่วงน้ำหนัก) หรือ 24 ตัว (2 ตัว $\times$ 4 ช่วงน้ำหนัก $\times$ 3 ทริทเมนต์) เก็บตัวอย่างเลือด ด้วยการเจาะเลือดจับบังคับปลุกสุกรในท่านอนหงาย ใช้เข็มเจาะเลือดด้วยเข็มเบอร์ 18 ขนาด 1.5 นิ้ว ประมาณ 4.5 ml จากตำแหน่งหลอดเลือดดำ (cranial vena cava) แบ่งเลือดเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 ปริมาณ 2.0 ml ใส่ในหลอด EDTA (1.6 mg EDTA/ml blood) เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด รักษาอุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียสขณะขนส่ง/เคลื่อนย้าย หลังจากนั้นปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 2,500 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 10 นาที นำส่วนของพลาสมาแยกไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และภายใน 24 ชั่วโมง ย้ายไปแช่ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นำเพื่อไปตรวจความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (complete blood count, CBC)

ส่วนที่ 2 ปริมาณ 2.5 ml ใส่ในหลอดเก็บเลือด (COT) เพื่อไปตรวจปริมาณอัลบูมิน (albumin) และโกลบูลิน (globulin) หลังจากเจาะเลือดเสร็จดำเนินการฉีดธาตุเหล็ก (IRON dextran injection) เพื่อลดสถานะซีด และเพิ่มการฟื้นตัวหลังจากเจาะเลือด

4.6.8 สุมเลือกสุกรของแต่ละกลุ่มช่วงน้ำหนักละ 3 ตัว (เพศเมีย 3 ตัว) หรือ 36 ตัว (3 ตัว $\times$ 4 ช่วงน้ำหนัก $\times$ 3 ทริทเมนต์) เก็บตัวอย่างเลือดด้วยการเจาะเลือดจับบังคับปลุกสุกรในท่านอนหงาย ใช้เข็มเจาะเลือดด้วยเข็มเบอร์ 18 ขนาด 1.5 นิ้ว ประมาณ 6 ml จากตำแหน่งหลอดเลือดดำ ใส่ในหลอด EDTA (1.6 mg EDTA/ml blood) เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด แบ่งเป็น 3 หลอด หลอดละ 2 ml รักษาอุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส โดยขณะขนส่ง/เคลื่อนย้าย สำหรับลูกสุกรหลังจากเจาะเลือดเสร็จดำเนินการฉีดธาตุเหล็ก (IRON Dextran injection) เพื่อลดสถานะซีด และเพิ่มการฟื้นตัวหลังจากเจาะเลือด เลือดที่ได้มานั้นนำไปปั่นเหวี่ยงเลือด ที่ความเร็วรอบ 2,500 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 10 นาที นำส่วนของพลาสมาแยกไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และภายใน 24 ชั่วโมง ย้ายไปแช่ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อการวิเคราะห์ระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity measurement) ในพลาสมา ประกอบด้วย SOD, GPX, MDA ด้วยวิธีการ

ตรวจสอบสีของตามปฏิกิริยาด้วยด้วยเครื่องไมโครเพลตรีดเดอร์ (Microplate Rader) (Liu et al., 2023) โดยใช้ cayman chemical assay (Marin et al., 2020; Pistol et al., 2023, 2024)

4.6.9 สุ่มเลือกสุกรของแต่ละกลุ่มช่วงน้ำหนักละ 2 ตัว (คละเพศ เพศเมีย 1 เพศผู้ 1) หรือ 24 ตัว (2 ตัว $\times$ 4 ช่วงน้ำหนัก $\times$ 3 ทริทเมนต์) เก็บตัวอย่างเลือดด้วยการเจาะเลือดจับบังคับลูกสุกรในท่านอนหงาย ใช้เข็มเจาะเลือดด้วยเข็มเบอร์ 18 ขนาด 1.5 นิ้ว ประมาณ 2.5 ml จากตำแหน่งหลอดเลือดดำ ใสในหลอดเก็บเลือด (Cot) รักษาอุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียสขณะขนส่ง/เคลื่อนย้าย หลังจากเจาะเลือดเสร็จดำเนินการฉีดยาธาตุเหล็ก (IRON Dextran injection) เพื่อลดสถานะซีด และเพิ่มการฟื้นตัวหลังจากเจาะเลือด เลือดที่ได้มานั้นนำไปปั่นเหวี่ยงเลือด ที่ความเร็วรอบ 2,500 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 10 นาที นำส่วนของพลาสมาแยกไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และภายใน 24 ชั่วโมง ย้ายไปแช่ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อส่งตรวจวิเคราะห์ IgA IgM และ IgG โดยวิธี Immunoturbidimetric assay (Cabrera et al., 2012; Logan Health Laboratories Test Catalog, 2024)

4.6.10 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากภาพรังสีความร้อนของร่างกายลูกสุกร ตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR C5 แบบพกพา (Serial Number: 894102993) วิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Thermal Imaging Image Analysis Software และถ่ายด้วยรูปชุดชั่งน้ำหนัก และกล้องถ่ายรูปปลอดแสงจากภายนอก



Figure 3.7 FLIR C5 camera and camera accessories



Figure 3.8 Weighing scale and photo box with no external light

การถ่ายภาพรูปลูกรดำเนินการหาค่าความคลาดเคลื่อน (emissivity; e) ของอุณหภูมิของผิวหนังของสุกรแต่ละตำแหน่ง และแต่ละอายุของสุกร กำหนดระยะห่างจากกล้อง FLIR ห่างจากตำแหน่งลำตัว 70 เซนติเมตร และติดเทปไวโอล (3M) ขนาดยาว 2 ซม บนตำแหน่งร่างกาย 5 ตำแหน่งสำหรับลูกร โดยหลังติดรอประมาณ 5 นาที 1) เบ้าตา (ocular) 2) จมูก (nose) ติดบริเวณหน้าจมูก 3) ลำตัว (body) ตำแหน่ง P2 หรือซี่โครงซี่สุดท้าย 4) บริเวณอัณฑะ (Testicles) อ่านค่าอุณหภูมิบนเทป และผิวหนังด้านข้างซ้ายขวา ตามตำแหน่งบนร่างกายที่กำหนดไว้ นำค่าอุณหภูมิบนผิวหนังทั้ง 5 จุด คำนวณด้วยสมการ

$$E_{\text{บนผิวหนัง}} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวหนังตามตำแหน่งที่กำหนด (°C) (a)}}{\text{อุณหภูมิเทปไวโอล (°C) (b) \times e_{\text{เทปไวโอล}}}}$$



Figure 3.9 Shows the placement of five black tape markers on piglets at the following positions: 1) Ocular (eye socket) 2) Nose (on the front of the snout) 3) Body (at the P2 position, which corresponds to the last rib) 4) Testicles area

4.6.11 การวิเคราะห์ทางสถิติ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 4 ถูกวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) วางแผนงานทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD)

สมการตัวแบบสำหรับการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ที่มี 3 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ ควบคุม (CTR), กลุ่ม MPL และกลุ่ม MPLM สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

โดยที่

Y_{ij} คือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกลุ่มการทดลองที่ i และการทำซ้ำครั้งที่ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของประชากรทั้งหมด

T_i คือ ผลของกลุ่มการทดลองที่ i ซึ่งมี 3 ระดับ คือ

$i=1$ สำหรับกลุ่มควบคุม (CTR)

$i=2$ สำหรับกลุ่ม MPL

$i=3$ สำหรับกลุ่ม MPLM

ϵ_{ij} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มที่เกิดขึ้นในแต่ละหน่วยทดลอง

ใช้โปรแกรมสถิติ SPSS 26 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลอง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม (CTR) กลุ่ม MPL และกลุ่ม MPLM โดยใช้ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 เป็นเกณฑ์ตัดสิน สำหรับข้อมูลที่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ เช่น สมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมี ระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (T-SOD, GPX, MDA) และระดับภูมิคุ้มกัน (IgA, IgM, IgG)

4.6.12 สุ่มเลือกสุกรจากแต่ละกลุ่มน้ำหนักจำนวน 6 ตัว รวมทั้งหมด 72 ตัว (6 ตัว $\times$ 4 ช่วงน้ำหนัก $\times$ 3 ทรีทเมนต์) โดยลูกสุกรที่ใช้เป็นเพศผู้ 3 ตัว และเพศเมีย 3 ตัวในแต่ละชุดการทดลอง การเก็บตัวอย่างมูลทำโดยใช้ก้านสวอบพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สอดทางทวารหนักภายใต้สภาวะปราศจากเชื้อ (aseptic technique) เพื่อลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ภายนอก หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ (centrifuge tube) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C โดยระหว่างการเก็บและขนย้ายมีการแช่ในน้ำแข็งแห้งเพื่อคงสภาพตัวอย่าง เมื่อส่งถึงห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างทั้งหมดถูกเติมสารละลายบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมและแช่แข็งต่อที่อุณหภูมิ -80°C จนกว่าจะนำไปสกัดดีเอ็นเอของจุลินทรีย์ ชิ้นงานนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในมูลสุกร โดยอาศัยการขยายยีน 16S ribosomal RNA (16S rRNA gene sequencing) โดยใช้ไพรเมอร์จำเพาะบริเวณ V3-V4 region Forward primer: GTG CCA GCM GCC GCG GTAA และ Reverse primer: GGA CTA CHV GGG TWT CTAAT ดีเอ็นเอที่สกัดได้ถูกวัดความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง NanoDrop™ 2000 Spectrophotometer (Nano-300 micro-Spectrophotometer, ALLSHENG) ก่อนนำไปใช้เป็น template ในปฏิกิริยา Polymerase Chain Reaction (PCR) โดยใช้เครื่อง C1000™ Thermal Cycler (Bio-Rad Laboratories, Inc., Hercules, CA, USA) หลังการทำ PCR ได้ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยวิธี gel electrophoresis ในเจล agarose 1.5% ภายใต้แรงดันไฟฟ้า 100–150 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์และความจำเพาะของแถบดีเอ็นเอ ตัวอย่างที่มีคุณภาพดี (concentration และ purity ระดับที่เหมาะสม; ค่า A260/A280

ใกล้ 1.8–2.0) จึงถูกคัดเลือกจำนวน 48 ตัวอย่าง (4 ตัวอย่าง $\times$ 4 ช่วงน้ำหนัก $\times$ 3 ทรีทเมนต์) เพื่อนำไปจัดเตรียมสำหรับการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ (DNA sequencing) ด้วยเทคนิค Next Generation Sequencing (NGS) โดยแพลตฟอร์มที่เหมาะสม เช่น Illumina MiSeq ซึ่งนิยมใช้สำหรับการหาลำดับยีน 16S rRNA ประเมินข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับ ความหลากหลาย (diversity) องค์ประกอบ (composition) และความแตกต่างของโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์ (microbial community structure) ในมูลสุกรจากแต่ละกลุ่มการทดลอง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นดัชนีสะท้อนสุขภาพทางเดินอาหารและประสิทธิภาพการเลี้ยงสุกร



บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการหาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชง (*Cannabis sativa* L.) ด้วยน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบร่วมกับกระบวนการตีคาร์บอกซิเลชัน และศักยภาพในการใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมพลังงานสำหรับลูกสูรุดุนม

ผลการทดลองที่ 1 โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ดังต่อไปนี้

ผลการตรวจสอบสารประกอบพฤษเคมีในใบกัญชงและรากกัญชง หลังจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ พบความแตกต่างของระดับสาร CBD ในใบกัญชงมีปริมาณ 0.168% ขณะที่ในรากกัญชงมีปริมาณ 0.073% และสาร CBDA พบในใบกัญชง 0.083% และในรากกัญชง 0.267% ตามที่แสดงใน **Figure 4.1** และ **Table 4.1** สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบทั้งสองชนิด พบว่าระดับองค์ประกอบทางเคมีของใบกัญชงมีมากกว่ารากกัญชง เช่น พลังงาน (297.25 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม เทียบกับ 107.79 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม) คาร์โบไฮเดรต (49.56 กรัมต่อ 100 กรัม เทียบกับ 23.04 กรัมต่อ 100 กรัม) และโปรตีน (20.06 กรัมต่อ 100 กรัม เทียบกับ 2.02 กรัมต่อ 100 กรัม) ในทางตรงกันข้าม ปริมาณเส้นใยหยาบในรากกัญชงกลับสูงกว่าใบกัญชง โดยมีค่าเท่ากับ 45.34 กรัมต่อ 100 กรัม และ 12.80 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

Table 4.1 The phytochemical and nutritional composition of hemp leaves and roots

Items	Hemp materials	
	Leaves	Root
Cannabinoids (%w/w)^{1/}		
Cannabidiol (CBD)	0.168	0.073
Cannabidiolic acid (CBDA)	0.083	0.267
Cannabidivarin (CBDV)	0.014	0.001
Cannabinol (CBN)	0.007	0.005
Tetrahydrocannabivarin (THCV)	0.007	0.001
Tetrahydrocannabinol (THC)	0.017	0.048
Cannabichromene (CBC)	0.013	0.002
Tetrahydrocannabinolic acid (THCA)	0.005	0.018

Items	Hemp materials	
	Leaves	Root
Chemical composition^{2/}		
Ash ^{3/} (g/100g)	23.49	6.52
Energy ^{4/} (kcal/100g)	297.25	107.79
Carbohydrate ^{5/} (g/100g)	25.59	34.51
Crude Fiber ^{6/} (g/100g)	12.80	45.34
Fat ^{7/} (g/100g)	7.05	4.87
Protein ^{8/} (g/100g)	20.06	2.02
Moisture ^{9/} (g/100g)	11.01	6.74
Antioxidant efficiency		
Total Phenolic Content (TPC) ^{10/} (mg GAE/g DW)	70.81	33.82
Antioxidant potential capacity (APC) ^{11/} (mg GAE/g DW)	23.26	10.79
Antioxidant activity on DPPH reaction (ADA-DPPH)	28.56	26.86

^{1/} Cannabinoids: Cannabis Extraction and Analysis Laboratory (Modification of AOAC Official Method 2018.11, Revised First Action by Correia et al. (2023) ^{2/} Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. ^{4/} Energy: In-house method TE-CH-169 based on method of Analysis for Nutrition Labelling (1993) pp.106, ^{5/} Carbohydrate using methods in Chapter 6: Proximate and mineral Analysis. (AOAC, 1993) ^{3/} Ash: AOAC Method 923.03 and 920.153, ^{6/} Crude Fiber: AOAC Method 978.10, ^{7/} Fat: AOAC Method 948.15, ^{8/} Protein: AOAC Method 991.20, ^{9/} Moisture: AOAC Method 925.10 and 950.46 according to AOAC. (2019) ^{10/} $y = 0.0008x + 0.0402$; $R^2 = 0.9911$ ^{11/} $y = 0.0014x - 0.003$; $R^2 = 0.9946$

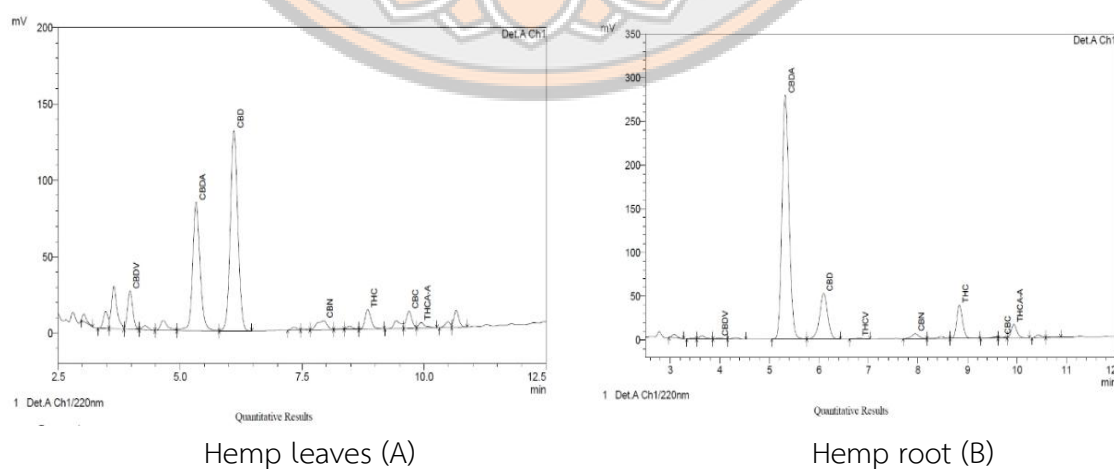


Figure 4.1 The phytochemical composition of hemp leaves and roots is revealed through spectral analysis using high-performance liquid chromatography (HPLC)

4.1.1 การสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากราก และใบกัญชงโดยใช้น้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT) ชนิดต่างๆ (การทดลอง 1.1)

การสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากรากและใบกัญชงในงานวิจัยนี้ใช้ตัวทำละลายประเภทน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT) ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ (RPKO) และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) โดยน้ำมันทั้งสองชนิดล้วนเป็นน้ำมันไตรกลีเซอไรด์ที่อุดมไปด้วยกรดไขมันสายกลางเพื่อประเมินศักยภาพของสารสกัดในการต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองพบว่า มีปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างชนิดวัตถุดิบกัญชงและตัวทำละลายที่ใช้สกัด โดยสารไฟโตแคนนาบินอยด์ที่สกัดจากใบกัญชงร่วมกับน้ำมัน RPKO และ CPKO ให้ปริมาณรวมของสารฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรวม (TAC) สูงกว่าการสกัดจากรากกัญชงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ข้อมูลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้ใบกัญชงร่วมกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการต้านอนุมูลอิสระตามวิธี DPPH, ABTS และ FRAP เมื่อเทียบกับการทดลองอื่น ๆ ทั้งหมด ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 4.2

จาก Table 4.2 ผลการสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชงด้วยน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) เป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อตัวทำละลายถูกปรับให้เหมาะสมที่ร้อยละ 6 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) การกระตุ้นวัตถุดิบด้วยความร้อน ใช้สภาวะแรงดัน และทำการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำในเครื่องอบไอน้ำ (autoclave) เพื่อกระตุ้นกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันก่อนการสกัด ใช้ภาชนะแก้วที่ปิดผนึกอย่างมิดชิดในการสกัดกำหนดให้ใช้ความร้อน และควบคุมอุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งช่วยให้สารชีวภาพที่ออกฤทธิ์จากใบกัญชงถูกถ่ายโอนเข้าสู่ไขมันเมล็ดในปาล์มดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนและลดขั้นตอนการกรองหลังการสกัด ใบกัญชงจึงถูกบรรจุในถุงผ้า แนวทางการดำเนินงานนี้ รวมถึงการใช้ใบกัญชงร่วมกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ เป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารสำคัญออกจากใบกัญชงด้วยตัวทำละลายประเภทน้ำมัน และใช้ความร้อนในแรงปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน โดยใช้ตัวชี้วัดข้างต้นสำหรับการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องถัดไป

4.1.2 ผลของระยะเวลาในกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันและอัตราส่วนการสกัดของกัญชงต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) ที่มีต่อองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์

การศึกษาการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชง ด้วยสัดส่วนของใบกัญชงต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) ที่ระดับ 6%, 12% และ 18% (น้ำหนักต่อปริมาตร) และระยะเวลาเป็นผลงานทดลอง 1.2 โดยการให้ความร้อนเพื่อกระตุ้นกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันที่ระยะเวลา 0, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง พบว่ามีปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างสัดส่วนใบกัญชง และระยะเวลาการให้ความร้อน ($P < 0.05$) ดังที่แสดงในตารางที่ 3 โดยสัดส่วนใบกัญชง 12% ต่อด้านน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ดิบให้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC) สูงกว่าระดับ 6% และ 18% อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) นอกจากนี้ การให้ความร้อนต่อเนื่องเป็นเวลานานถึง 8 ชั่วโมงทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงกว่าที่สังเกตได้ในช่วงเวลาที่สั้นกว่า ได้แก่ 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ($P<0.05$) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนใบกัญชง 12% กับ CPKO ร่วมกับระยะเวลาการให้ความร้อน 6 ชั่วโมงให้ค่า TPC สูงกว่าปฏิสัมพันธ์รูปแบบอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (Table 4.3 & Figure 4.2A)

Table 4.2 Hemp extract combined with medium-chain fatty acid triglyceride oil on the antioxidant potential of Phyto cannabinoid oil extracts.

Factor	TPC mg GAE/g DW	TAC mg GAE/g DW	DPPH (%)	ABTS (%)	FRAP (%)
Interaction factor A x B					
Hemp leaves x RPKO	46.15±0.04 ^a	24.33±0.76 ^a	17.29±0.25 ^c	44.52±0.50 ^b	36.77±0.42 ^b
Hemp leaves x CPKO	48.34±0.30 ^a	25.65±0.77 ^a	26.48±0.58 ^a	46.40±0.53 ^a	38.33±0.43 ^a
Hemp root x RPKO	30.56±0.45 ^b	9.57±0.51 ^b	14.58±0.61 ^d	28.17±0.06 ^c	19.60±0.55 ^d
Hemp root x CPKO	26.67±1.53 ^b	9.35±0.15 ^b	19.23±0.68 ^b	23.73±0.66 ^d	23.26±0.05 ^c
Factor A: Hemp raw materials					
Hemp leaves	47.25±1.22 ^a	24.99±0.99 ^a	21.89±5.05 ^a	45.46±1.13 ^a	37.55±0.93 ^a
Hemp root	28.61±2.36 ^b	9.46±0.36 ^b	16.90±2.61 ^b	25.95±2.46 ^b	21.43±0.23 ^b
Factor B: Types of triglyceride oils containing medium-chain fatty acids					
Purified palm kernel oil (RPKO)	38.36±8.54	16.95±8.11	15.94±1.54 ^b	34.13±11.39 ^b	28.189±9.41 ^b
Crude palm kernel oil (CPKO)	37.51±11.91	17.50±8.94	22.86±4.01 ^a	37.28±9.99 ^a	30.80±8.25 ^a
SEM	0.468	0.350	0.322	0.285	0.235
P-value					
Factor A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Factor B	0.107	0.152	0.000	0.000	0.000
Factor A x B	0.000	0.059	0.000	0.002	0.006

^{a-g} Means with different superscript letters within the same column are significantly different ($P\leq 0.05$) and ($P\leq 0.01$)

^{ns} Means with the same superscript letters within the same column are not significantly different ($P>0.05$)

Total Phenolic Content (TPC) (mg GAE/g DW); Total Antioxidant capacity (TAC) (mg GAE/g DW); DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) (DPPH assay) (%); Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) using (ABTS assay) (2,2'-casino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (%); Ferric Ion Reducing Antioxidant Power assay (FRAP Assay) (%)

Table 4.3 Effect of decarboxylation duration and the ratio of hemp and medium-chain fatty acid triglyceride oil on total phenolic content (TPC) and antioxidant capacity of hemp leaves extract

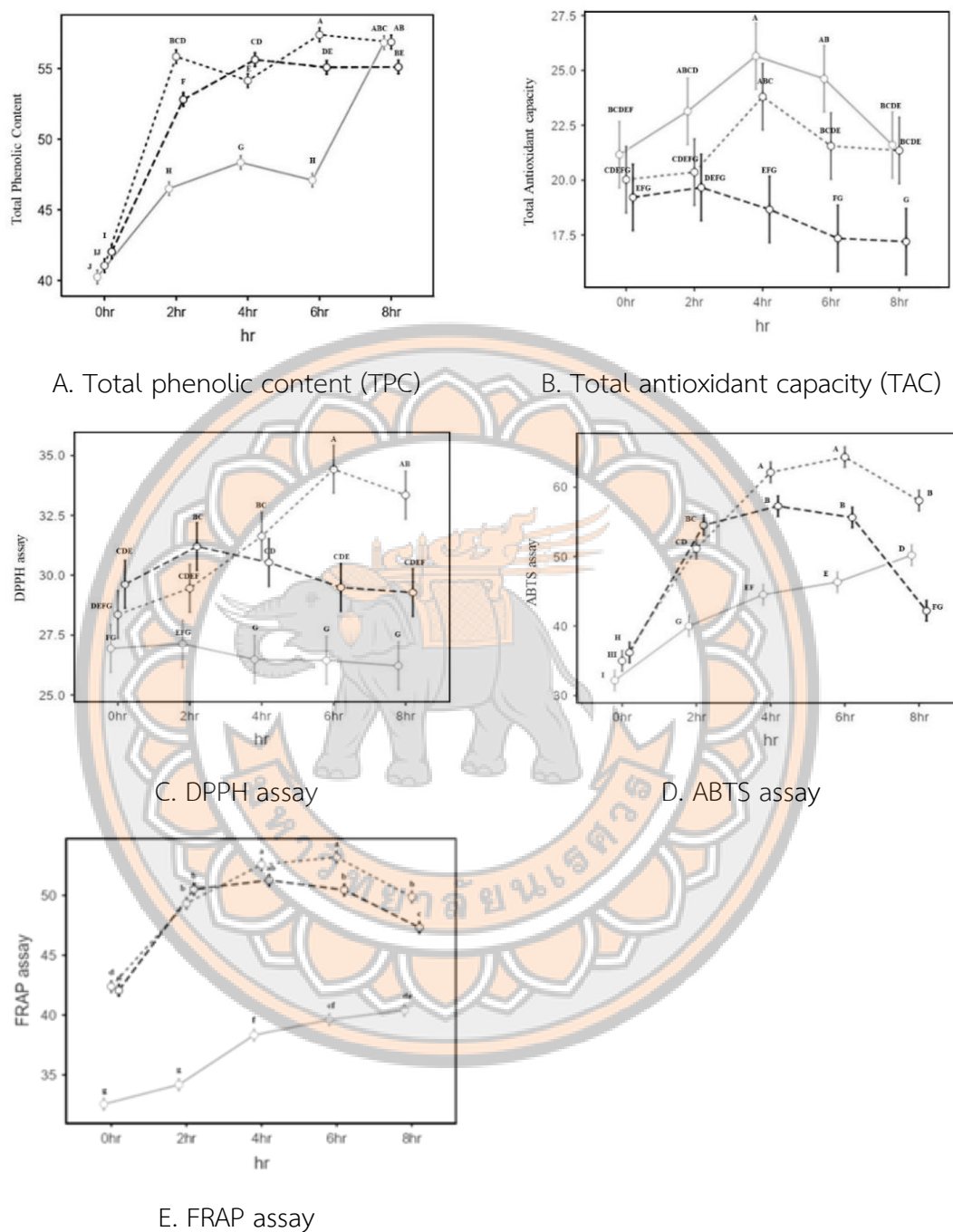
Factor	TPC mg GAE/g DW	TAC mg GAE/g DW	DPPH assay (%)	ABTS assay (%)	FRAP Assay (%)
Interaction factor A (w/v) × B					
6% × 0 hr	40.24±0.05 ^j	21.16±0.26 ^{bcdef}	26.94±1.00 ^{fg}	32.17±0.76 ⁱ	32.56±1.33 ^g
6% × 2 hr	46.49±0.33 ^h	23.13±1.05 ^{abcd}	27.13±1.11 ^{efg}	40.00±2.00 ^g	34.19±0.13 ^g
6% × 4 hr	47.32±0.15 ^g	25.45±0.74 ^a	26.42±0.58 ^g	44.52±0.50 ^{ef}	38.42±0.31 ^f
6% × 6 hr	47.08±0.07 ^h	24.62±2.51 ^{ab}	26.44±0.48 ^g	46.33±3.21 ^e	39.61±0.38 ^{ef}
6% × 8 hr	56.83±0.16 ^{abc}	21.60±1.64 ^{bcde}	26.22±0.35 ^g	50.20±0.91 ^d	40.40±1.03 ^{de}
12% × 0 hr	41.04±0.06 ^{ij}	20.02±1.16 ^{cdefg}	28.36±0.19 ^{defg}	35.00±1.00 ^{hi}	42.38±1.11 ^d
12% × 2 hr	55.84±0.16 ^{bcd}	20.37±1.43 ^{cdefg}	29.46±0.47 ^{cdef}	51.17±0.85 ^{cd}	49.33±0.80 ^b
12% × 4 hr	54.14±0.11 ^e	23.80±1.06 ^{abc}	31.63±0.78 ^{bc}	62.13±1.03 ^a	52.56±0.52 ^a
12% × 6 hr	57.38±0.45 ^a	21.55±1.34 ^{bcde}	34.43±1.74 ^a	64.33±1.53 ^a	53.18±2.03 ^a
12% × 8 hr	56.87±0.96 ^{ab}	21.35±0.57 ^{bcde}	33.35±0.95 ^{ab}	58.07±0.90 ^b	49.86±0.94 ^b
18% × 0 hr	42.02±0.49 ⁱ	19.22±1.08 ^{efg}	29.62±0.92 ^{cde}	36.20±0.35 ^h	42.07±0.64 ^d
18% × 4 hr	55.62±0.24 ^{cd}	18.67±1.15 ^{efg}	30.53±0.92 ^{cd}	57.27±0.64 ^b	51.26±0.67 ^{ab}
18% × 6 hr	55.07±0.53 ^{de}	17.35±1.44 ^{fg}	29.49±0.53 ^{cde}	55.63±0.55 ^b	50.45±1.21 ^b
18% × 8 hr	55.10±0.04 ^{be}	17.20±1.14 ^g	29.28±0.63 ^{cdef}	42.20±0.40 ^{fg}	47.31±0.72 ^c
Factor A: Proportion of hemp leaves to Crude palm kernel oil (Leaves: CPKO)					
6% w/v	47.80±5.50 ^c	23.23±2.16 ^a	26.64±0.74 ^c	42.64±6.57 ^c	37.02±3.25 ^c
12% w/v	53.38±6.57 ^a	21.42±1.68 ^b	31.44±2.50 ^a	54.14±10.97 ^a	49.46±4.08 ^a
18% w/v	52.12±5.34 ^b	18.42±1.44 ^c	30.02±0.99 ^b	49.17±8.70 ^b	48.32±3.57 ^b
Factor B: Decarboxylation reaction time (Heating duration)					
0 hr	41.10±0.81 ^e	20.13±1.17 ^b	28.31±1.35 ^b	34.45±1.91 ^d	39.00±4.86 ^d
2 hr	51.71±4.15 ^b	21.05±1.91 ^b	29.26±1.90 ^{ab}	48.57±6.68 ^c	44.67±7.78 ^c
4 hr	52.70±3.34 ^c	22.71±3.25 ^a	29.55±2.44 ^a	54.64±7.90 ^a	47.38±6.73 ^a
6 hr	53.18±4.69 ^b	21.17±3.54 ^b	30.12±3.61 ^a	55.43±8.00 ^a	47.75±6.25 ^a

Factor	TPC	TAC	DPPH assay	ABTS assay	FRAP Assay
	mg GAE/g DW	mg GAE/g DW	(%)	(%)	(%)
8 hr	56.81±1.50 ^a	20.05±2.37 ^b	29.61±3.15 ^a	50.15±6.90 ^b	45.86±4.25 ^b
SEM	0.234	0.739	0.487	0.718	0.301
P-value					
Factor A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Factor B	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000
Factor A x B	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000

^{a-g} Means with different superscript letters within the same column are significantly different ($p \leq 0.05$) and ($p \leq 0.01$)

^{ns} Means with the same superscript letters within the same column are not significantly different ($P > 0.05$) Total Phenolic Content (TPC) (mg GAE/g DW); Total Antioxidant capacity (TAC) (mg GAE/g DW); DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) (DPPH assay) (%); Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) using (ABTS assay) (2,2'-casino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (%); Ferric Ion Reducing Antioxidant Power assay (FRAP Assay) (%)

ในด้านความสามารถต้านอนุมูลอิสระรวม (Total Antioxidant Capacity; TAC) พบว่า สัตส่วนใบกัญชง 6% ต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบมีค่าความสามารถต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสัตส่วน 12% และ 18% อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยระยะเวลาการให้ความร้อน 4 ชั่วโมงยังแสดงค่า ความสามารถต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าระยะเวลาอื่น ๆ ได้แก่ 0, 2, 6 และ 8 ชั่วโมง ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัตส่วนใบกัญชงต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบที่ 6% ร่วมกับระยะเวลาการให้ ความร้อน 4 ชั่วโมงให้ค่า TAC สูงกว่าปฏิสัมพันธ์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P = 0.007$) (Figure 4.2B) ผลลัพธ์จากการประเมินกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธีการทดสอบ DPPH, ABTS และ FRAP พบว่าสัตส่วนใบกัญชง 12% ต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบมีประสิทธิภาพสูงกว่าสัตส่วนอื่น ๆ ได้แก่ 6% และ 3% อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ผลกระทบของระยะเวลาการให้ความร้อนต่อปฏิกิริยาการดี คาร์บอกซิเลชัน โดยเฉพาะที่ระยะเวลา 4 และ 6 ชั่วโมงแสดงผลลัพธ์ดีกว่าระยะเวลาอื่น ๆ ได้แก่ 0, 2 และ 8 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในแง่ของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัตส่วนใบกัญชงและระยะเวลา การให้ความร้อน การผสมผสานระหว่างใบกัญชง 6% กับระยะเวลาการให้ความร้อน 6 ชั่วโมงให้ กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงสุดในทุกปฏิสัมพันธ์ที่ทดสอบ ($P < 0.05$) (Figure 4.2C) ใน ทำนองเดียวกัน ระยะเวลาการให้ความร้อน 4 และ 6 ชั่วโมงให้กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในทั้ง การทดสอบ ABTS และ FRAP ในทุกปฏิสัมพันธ์ที่ทดสอบด้วยเช่นกัน ($P < 0.05$) (Figure 4.2D และ 4.2E)



Hemp leaves: CPKO (6%) Hemp leaves: CPKO (12%) Hemp leaves: CPKO (18%)

Figure 4.2 Schematic diagram showing the changes of total phenolic content, total antioxidant capacity, DPPH assay, ABTS assay, and FRAP assay concerning time (0, 2, 4, 6, and 8 h) upon heating for inducing decarboxylation to extract Phyto cannabinoids from hemp leaves

การวิเคราะห์ปริมาณแคนนาบินอยด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างใบกัญชงในอัตรา 12% กับระยะเวลาให้ความร้อน 4 และ 6 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าการสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์โดยกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันจากการให้ความร้อนช่วยเพิ่มความเข้มข้นของสาร CBD, CBDA และรวม CBD หลังจากให้ความร้อนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยความเข้มข้นที่วัดได้เท่ากับ 0.004, 0.005 และ 0.008 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 33.33, 50 และ 38 เมื่อเทียบกับระยะเวลาให้ความร้อน 4 ชั่วโมง (Figure 4.3) ส่วนผลตรวจกรดไขมันพบว่าการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิ่มตัวจำนวน 1.45 กรัมต่อ 100 กรัม ขณะที่ระดับกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA), กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน และไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมดที่รวมถึงโอเมก้า-3, โอเมก้า-6 และโอเมก้า-9 ลดลงตามลำดับ 1.95 กรัม, 0.92 กรัม, 2.88 กรัม, 1.07 มิลลิกรัม, 926.95 มิลลิกรัม และ 1,950.72 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (Table 4.4)

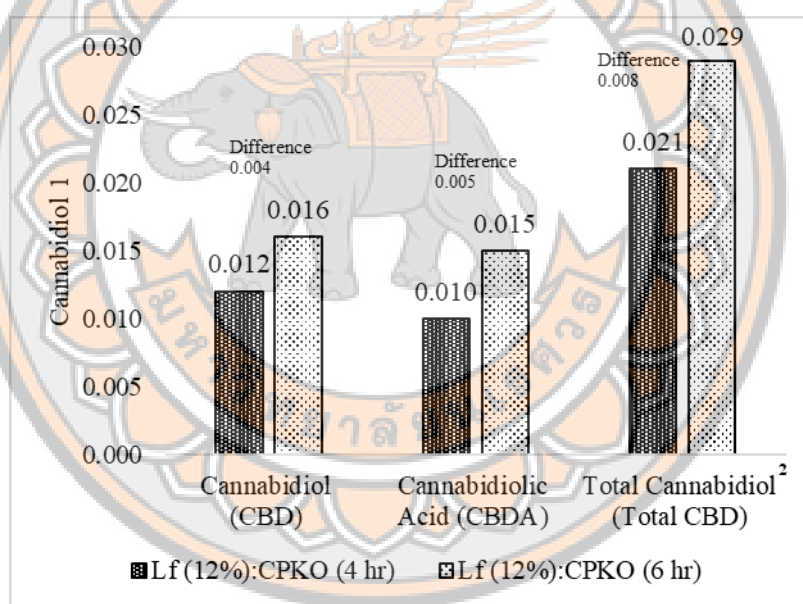


Figure 4.3 A comparative diagram of the cannabinoid content in oils, comparing the proportion of hemp leaves to 12% CPKO and the heating duration of 4 and 6 h

¹Cannabidiol test: In-house method based on Journal of AOAC Official Method 2018.11, Revised First Action 2020 P.1,822-1,833 with Cannalysis siam herbal laboratories. ²Total CBD = %CBD + (%CBDA*0.877)

ในส่วนขององค์ประกอบทางเคมี พบว่าค่าพลังงานของสารสกัดจากใบกัญชง 12% กับน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) ให้ความร้อนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เท่ากับ 881.32 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้น 7.11 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม เมื่อเทียบกับน้ำมัน CPKO เพียงอย่างเดียว พร้อมทั้งผล

ตรวจปริมาณโลหะหนักและจำนวนแบคทีเรียรวมในน้ำมัน CPKO และน้ำมันสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ (ใบกัญชง 12% ในน้ำมัน CPKO ที่ให้ความร้อน 6 ชั่วโมง) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัย ทำให้ยืนยันได้ว่าสารสกัดนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน หรือเป็นสารเสริมโภชนาการสัตว์ได้ (Table 4.5)

Table 4.4 Fatty acid composition of crude palm kernel oil and Phyto cannabinoid oil extracts as raw materials for prototype energy supplement products for livestock

Fatty acid composition ^{1/} (g/100g)	CPKO	CPKO oil contained ^{2/}
		Phyto cannabinoid extract
Caproic acid (C6:0)	0.23	0.26
Caprylic acid (C8:0)	3.43	3.67
Capric acid (C10:0)	3.29	3.48
Lauric acid (C12:0)	45.5	47.09
Medium-chain fatty acids (MCFA)	52.45	54.5
Myristic acid (C14:0)	15.86	15.86
Palmitic acid (C16:0)	8.64	8.22
Stearic acid (C18:0)	2.36	3.24
Arachidic acid (C20:0)	0.12	2.19
Behenic acid (C22:0)	0.03	0.03
Lignoceric acid (C24:0)	0.05	0.05
Saturated Fatty acid (g/100g)	79.51	84.09
Palmitoleic acid (C16:1n7)	0.02	0.02
Trans-9-Elaidic acid (C18:1n9-t)	0.03	0.04
cis-9-oleic acid (C18:1n9-c)	15.55	13.6
cis-11-Eicosenoic acid(C20:1n11-c)	0.1	0.02
Nervonic acid (C24:1n9)	0.04	0.05
Monounsaturated fatty acid (g/100g)	15.74	13.73
cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6)	2.47	1.55
cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)	0.01	0.02
Arachidonic acid (C20:4n6)	0.02	0.02
Polyunsaturated Fatty acid (g/100g)	2.5	1.59

Fatty acid composition ^{1/} (g/100g)	CPKO	CPKO oil contained ^{2/} Phyto cannabinoid extract
Unsaturated fat (g/100g)	18.24	15.32
Omega 3 (mg/100g)	6.53	5.46
Omega 6 (mg/100g)	2,493.04	2,356.09
Omega 9 (mg/100g)	15,594.87	13,644.15

^{1/} Fatty acid composition using In-house method TE-CH-208 based on AOAC. (2019)

^{2/} CPKO oil contained Phyto cannabinoid extract is 12% hemp leaves: CPKO & 6 hrs. heating duration.

Table 4.5 Chemical composition, heavy metal test, and total plate count of crude palm kernel oil (CPKO) and CPKO contained Phyto cannabinoid oil extracts

Items ^{1/}	Oil type	
	CPKO	CPKO oil is contained. Phyto cannabinoid extract
Chemical composition		
Ash ^{2/} (g/100g)	<0.01	0.04
Calories from Fat ^{3/} (kcal/100g)	888.42	881.32
Carbohydrate ^{3/} (g/100g)	2.19	3.21
Fat ^{2/} (g/100g)	97.74	96.48
Water Content ^{5/} (%)	0.07	0.27
Iodine Value ^{6/} (%)	16.89	10.53
Peroxide Value ^{7/} (mEq Peroxide/kg)	3.85	2.87
Heavy Metal Test (mg/kg)		
Arsenic (As) ^{8/}	ND	ND
Cadmium (Cd) ^{8/}	ND	ND
Lead (Pb) ^{8/}	<0.050	0.17
Mercury (Hg) ^{9/}	ND	ND
Total plate count		
<i>Salmonella spp.</i> ^{10/} (in 25g)	ND	ND
Total Plate Count ^{11/} (CFU/g)	<10	<10
Yeast and Molds ^{12/} (CFU/g)	<10	<10

^{1/} Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. ^{2/} Ash: AOAC Method 942.05 (AOAC, 2012) ^{3/} Calories (Fat and Carbohydrate): In-house method TE-CH-169 (Central Laboratory, 1993), adapted from Method of Analysis for Nutrition Labelling (p. 106). ^{4/} Fat: AOAC Method 920.39 (AOAC, 2023) ^{5/} Water Content: AOAC Method 934.01. (AOAC, 2005) ^{6/} Iodine Value: In-house method (Central Laboratory) based on AOCS Cd 1-25 (AOCS, 2017). ^{7/} Peroxide Value: In-house method (Central Laboratory) based on AOCS Cd 8-53 (AOCS, 2003). ^{8/} Arsenic, Cadmium, Lead: In-house method TE-CH-260 (Central Laboratory) with AOAC Methods 2013.06 & 999.10 (AOAC, 2019). ^{9/} Mercury: In-house method TE-CH-260 (Central Laboratory) with AOAC Method 2013.06 (AOAC International, 2019). ^{10/} *Salmonella* spp: ISO 6579-1:2017/Amd. 1:2020. ^{11/} Total Plate Count: In-house method (Central Laboratory) based on FDA BAM Online (2001, Chapter 3). ^{12/} Yeast and Molds: In-house method (Central Laboratory) based on FDA BAM Online (2001, Chapter 18).

4.2 ผลของการเสริมไตรกลีเซอไรด์สายกลางร่วมกับสารไฟโตแคนนาบินอยด์และโมนอลอริน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือดในสุกรระยะตุ๋น

4.2.1 ผลของสูตรอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง และระดับการให้ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ปริมาณนมแม่เหลือ น้ำนมที่ได้รับ และค่าทางโลหิตวิทยา ในลูกสุกรระยะตุ๋น

การทดลองนี้เป็นผลของการทดลอง 2.1

1) ประสิทธิภาพการผลิตของลูกสุกร จากแผนการการทดลอง augmented factorial design เพื่อประเมินผลกระทบของสองปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัย A ซึ่งเป็นชนิดอิมัลชัน (EML เปรียบเทียบกับ EMPL) และปัจจัย B คือระดับปริมาณการป้อนสิ่งทดลองเข้าทางปากลูกสุกร (การป้อนทางปากในปริมาณต่ำและสูง) โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับการป้อนยาปฏิชีวนะ ทอลทราซูล (toltrazuril) เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่มักใช้กันทั่วไปทุกฟาร์ม สำหรับการประเมินผลต่อตัวชี้วัดด้านสมรรถภาพการเจริญเติบโต พบว่าในช่วง 24 ชั่วโมงหลังคลอด ลูกสุกรที่ได้รับสูตร EMPL ทั้งสองระดับปริมาณแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มของน้ำหนักซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 0.13 กก.ทั้งในกลุ่ม L-EMPL และ H-EMPL เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียง 0.09 กก. ($P = 0.001$) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการปรับตัวทางเมแทบอลิซึมและการใช้พลังงานที่ดีขึ้นในลูกสุกรช่วงแรกเกิด พบอีกว่าปริมาณนมแม่เหลือสูงสุดในกลุ่ม H-EMPL ปริมาณนมแม่เหลือที่ลูกสุกรได้รับเฉลี่ย 334.63 มล.ต่อตัว ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุม (CON) และกลุ่ม L-EML อย่างมีนัยสำคัญ ($P = 0.003$) บ่งชี้ถึงความสำคัญของปัจจัยปริมาณการป้อนเข้าทางปากหรือรูปแบบการให้ที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายทอดภูมิคุ้มกันผ่านนมแม่เหลือ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอิมัลชัน EMPL ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ขณะที่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดและระดับปริมาณ ($P > 0.05$) ซึ่งยืนยันว่าปัจจัยทั้งสองนี้ทำงานอย่างอิสระ ทำให้สามารถปรับใช้สูตร และปริมาณการป้อน ได้ตามเหมาะสม ส่วนในช่วงวันที่ 5 หลังคลอด พบว่ากลุ่มควบคุมพบอัตราการตายสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มลูกสุกรที่ได้รับสูตรอิมัลชันปริมาณสูง โดยเฉพาะ H-EML และ H-EMPL ที่สามารถส่งเสริมจำนวนลูกสุกร

รอดชีวิตเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P=0.002$) ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรง และความสามารถในการรอดชีวิตที่ดีขึ้นของลูกสุกรแรกเกิดเมื่อได้รับการป้อนอิมัลชันดังกล่าว สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพการเจริญเติบโตตลอดจนถึงหย่านม พบว่ากลุ่มควบคุมมีขนาดครอกลดลง ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับอิมัลชันด้วยระดับปริมาณสูงยังคงอัตราการรอดชีวิตของลูกสุกรได้สูงกว่าอย่างชัดเจน ($P=0.002$) โดยเฉพาะอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain; ADG) สูงสุดในวันที่ 3-5 ของกลุ่มลูกสุกรที่ได้รับ H-EMPL (117.07 กรัมต่อวัน) อีกทั้งยังพบอีกว่าปริมาณน้ำนมที่ลูกสุกรได้รับสูงกว่าทุกกลุ่มทดลอง ($P=0.013$) ผลดังกล่าวสามารถบ่งชี้ถึงการตอบสนองต่อชนิดอิมัลชันต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกร ในวันที่ 14 สมรรถภาพการเจริญเติบโตสูงสุดอยู่ในกลุ่ม H-EMPL (170.98 กรัมต่อวัน) และ H-EML (177.06 กรัมต่อวัน) โดยทั้งสองกลุ่มมีประสิทธิภาพที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (120.97 กรัมต่อวัน; $P=0.010$) พร้อมกับความแตกต่างของการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของลูกสุกรเมื่อได้รับการป้อนสูตรอิมัลชัน ($P=0.001$) ที่สำคัญที่สุด พบว่าอัตราการตายในช่วงก่อนหย่านมลดลงอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่ม H-EMPL (19.69%) และ H-EML (22.65%) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับปริมาณต่ำ ($P=0.016$) โดยอิทธิพลของชนิดอิมัลชันส่งผลให้อัตราการตายของสุกรลดลงอย่างมีความสำคัญทางสถิติ ($P=0.001$) เมื่อการวิเคราะห์สาเหตุการตายชี้ให้เห็นการลดลงอย่างชัดเจนของการตายดังกล่าว สามารถวิเคราะห์สาเหตุการตายได้ดังนี้ การตายด้วยภาวะโหรมนม (5.36% ในกลุ่ม H-EMPL) และท้องเสีย (3.17% ในกลุ่ม H-EMPL) ซึ่งต่ำกว่า CON ซึ่งได้รับการป้อนยาปฏิชีวนะซึ่งพบว่าอัตราการตายจากท้องเสียมากกว่า 8% ($P<0.05$)

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กลุ่ม H-EMPL มีประสิทธิภาพต่อการส่งเสริมการได้รับสารอาหารของลูกสุกรในช่วงแรกเกิด ช่วยส่งเสริมขนาดครอก และลดความเสี่ยงการตาย โดยเฉพาะในกลุ่มลูกสุกรที่มีน้ำหนักแรกเกิดต่ำถึงปานกลาง โดยที่ผลกระทบของสูตรอิมัลชัน และปริมาณการป้อนเข้าทางปาก แสดงผลอิสระต่อกัน ซึ่งอิมัลชัน EMPL ในระดับปริมาณต่ำ และสูงเป็นแนวทางที่จะช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และการรอดชีวิตของลูกสุกรแรกเกิดที่มีน้ำหนักตัวน้อยอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงใน **Table 4.6**

2) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของลูกสุกรแต่ละช่วงน้ำหนัก ทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดอิมัลชัน และปริมาณการป้อนเข้าทางปาก ส่งผลต่อลูกสุกรแต่ละช่วงน้ำหนักแรกคลอดหรือไม่ โดยกำหนดช่วงน้ำหนักของลูกสุกรแรกคลอด 5 ช่วง ประกอบด้วย 0.90, 0.91–1.05, 1.06–1.20, 1.21–1.35, และ มากกว่า 1.36 กก. พบว่าการวิเคราะห์โดยจำแนกตามน้ำหนักแรกเกิดได้ผลการทดลองอย่างเด่นชัดเฉพาะกลุ่ม โดยเฉพาะลูกสุกรที่มีน้ำหนักแรกคลอดระหว่าง 0.91 – 1.05 กก. ได้รับอิทธิพลจากอิมัลชัน EMPL ปริมาณสูง (H-EMPL) ช่วยส่งเสริมให้ปริมาณการกินนม น้ำเหลืองที่ได้รับมากถึง 308.66 มล. ($P=0.010$) พร้อมกับแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีตลอดช่วงการทดลอง อีกทั้งลูกสุกรที่มีน้ำหนักต่ำกว่า 0.90 กก. หรือระหว่าง 1.06–1.20 กก. มีการเจริญเติบโตใน

ระดับปานกลางโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่ลูกสุกรที่มีน้ำหนักมากกว่า 1.36 กก.ขึ้นไปได้รับประโยชน์โดยตรงจากการได้รับชนิดอิมัลชันทางปากในระดับสูงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และปริมาณนมน้ำเหลือง-น้ำนมที่ลูกสุกรได้รับตลอดช่วงการทดลอง (18 วัน) พบว่า ทุกกลุ่มน้ำหนักแรกเกิด ที่ได้รับอิทธิพลของอิมัลชัน EMPL ช่วยส่งเสริมให้ลูกสุกรได้รับนมน้ำเหลืองเฉลี่ยสูงสุดที่ 334.53 มล.ต่อตัว ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับ EML ระดับสูง (H-EML) แสดงค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยรายวัน (ADG) สูงสุดในวันที่ 5 (140.39 กรัมต่อวัน) และมีปริมาณน้ำนมที่ได้รับสูงสุด 603.14 มล.ต่อตัว ($P < 0.05$) (Table A1)

3) ค่าโลหิตวิทยาและค่าชีวเคมีในเลือดลูกสุกร ผลการวิเคราะห์แสดงใน Table 4.7 สรุปได้ถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่เกิดจากกลุ่มทดลองอิมัลชัน EMPL พบว่ากลุ่ม H-EMPL ลูกสุกรแสดงค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงเฉลี่ย (mean corpuscular hemoglobin concentration; MCHC) และค่าความกว้างการกระจายของเม็ดเลือดแดง (red cell distribution width; RDW) ที่มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งสะท้อนถึงกิจกรรมการสร้างเม็ดเลือดแดงที่เพิ่มขึ้นและการปรับปรุงความสามารถในการสังเคราะห์ฮีโมโกลบินในระดับเซลล์พร้อมกันนั้น ร้อยละของอีโอซิโนฟิล (eosinophil) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่ได้รับ EMPL ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ตัวชี้วัดคุณสมบัติของเลือดโดยพื้นฐานอื่น ๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินรวม (total hemoglobin) ค่าฮีมาโตคริต (hematocrit), และจำนวนเม็ดเลือดขาวทั้งหมด (total leukocyte count) ยังคงอยู่ในช่วงปกติทางสรีรวิทยาในทุกกลุ่มการรักษา ($P > 0.05$) ซึ่งยืนยันได้ว่าสูตรอิมัลชัน EMPL มีความปลอดภัยและประโยชน์ที่เกิดขึ้นไม่ได้ส่งผลกระทบต่อหน้าที่การสร้างเม็ดเลือดพื้นฐานหรือความสามารถในการเคลื่อนย้ายสารในเซลล์การวิเคราะห์ทางชีวเคมีแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนชัดเจนในกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนและตัวบ่งชี้สมรรถภาพระบบภูมิคุ้มกัน ดังแสดงค่ามาตรฐานใน Table 2.1 โดยพบว่าความเข้มข้นของโปรตีนรวมในซีรัม (total protein; TP) และโกลบูลิน (globulin; GLOB) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทุกกลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วย EMPL เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P < 0.001$) โดยระดับสูงสุดพบในกลุ่ม H-EMPL และ H-EML แสดงผล ระดับอัลบูมิน (albumin) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเพิ่มขึ้นของโปรตีนรวมเป็นผลมาจากการสังเคราะห์โกลบูลินที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะ ไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงทั่วไปของเมแทบอลิซึมโปรตีน การเพิ่มขึ้นเฉพาะในส่วนของโกลบูลินนี้สอดคล้องกับการได้รับภูมิคุ้มกันที่ดีขึ้นผ่านการดูดซึมนมน้ำเหลือง และการถ่ายโอนอิมมูโนโกลบูลินอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสนับสนุนพัฒนาการภูมิคุ้มกันในลูกสุกรแรกเกิด นอกจากนี้ ระดับกลูโคสและไตรกลีเซอไรด์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรในเมแทบอลิซึมและไม่มีผลข้างเคียงต่อสมดุลของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน

โดยสรุป การเสริมด้วยสูตร EMPL ได้ปรับปรุงดัชนีทางโลหิตวิทยาที่สัมพันธ์กับประสิทธิภาพการขนส่งออกซิเจน ลดประชากรเซลล์ที่ส่งเสริมการอักเสบ และเพิ่มโปรตีนในซีรัมที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกันอย่างเฉพาะเจาะจง ซึ่งส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และสรีรวิทยาที่ครอบคลุม พร้อมทั้งสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ในประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและอัตราการรอดชีวิตของลูกสุกรแรกเกิด เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพโดยรวมของสุกรช่วงตอนนมพบว่า กลุ่ม H-EMPL สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และนม น้ำเหลืองเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่อค่าชีวเคมีในเลือด อีกทั้งยังช่วยลดอัตราการตายของลูกสุกร โดยเฉพาะในกลุ่มลูกสุกรที่มีน้ำหนักน้อย ถึงปานกลาง เมื่อพิจารณาจากสูตรอิมัลชัน ยังสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยชนิดอิมัลชัน และระดับการป้อนเข้าทางปากเป็นอิสระต่อกันอย่างชัดเจน ดังนั้นการป้อนอิมัลชัน EMPL ในระดับสูงช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตราการรอดชีวิตของลูกสุกรแรกเกิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.2.2 ผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางเสริมไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอรีน เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ยาปฏิชีวนะ ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือดลูกสุกรระยะตอนนม (ผลการทดลอง 2.2)

1) ประสิทธิภาพการผลิตของลูกสุกร จากการประเมินผลต่อประสิทธิภาพของลูกสุกรในการทดลองที่ 2.2 ต่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอิมัลชันที่เสริมโมโนลอรีน (Mono-EMPL) เมื่อเทียบกับอิมัลชันที่เสริมไฟโตแคนนาบินอยด์ (EMPL) และกลุ่มควบคุมลูกสุกรรับยาปฏิชีวนะโพลีทราซูล (CON) (Table 4.8) พบว่าลูกสุกรได้รับอิมัลชันครั้งแรก 8-12 ชั่วโมงหลังคลอด เมื่อประเมินผลประสิทธิภาพการผลิตในช่วง 24 ชั่วโมงหลังคลอด พบว่าลูกสุกรที่ได้รับอิมัลชัน EMPL หรือ Mono-EMPL มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (0.13 กก.) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่เพิ่มขึ้นเพียง 0.08 กก. ($P=0.001$) ซึ่งสะท้อนถึงการปรับตัวทางเมแทบอลิซึมและการให้พลังงานของชนิดอิมัลชัน เมื่อได้รับครั้งที่ 2 ช่วงระหว่าง 3-5 วันหลังคลอด ซึ่งช่วงดังกล่าวลูกสุกรเพศผู้จะต้องผ่านการตอน พบว่าการเพิ่มน้ำหนักตัวลูกสุกร สอดคล้องกับ ADG มากขึ้น โดยทั้งสองกลุ่มที่ได้รับอิมัลชันมีค่า ADG อยู่ระหว่าง 126.97 ถึง 129.48 กรัมต่อวัน ขณะที่กลุ่มควบคุมมีค่าเพียง 79.91 กรัมต่อวัน ($P=0.002$) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และปรับสมดุลเมแทบอลิซึมที่เหนือกว่าในช่วงเวลาที่ลูกสุกรมีความเสี่ยงสูงที่สุดในการพัฒนา และการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมใหม่ เมื่อพิจารณาจากปริมาณนม น้ำเหลืองที่ได้รับ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญของการถ่ายโอนภูมิคุ้มกันจากแม่สู่ลูก ซึ่งมักจะส่งผลเชิงบวกต่อ ADG จากผลการทดลองสามารถยืนยันได้ว่าลูกสุกรในกลุ่ม EMPL และ Mono-EMPL มีปริมาณนม น้ำเหลืองที่ได้รับมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ กลุ่ม CON ($P=0.006$) โดยพบว่าปริมาณนม น้ำเหลืองที่ลูกได้รับเฉลี่ย 328.73 มล. และกลุ่ม Mono-EMPL ได้รับเฉลี่ย 336.73 มล. ขณะที่กลุ่ม CON ได้รับเพียง 276.76 มล. ($P=0.006$) ปริมาณนม น้ำเหลืองที่ลูกได้รับแสดงให้เห็น

ถึงพฤติกรรมการดุนนมที่แข็งแรงขึ้น ความสามารถเข้าถึงภูมิคุ้มกันและโภชนาที่จำเป็นจากแม่สุกรที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลง และการเจริญเติบโตของลูกสุกรในช่วงแรกหลังจากคลอด พบว่าลูกสุกรที่ได้รับอิมัลชัน Mono-EMPL พบว่า ADG มากที่สุด ซึ่งสะท้อนในน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และ ADG มากถึง 170.58 กรัมต่อวัน ในวันที่ 14 หลังคลอด ADG มากกว่ากลุ่ม CON (107.81 กรัมต่อวัน) และกลุ่ม EMPL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.043$)

การป้อนอิมัลชันในลูกสุกรจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต โดยพบว่าขนาดครอกของสุกร และการลดอัตราการตายของลูกสุกรก่อนหย่านม ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่แสดงประสิทธิภาพการผลิตเชิงอุตสาหกรรม และความการแข่งขันทางเศรษฐกิจ ซึ่งขนาดครอกในวันที่ 14 หลังคลอดในกลุ่ม Mono-EMPL สูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่ม EMPL อย่างมีนัยสำคัญ (11.42 ตัวต่อแม่สุกร เมื่อเทียบกับ 10.50 และ 10.20 ตัวต่อตัวแม่สุกรตามลำดับ) ($P=0.031$) แสดงถึงอัตราการรอดชีวิตที่มากขึ้น และการลดการตายของลูกสุกรก่อนหย่านม ซึ่งพบว่ากลุ่ม Mono-EMPL มีอัตราการตายต่ำสุดเพียง 14.27% เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม EMPL อยู่ที่ 23.63% และสูงสุดในกลุ่มควบคุมที่ 29.40% ($P=0.012$) โดยลดลงได้มากถึง 51.40% หากเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สำหรับการลดลงของอัตราการตายที่ชัดเจน พบว่าสาเหตุการตายของลูกสุกร โดยเฉพาะการตายด้วยสาเหตุท้องเสีย โดยกลุ่ม Mono-EMPL แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการป้องกัน และช่วยลดอัตราการตายด้วยสาเหตุดังกล่าวเหลือเพียง 0.86% เทียบกับ 10.40% ในกลุ่มควบคุม ($P=0.001$) และอัตราการตายจากการอดอาหาร-อดนม อยู่ที่ 4.30% เทียบกับ 14.40% ในกลุ่มควบคุม ($P=0.002$) ทั้งนี้ ผลของสารเสริมสูตรนี้แสดงถึงความหลากหลายของกลไกการปกป้องที่ครอบคลุมต่อสาเหตุหลักของการตายของลูกสุกรแรกเกิด

2) วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของลูกสุกรแต่ละช่วงน้ำหนัก เมื่อจำแนกตามน้ำหนักแรกเกิด Table A2 พบว่าลูกสุกรที่มีน้ำหนักต่ำกว่า 0.90 กก. ในกลุ่ม Mono-EMPL ในวันที่ 5 หลังคลอดมีน้ำหนักตัวสูงกว่าลูกสุกรในกลุ่มควบคุม และ EMPL อย่างมีนัยสำคัญ ($P=0.015$) ขณะที่ลูกสุกรในช่วงน้ำหนัก 0.91–1.05 กก. มีน้ำหนักตัวถึง 1.80 กก. ในวันที่ 5 เทียบกับเพียง 1.41 กก. ในกลุ่มควบคุม ($P=0.001$) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอิมัลชัน Mono-EMPL ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของสุกรที่มีน้ำหนักแรกคลอดน้อย

3) ค่าโลหิตวิทยาและค่าชีวเคมีในเลือดลูกสุกร จาก Table 4.9 พบว่าจำนวนเม็ดเลือดแดง (RBC) ต่ำที่สุดในกลุ่มที่ได้รับ Mono-EMPL โดยมีค่า 5.98×10^6 /ไมโครลิตร เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับ EMPL และกลุ่มควบคุม (CON) ที่มีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.003$) อย่างไรก็ตาม ค่าต่าง ๆ ยังอยู่ในช่วงอ้างอิงทางสรีรวิทยาของลูกสุกรที่วันก่อนหย่านมซึ่งอยู่ระหว่าง $4.98\text{--}8.29 \times 10^6$ /ไมโครลิตร การลดลงนี้อาจแสดงคุณภาพเม็ดเลือดแดงที่ดีขึ้น และประสิทธิภาพในการขนส่งออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการมีปัญหาในการสร้างเม็ดเลือดแดง ปริมาตรของเม็ดเลือดแดง

เฉลี่ย (MCV) มากกว่ากลุ่ม EMPL (57.13 fL) และ Mono-EMPL (60.50 fL) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีค่า 52.50 fL ($P=0.008$) ซึ่งบ่งชี้ถึงการสร้างเม็ดเลือดแดงมากขึ้น และสมบูรณ์มากขึ้น มักเป็นลักษณะของการดูดซึมธาตุเหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการสังเคราะห์ฮีโมโกลบินที่ดีขึ้น ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินเฉลี่ยในเม็ดเลือดแดง (MCHC) ต่ำกว่าในทั้งสองกลุ่มที่ได้รับสารเสริมอิมัลชัน (30.0–30.5 g/dL) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีค่า 33.0 g/dL ($P<0.001$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่รายงานในลูกสุกรที่มีสุขภาพดีและชี้ให้เห็นถึงการกระจายฮีโมโกลบินในเซลล์อย่างเหมาะสมโดยไม่มีการสะสมผิดปกติ ค่าความกว้างการกระจายของเม็ดเลือดแดง (RDW) เพิ่มขึ้นในกลุ่ม EMPL และ Mono-EMPL ($P=0.009$) ซึ่งแสดงถึงการกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดง และการตอบสนองของไขกระดูกที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากตัวชี้วัดของเม็ดเลือดขาวแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนที่ชัดเจนในการปรับสมดุลภูมิคุ้มกัน โดย%ของอีโอสิโนฟิล (eosinophils) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่ม Mono-EMPL (0.25%) เมื่อเทียบกับกลุ่ม EMPL (2.00%) และกลุ่มควบคุม (3.75%; $P=0.002$) ซึ่งบ่งชี้ว่าการกระตุ้นการอักเสบทั่วร่างกายต่ำลง การลดลงนี้ยังสื่อถึงภาวะภูมิคุ้มกันที่สมดุลมากขึ้น มีการอักเสบน้อยลง สนับสนุนคุณสมบัติด้านการอักเสบของชนิดอิมัลชันเสริมด้วยโมโนลอริน และการวิเคราะห์ทางชีวเคมีประเมินได้อีกว่ากลุ่มที่ได้รับ EMPL และ Mono-EMPL มีปริมาณโปรตีนรวมในซีรัมมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (5.13–5.16 g/dL) และความเข้มข้นของโกลบูลิน (1.51–1.76 g/dL) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีค่า 4.00 และ 0.61 g/dL ตามลำดับ ($P<0.001$) ในขณะที่ความเข้มข้นของอัลบูมินไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้นค่าชีวเคมีของเลือดสุกรแสดงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของภูมิคุ้มกันแบบพาสซีฟ และการปรับปรุงการเผาผลาญโปรตีนในลูกสุกรที่ได้รับสารเสริมอิมัลชันทั้งสองสูตร Table 4.9

Table 4.6 Effects of oral administration emulsion medium-chain triglyceride emulsions containing lauric acid with or without Phytocannabinoids, and the dose level, on the performance of suckling piglets. (Experiment 2.1)

Parameter	CON	EML ^A				SEM	Orthogonal contrast			
		L-EML ^B	H-EML ^B	L-EML ^B	H-EML ^B		CON vs EML vs EMPL	A	B	A x B
Number of sows	15	15	15	15	15					
Newborn piglets										
No piglets	229	197	220	208	209					
Litter size (piglet/sow)	15.27	13.13	14.67	13.87	13.93	0.31	0.074	0.224	0.353	0.285
Birth weight (kg)	1.37	1.31	1.31	1.25	1.28	0.02	0.108	0.465	0.320	0.706
Live born piglets (24 hr.)										
No piglets	202	188	199	191	196					
Litter size (piglet/sow)	13.47	12.53	13.27	12.73	13.07	0.23	0.447	0.863	0.987	0.769
Weight (kg)	1.49	1.43	1.42	1.36	1.42	0.02	0.105	0.419	0.414	0.422
Weight gain (kg)	0.09 ^b	0.11 ^{ab}	0.09 ^b	0.13 ^a	0.13 ^a	0.01	0.020	0.001	0.001	0.139
Colostrum intake (mL/piglet)	287.69 ^b	310.51 ^{ab}	279.93 ^b	325.04 ^{ab}	334.63 ^a	5.61	0.079	0.006	0.003	0.080
Piglets at 5 days postpartum										
No piglets	183	150	160	171	167					
Litter size (pigs/sow)	12.20 ^a	10.00 ^b	10.67 ^{ab}	11.40 ^{ab}	11.13 ^{ab}	0.25	0.002	0.007	0.882	0.375
Weight (kg)	2.13	1.87	1.91	1.74	1.96	0.05	0.038	0.173	0.706	0.415
ADG (g/day/piglet)	156.29	100.72	132.87	104.90	117.07	8.55	0.046	0.228	0.686	0.488
Milk intakes (mL/piglet)	567.49	501.84	586.41	530.86	545.59	17.63	0.554	0.611	0.883	0.385

Parameter	CON	EML ^A				SEM	Orthogonal contrast				
		EMPL ^A					CON vs EMF	CON vs EML vs EMPL	A	B	A x B
		L-EML ^B	H-EML ^B	L-EMPL ^B	H-EMPL ^B						
Piglets at 14 days postpartum											
No piglets	167	146	143	165	165						
Litter size (piglet/sow)	11.13 ^a	9.73 ^{ab}	9.53 ^b	11.00 ^a	11.00 ^a	0.21	0.034	0.102	0.232	0.102	
Weight (kg)	3.21	3.57	3.44	3.33	3.52	0.08	0.197	0.604	0.855	0.364	
ADG (g/day/piglet)	120.97 ^b	164.24 ^{ab}	155.47 ^{ab}	177.06 ^a	170.98 ^a	7.19	0.010	0.106	0.635	0.931	
Weaned pigs (Piglets at 18 days postpartum)											
No piglets	143	127	127	148	157						
Litter size (piglet/sow)	9.50	8.43	8.52	9.88	10.49	0.18	0.446	0.754	0.680	0.804	
Weight (kg)	4.27	4.67	4.20	4.29	4.21	0.11	0.783	0.664	0.253	0.402	
ADG (g/day/piglet)	163.16	170.67	164.91	171.16	179.93	6.34	0.595	0.569	0.172	0.589	
Pre-weaning piglet mortality rate											
Mortality rate (%)	29.44 ^{abc}	32.69 ^{ab}	35.82 ^a	22.65 ^{bc}	19.69 ^c	1.68	0.744	0.016	0.787	0.238	
Pre-weaning piglet loss causes (%)											
Milk starvation	15.40 ^a	10.95 ^{ab}	10.20 ^{ab}	6.14 ^b	5.36 ^b	0.96	0.037	0.073	0.371	0.606	
Weak state	1.33 ^b	6.07 ^a	6.30 ^a	3.35 ^{ab}	2.40 ^b	0.55	0.002	0.009	0.772	0.636	
Crushing	2.47 ^c	7.34 ^b	13.31 ^a	10.20 ^{ab}	8.76 ^b	0.77	0.001	0.001	0.599	0.162	0.024
Diarrhea	10.24 ^a	8.33 ^a	6.01 ^{ab}	2.96 ^b	3.17 ^b	0.74	0.015	0.008	0.002	0.417	0.331

Table 4.7 Effects of oral administration emulsion medium-chain triglyceride emulsions containing lauric acid, with or without Phyto cannabinoids, and dose level on hematological parameters and serum protein profiles of pre-weaning piglets. (Experiment 2.1)

Parameter	CON	EML ^A				EMPL ^A		Orthogonal contrast			P-Value		
		L-EML ^B		H-EML ^B		L-EMPL ^B		SEM	CON vs		A	B	AxB
		10	10	10	10	10	10		EMF	CON vs EMIL vs EMPL			
Number of piglets	10	10	10	10	10	10	10						
Complete Blood Count													
WBC (cell x 10 ⁵ /L.)	1.28	1.16	1.37	1.37	1.14	1.37	1.37	0.057	0.830	0.680	0.760	0.163	0.886
RBC (cell x10 ⁶ /L.)	6.69	6.14	6.24	6.24	6.67	6.45	6.45	0.148	0.148	0.156	0.053	0.747	0.399
Hemoglobin (g/dL)	11.75	11.07	10.87	10.87	11.47	11.36	11.36	0.22	0.304	0.742	0.367	0.752	0.927
Hct (%)	36.20	34.00	34.00	34.00	38.60	37.70	37.70	0.67	0.941	0.089	0.005	0.746	0.746
Platelet count (cell x 10 ⁵ /cu.mm)	58.43	62.21	62.59	62.59	59.95	47.72	47.72	2.58	0.962	0.356	0.163	0.331	0.301
Red blood cell (RBC) indices													
MCV (fL)	53.90	55.00	54.10	54.10	57.40	58.20	58.20	0.67	0.179	0.142	0.020	0.970	0.530
MCH (pg)	17.60	18.00	17.40	17.40	17.30	17.70	17.70	0.22	1.000	0.874	0.692	0.843	0.326
MCHC (g/dL)	32.70 ^a	32.70 ^a	32.10 ^a	32.10 ^a	29.90 ^b	30.10 ^b	30.10 ^b	0.22	0.005	0.000	0.000	0.468	0.151
RDW (%)	17.05 ^b	17.58 ^b	17.15 ^b	17.15 ^b	19.77 ^a	21.01 ^a	21.01 ^a	0.34	0.029	0.000	0.000	0.509	0.178
White Blood Cell and Differential Count (%)													
Neutrophil	38.00	30.50	32.20	32.20	28.80	29.80	29.80	1.85	0.098	0.557	0.608	0.735	0.930
Lymphocyte	51.40	61.50	58.70	58.70	61.90	62.80	62.80	1.91	0.039	0.323	0.580	0.815	0.649
Monocyte	6.80	6.00	7.00	7.00	7.60	6.50	6.50	0.29	0.973	0.512	0.401	0.939	0.114
Eosinophil	3.80 ^a	2.00 ^{ab}	2.10 ^{ab}	2.10 ^{ab}	1.70 ^b	0.90 ^b	0.90 ^b	0.25	0.000	0.004	0.142	0.488	0.374

Table 4.7 (Continue)

Parameter	EML ^A			EMPL ^A		Orthogonal contrast			P-Value		
	CON	L-EML ^B	H-EML ^B	L-EMPL ^B	H-EMPL ^B	SEM	CON vs EML	CON vs EML	A	B	AxB
Total protein	4.12 ^c	4.80 ^b	4.28 ^c	5.40 ^a	5.29 ^a	0.10	0.000	0.000	0.000	0.053	0.200
Albumin	3.33	3.62	3.60	3.69	3.65	0.05	0.011	0.154	0.579	0.781	0.926
Globulin	0.79 ^b	1.18 ^{bc}	0.68 ^b	1.71 ^a	1.64 ^{ab}	0.09	0.015	0.000	0.000	0.043	0.122

Note: Different superscript letters (^{a, b, c}) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM, standard error of the mean; Factor A: comparison between fatty acid formulations (EML vs. EMPL); Factor B: comparison between dosage levels of oral administration of fatty acid emulsions in piglets; Factor A x B: interaction between fatty acid formulation and dosage level; EMF, fatty acid emulsion formula containing EML and EMPL; CON: control group; EML: emulsion of medium-chain fatty acids containing 40% lauric acid (Em-MCFA-L40); EMPL: emulsion of medium-chain fatty acids containing 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids (Em-MCFA-Phyto-L40); MCV: mean corpuscular volume (femtoliters, fL); MCH: mean corpuscular hemoglobin (picograms, pg); MCHC: mean corpuscular hemoglobin concentration (grams per deciliter, g/dL); RDW: red cell distribution width (%)

Table 4.8 Effects of medium-chain triglyceride emulsions containing lauric acid and Phyto cannabinoids, with or without monolaurin, on hematological parameters and serum protein profiles of pre-weaning piglets. (Experiment 2.2)

Parameter	CON	EMPL	Mono-EMPL	SEM	P-Value
Number of sows	12	12	12		
Newborn piglets					
No piglets	183	158	168		
Litter size (piglet/sow)	15.25	13.17	14.00	0.45	0.159
Birth weight (kg)	1.35	1.26	1.34	0.03	0.459
Live born piglets (24 hr.)					
No piglets	163	149	160		
Litter size (piglet/sow)	13.61	12.44	13.32	0.46	0.613
Weight (kg)	1.47	1.38	1.47	0.03	0.377
Weight gain (kg)	0.08 ^b	0.13 ^a	0.13 ^a	0.01	0.001
Colostrum intake (mL/piglet)	276.76 ^B	328.73 ^A	336.73 ^A	8.65	0.006
Piglet at 5 days postpartum					
No piglets	133	124	144		
Litter size (pigs/sow)	11.08	10.33	12.00	0.25	0.652
Weight (kg)	1.86	1.85	1.90	0.12	0.158
ADG (g/day/piglet)	100.89	108.47	109.00	12.35	0.113
Milk intakes (mL/piglet)	523.14	527.05	514.97	523.14	0.279
Piglet at 14 days postpartum					
No piglets	126	122	137		
Litter size (pigs/sow)	10.50 ^b	10.20 ^b	11.42 ^a	0.29	0.031
Weight (kg)	3.13	3.37	3.53	0.12	0.425
ADG (g/day/piglet)	107.81 ^c	170.58 ^a	155.57 ^b	11.62	0.043

Table 4.8 (Continue)

Parameter	CON	EMPL	Mono-EMPL	SEM	P-Value
Weaned pigs (Piglets at 18 days postpartum)					
No piglets	115	114	137		
Litter size (piglet/sow)	9.60 ^b	9.50 ^b	11.42 ^a	0.50	0.052
Weight (kg)	4.05	4.36	4.44	0.17	0.623
ADG (g/day/piglet)	151.88 ^b	173.67 ^a	172.38 ^a	9.18	0.046
Pre-weaning piglet mortality rate					
Mortality rate (%)	29.40 ^A	23.63 ^{AB}	14.27 ^B	2.36	0.012
Pre-weaning piglet loss causes (%)					
Milk starvation	14.4 ^A	9.23 ^{AB}	4.30 ^B	1.51	0.002
Weak state	1.68	3.40	1.78	0.57	0.304
Crushing	2.92 ^B	9.30 ^A	7.33 ^{AB}	1.02	0.022
Diarrhea	10.4 ^A	1.70 ^B	0.86 ^B	1.11	0.001

Note: Different superscript letters (^{a, b, c}) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM, standard error of the mean; CON: control group; EMPL: emulsion of medium-chain fatty acids containing 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids (Em-MCFA-Phyto-L40); Mono-EMPL: emulsion of medium-chain fatty acids containing 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids and monolaurin (Em-MCFA-Phyto-Mono-L40).

4) ผลของการเสริม EMPL และ Mono-EMPL ต่อพฤติกรรมของลูกสุกรในกลุ่มควบคุม (CON) มีความถี่การดูดนมเฉลี่ย (suckling frequency; SF) ระยะเวลาที่ลูกเข้าดูดนมครั้งแรก (latency to first suckling; LFS) และความถี่ของพฤติกรรมการจับจองเต้านม (teat order establishment; TOE) สูงที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับชนิดของอิมัลชัน EMPL และ Mono-EMPL ทั้งในการป้อนครั้งที่ 1 ช่วง 8–12 ชั่วโมงหลังเกิด และการป้อนครั้งที่ 2 ช่วง 3–5 วันหลังคลอด พบว่า ความถี่การเข้าออกเต้านมในกลุ่ม CON มีความถี่สูงกว่า EMPL และ Mono-EMPL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งสะท้อนถึงการเข้าใกล้เต้านมแม่บ่อยครั้ง และความรุนแรงของการแข่งขันเพื่อแย่งเต้านมที่มากขึ้น (Figure 4.4A, 4.4D) กลุ่ม Mono-EMPL แสดงค่า LFS เฉลี่ยที่สั้นที่สุดหลังจากการป้อนสิ่งทดลองครั้งที่ 2 ค่าเฉลี่ย 16.25 นาที เมื่อเทียบกับ 13.06 นาทีในกลุ่ม EMPL และ 7.78 นาทีในกลุ่ม CON ซึ่งสะท้อนถึงความกระฉับกระเฉงของลูกสุกรแรกเกิด และการเข้าถึงเต้านมที่รวดเร็วขึ้น แม้ว่าความแตกต่างเหล่านี้จะไม่ปรากฏนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$; Figure 4.4B, 4.4E)

พฤติกรรมการต่อสู้เพื่อแย่งเต้านมแบบรุนแรง (TOE) เกิดบ่อยที่สุดในกลุ่ม CON ในช่วง 8–12 ชั่วโมงแรก แต่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่ม Mono-EMPL ($P<0.05$) ซึ่งบ่งชี้ถึงความขัดแย้งระหว่างลูกหมูลดลง (Figure 4.4C) สำหรับผลทางกายภาพของการแข่งขัน ค่าเฉลี่ยคะแนนบาดแผลบนใบหน้า (facial lesion scores; FLS) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทั้งกลุ่ม CON และ EMPL มากที่สุดในวันที่ 5 หลังคลอด (CON: 1.31, EMPL: 1.11) ในทางตรงกันข้าม ลูกหมูในกลุ่ม Mono-EMPL แสดงค่าเฉลี่ย FLS ต่ำที่สุดอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลา และลดลงจนถึงคะแนน 0.56 ในวันที่ 5 ซึ่งบ่งชี้ถึงการบาดเจ็บทางใบหน้าที่น้อยลงและการได้รับบาดเจ็บจากการแย่งเต้านมที่ลดลง (Figure 4.5 และสเกลการให้คะแนนใน Figure 3.3 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ปรากฏชัดระหว่างกลุ่ม CON และ Mono-EMPL ในวันที่ 3, 4 และ 5 หลังคลอด ซึ่งสนับสนุนแนวคิดผลลดลงจากการต่อสู้เมื่อได้รับอิมัลชัน Mono-EMPL ต่อการบาดเจ็บทางใบหน้าที่ในลูกหมูแรกเกิดได้อย่างชัดเจน

Table 4.9 Effects emulsions of medium-chain triglyceride containing lauric acid and Phyto cannabinoids, with or without monolaurin, on hematological parameters and serum protein profiles of pre-weaning piglets. (Experiment 2.2)

Parameter	CON	EMPL	Mono-EMPL	SEM	P-Value
Number of piglets	8	8	8		
Complete Blood Count					
WBC (cell $\times 10^5$ /L.)	1.15	1.24	1.03	0.06	0.303
RBC (cell $\times 10^6$ /L.)	6.82 ^a	6.80 ^a	5.98 ^b	0.12	0.003
Hemoglobin (g/dL)	11.83	11.66	11.06	0.28	0.536
Hct (%)	36.00	39.13	36.25	0.88	0.284
Platelet count (cell $\times 10^5$ /cu.mm)	60.65	55.88	44.89	3.49	0.170
Red blood cell (RBC) indices					
MCV (fL)	52.50 ^b	57.13 ^a	60.50 ^a	1.12	0.008
MCH (pg)	17.38	17.25	18.63	0.31	0.131
MCHC (g/dL)	33.00 ^a	30.00 ^b	30.50 ^b	0.33	0.000
RDW (%)	16.54 ^b	19.65 ^a	20.13 ^a	0.55	0.009

Table 4.9 (Continue)

Parameter	CON	EMPL	Mono-EMPL	SEM	<i>P</i> -Value
White Blood Cell and Differential Count (%)					
Neutrophil	35.75	30.88	35.75	2.69	0.712
Lymphocyte	54.13	59.50	57.88	2.83	0.746
Monocyte	6.38	7.63	6.13	0.40	0.265
Eosinophil	3.75 ^a	2.00 ^b	0.25 ^c	0.44	0.002
Biochemical tests (g/dL)					
Total protein (g/dL)	4.00 ^b	5.16 ^a	5.13 ^a	0.15	0.000
Albumin (g/dL)	3.39	3.65	3.36	0.07	0.155
Globulin (g/dL)	0.61 ^b	1.51 ^a	1.76 ^a	0.14	0.000

Note: Different superscript letters (^{a, b, c}) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM, standard error of the mean; CON: control group; EMPL: emulsion of medium-chain fatty acids containing 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids (Em-MCFA-Phyto-L40); Mono-EMPL: emulsion of medium-chain fatty acids containing 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids and monolaurin (Em-MCFA-Phyto-Mono-L40); MCV: mean corpuscular volume (femtoliters, fL); MCH: mean corpuscular hemoglobin (picograms, pg); MCHC: mean corpuscular hemoglobin concentration (grams per deciliter, g/dL); RDW: red cell distribution width

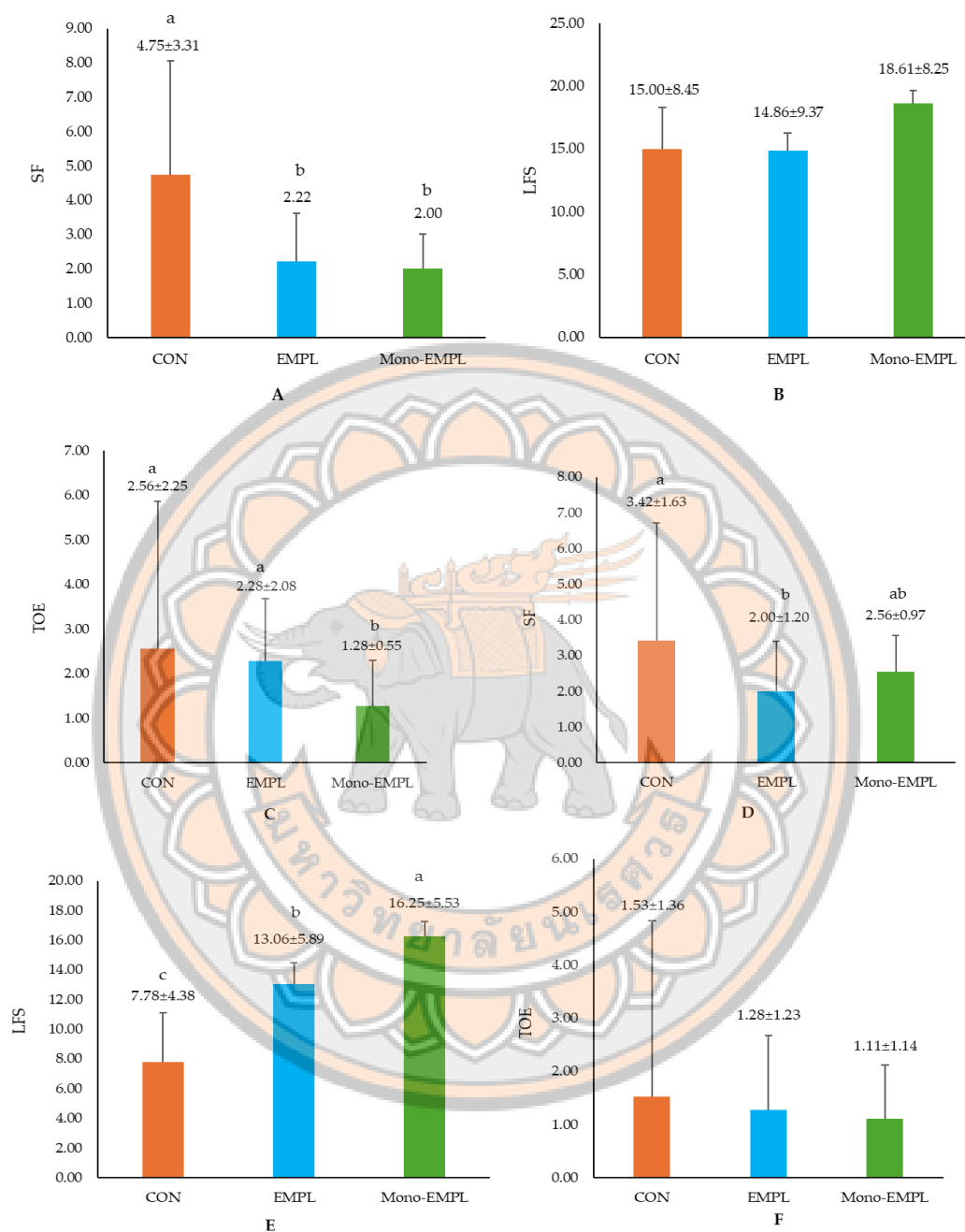


Figure 4.4 Behavioral responses of piglets following first oral administration of experimental emulsions: (A) Suckling frequency (SF), (B) Latency to first suckling (LFS), and (C) Teat order establishment (TOE) during the initial 8–12 hours postpartum; (D) Suckling frequency (SF), (E) Latency to first suckling (LFS), and (F) Teat order establishment (TOE) at 3–5 days postpartum

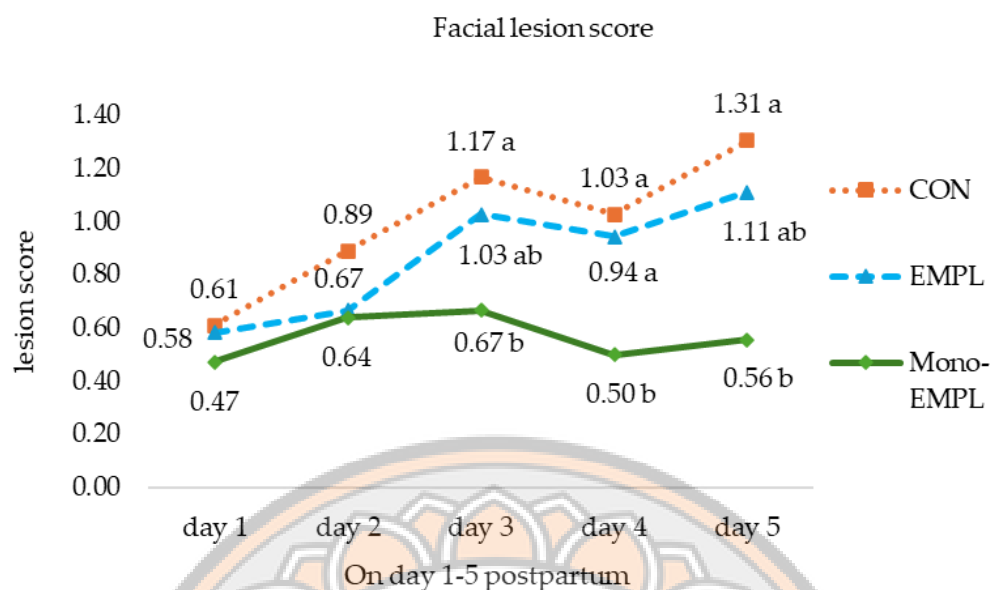


Figure 4.5 Facial lesion scores in piglets from day 1 to 5 postpartum treatment groups.

4.3 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงไมโครเอนแคปซูลดไขมันสายกลางเข้มข้นที่มีส่วนผสมของสารสกัดกัญชง และโมโนลอรินโดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.3.1 ผลของการหาสัดส่วนอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน (ผลการทดลอง 3.1)

เมื่อศึกษาสภาวะอิมัลชันที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันของกรดไขมันสายกลางเข้มข้น ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำ (oil in water emulsion) โดยเน้นในเรื่องความเข้มข้นกรดลอริกในส่วนผสมแกนกลาง (core materials) และสัดส่วนของอิมัลซิไฟเออร์ (Tween80 และ Span80) เพื่อให้ได้อิมัลชันที่มีเสถียรภาพสูงและสมบูรณ์ที่สุดสำหรับนำไปใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) เพื่อเป็นผงในกระบวนการทดลองต่อไป ผลการทดลองนี้สรุปได้ดังนี้ ความเข้มข้นกรดลอริก (Factor A) ความเข้มข้น 40% และ 50% ของกรดลอริกใน core materials ทั้งสองระดับความเข้มข้นเหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันเพื่อให้ได้ค่าดัชนีชี้ถึงเสถียรภาพสูง เช่น ค่า total soluble solids, creaming index, และค่าอื่น ๆ และ ความเข้มข้นกรดลอริกของวัสดุแกนกลาง 60% ให้ผลที่ต่ำกว่าหรือต่ำกว่าในบางตัวชี้วัด เช่น creaming index ค่า pH และเสถียรภาพในบางด้าน อีกทั้งสัดส่วนของ tween80 และ span80 (Factor B) เพื่อศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสม 90:10, 80:20 และ 65:35 โดยสัดส่วนเหล่านี้ทำให้อิมัลชันมีค่า creaming index, precipitation index, และ stability measures ที่ดีขึ้น แต่สัดส่วนที่ 50:50 เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากทำให้อิมัลชันเกิดการแยกชั้นหรือความไม่เสถียรสูง จากผลการวัดขนาด

อนุภาค (droplet size) อยู่ในช่วงประมาณ 79-103 นาโนเมตร ซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวของอิมัลชันในสภาพนาโน และค่า zeta potential มีค่าติดลบสูง (ประมาณ -42 ถึง -57 mV) แสดงถึงความเสถียรของระบบอิมัลชัน โดยค่ายิ่งสูง (ค่าลบมาก) ยิ่งบ่งชี้ว่าอิมัลชันมีความเสถียรมาก ดังนั้นความแตกต่างของ droplet size และ zeta potential ขึ้นกับความเข้มข้นกรดลอริกและสัดส่วน Tween80 กับ

Span80 (Table 4.10-4.12)

จาก Figure 4.6 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของสภาวะอิมัลชันภายใต้อิทธิพลของความเข้มข้นของกรดลอริกที่แตกต่างกัน (40% และ 50%) ซึ่งเป็นวัสดุแกนกลาง และอัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกต่างกัน (Tween80 and Span80 ที่ 90:10, 80:20, 65:35) โดยใช้มาตรวัดขนาดของโมเลกุลของอิมัลชัน (50 ไมโครเมตร) ที่กำลังขยาย 40x พบว่าขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคโดยทั่วไปแล้ว การเพิ่มระดับกรดลอริกจาก 40% เป็น 50% จะส่งผลให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย และมีความแปรปรวนมากขึ้น จะเห็นได้ชัดเจนเนื่องจากขนาดอนุภาคของอิมัลชันที่ระดับความเข้มข้นของวัสดุแกนกลาง 50% มีขนาดใหญ่ขึ้นและรวมตัวกันเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ 40% โดยไม่คำนึงถึงอัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์ แต่เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลของอัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์ทั้งสองชนิดพบว่าอัตราส่วนทวิน 80 ที่สูงขึ้นแสดงถึงความสามารถในการขบให้น้ำมันมากขึ้น ส่วนอัตราส่วน Span80 ที่สูงขึ้นแสดงถึงความสามารถในการขบน้ำมันมากขึ้น จากภาพพบว่าขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคผ่านการส่องกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40x ขนาดมาตรวัดโมเลกุลอนุภาค 50 ไมโครเมตร มีแนวโน้มที่จะมีความสม่ำเสมอและรวมตัวกันมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความเสถียรของอิมัลชันที่ลดลงของสภาวะเสถียรภาพของอิมัลชันก่อนที่จะนำไปพ่นเข้าเครื่องสเปรย์ทราย เมื่อพิจารณาจากลักษณะพื้นผิวภาพทั้งหมดแสดงอนุภาคขนาดไมโครของอิมัลชันเป็นทรงกลม ซึ่งบ่งชี้ถึงการพ่นที่มีประสิทธิภาพและความเสถียรของอิมัลชันที่ดี แต่บางอัตราส่วนที่มีสัดส่วน Span80 ที่สูงขึ้น อาจทำให้พื้นผิวที่ขรุขระขึ้นหรือเกิดการรวมตัวบางส่วน ซึ่งเป็นสัญญาณของอิมัลชันที่เสถียรน้อยลง ซึ่งภาพแสดงสีเขียวภายในอนุภาคอิมัลชันสีเขียว ซึ่งเป็นสีของสารสีกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ พบว่ามีการกระจายตัวของสารสีกัดฯ ภายในโมเลกุลของอิมัลชัน โดยอนุภาคขนาดเล็กและสม่ำเสมอมากขึ้นเป็นสภาวะที่เหมาะสมของอิมัลชันก่อนนำไปทำแห้งพ่นฝอยที่สภาวะความเข้มข้นกรดลอริก 40% และอัตราส่วนระหว่าง Tween80 กับ Span80 อัตราส่วนที่เหมาะสม 80:20 ซึ่งสัมพันธ์กับตัวชี้วัดความแตกต่างของ droplet size และ zeta potential

เพื่อเตรียมอิมัลชันสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการทดลองที่ 3.2 ได้สภาวะของอิมัลชันได้ดังนี้ ได้ความเข้มข้นของกรดลอริกในวัตถุดิบแกนกลาง 40 และ 50% อิมัลซิไฟเออร์ในส่วนผสมอิมัลชันกำหนดให้มีปริมาณ 15 % โดยกำหนดให้มีสัดส่วนระหว่าง Tween80 กับ Span80 (%) ที่เหมาะสม 80:20 โดยกำหนดรอบการปั่นผสมด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ กำหนดรอบ 12,000

rpm ใช้เวลา 10 นาที จะได้สัดส่วนระหว่าง core ต่อ wall material กำหนดอัตราส่วน 1:3 ส่วน การเตรียม wall material Ratio โดยใช้มอลโตเด็คทรีนซ์ (MD) และ โซเดียมเคซีเนต (NaCas) กำหนดอัตราส่วน 4 ต่อ 1 โดยมีขั้นตอนการเตรียมส่วนผสม ประกอบด้วย น้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 750 ml กำหนดสัดส่วนให้ MD ต่อ NaCas (4:1) หรือ (240:60 กรัม) และกำหนดปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ทั้งหมด (TSS) เท่ากับ 40%

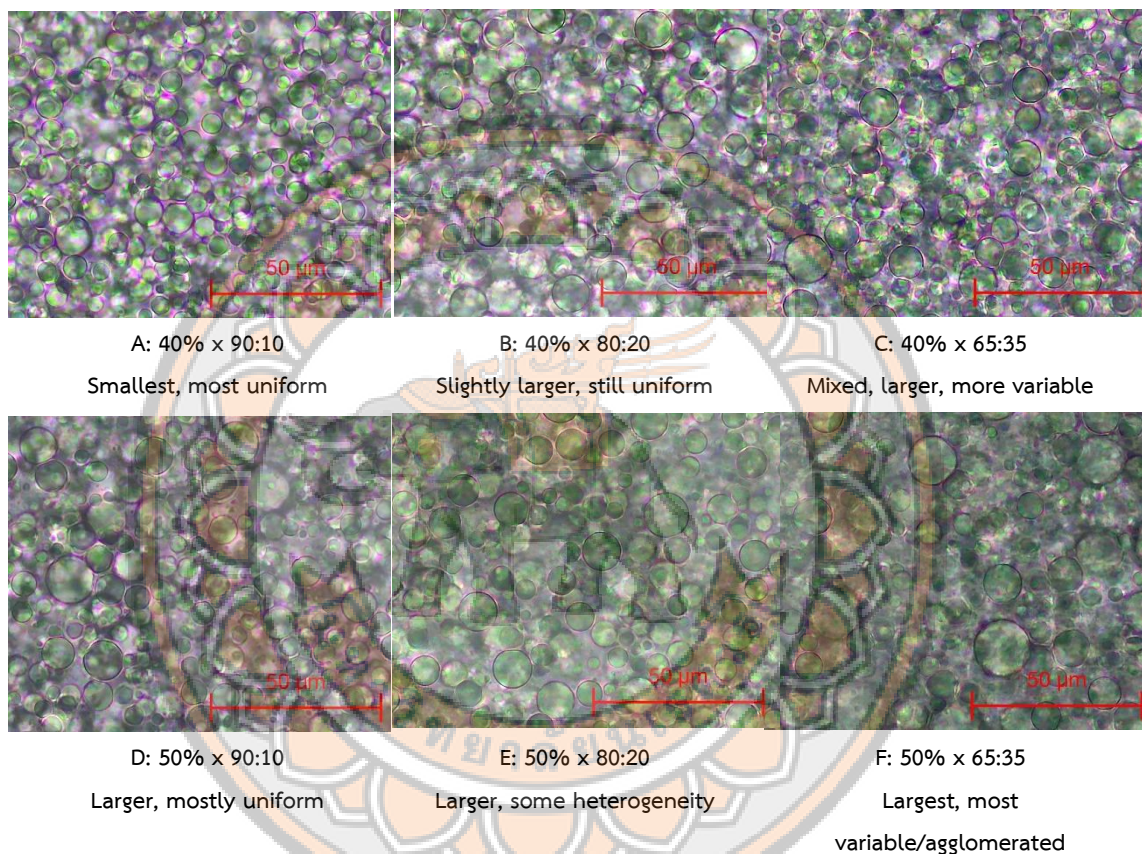


Figure 4.6 Microscopic images of oil-in-water emulsions state (Mono-EMPL)
(magnification 40X; 50 μ m)

Table 4.10 Optimum emulsion conditions (Oil-in-Water): Effects of formulation variables on total soluble solids (TSS), pH, and creaming index (CI).

Factor	TSS			pH				CI (%)		
	%	0 hr.	4 hr.	8 hr.	12 hr.	4 hr.	8 hr.	12 hr.	8 hr.	12 hr.
Interaction factor A x B										
40% x 90:10	40.25 ^{BC} ±1.33	6.47 ^{ABC} ±0.05	6.50 ^{CD} ±0.01	6.58 ^{ABC} ±0.04	6.68 ^A ±0.04	12.00 ^{BCD} ±5.06	21.60^{AB}±4.02	33.00 ^B ±8.95		
40% x 80:20	37.25 ^D ±3.09	6.51 ^{AB} ±0.02	6.59 ^{AB} ±0.06	6.63 ^A ±0.03	6.68 ^A ±0.01	4.00 ^{EF} ±0.01	11.60 ^D ±0.44	12.60 ^{DE} ±0.70		
40% x 65:35	40.25 ^{BC} ±0.42	6.48 ^{ABC} ±0.02	6.61 ^A ±0.01	6.61 ^{AB} ±0.02	6.63 ^B ±0.01	7.60 ^{DE} ±4.44	19.20 ^{CD} ±1.01	20.00 ^C ±1.01		
40% x 50:50	40.25 ^{BC} ±0.42	6.56 ^A ±0.17	6.62 ^A ±0.02	6.60 ^{AB} ±0.01	6.62 ^{BC} ±0.01	11.40 ^{BCD} ±4.17	21.00^{AB}±3.30	21.60 ^C ±3.08		
50% x 90:10	39.75 ^{BCD} ±0.72	6.39 ^{BCD} ±0.05	6.46 ^D ±0.10	6.50 ^{DE} ±0.01	6.60 ^{BCD} ±0.01	11.00 ^{BCD} ±1.67	24.00^A±2.83	40.60^A±1.00		
50% x 80:20	38.50 ^{CD} ±2.88	6.42 ^{BCD} ±0.07	6.57 ^{ABC} ±0.02	6.55 ^{BCD} ±0.05	6.60 ^{BCD} ±0.01	8.80 ^{CDE} ±7.89	11.60 ^D ±0.67	12.20 ^{CD} ±0.60		
50% x 65:35	41.00 ^{BC} ±0.71	6.44 ^{ABC} ±0.08	6.51 ^{BCD} ±0.01	6.57 ^{ABC} ±0.04	6.60 ^{CD} ±0.01	7.10 ^{DE} ±5.49	18.00 ^{CD} ±0.44	18.80 ^C ±0.44		
50% x 50:50	40.50 ^{BC} ±0.55	6.38 ^{CD} ±0.02	6.56 ^{ABC} ±0.05	6.52 ^{CD} ±0.04	6.57 ^{DE} ±0.01	17.00 ^{AB} ±1.67	16.80 ^C ±0.87	17.60 ^{CD} ±0.88		
60% x 90:10	40.25 ^{BC} ±0.42	6.31 ^D ±0.04	6.35 ^E ±0.03	6.38 ^G ±0.04	6.48 ^{GH} ±0.01	7.20 ^{DE} ±0.87	8.40 ^D ±0.67	10.60 ^E ±0.87		
60% x 80:20	39.50 ^{BCD} ±1.64	6.40 ^{BCD} ±0.04	6.49 ^{CD} ±0.02	6.50 ^{DE} ±0.06	6.47 ^H ±0.01	19.00^A±1.67	19.80 ^{CD} ±0.70	20.60 ^C ±0.33		
60% x 65:35	41.75 ^B ±1.54	6.38 ^{CD} ±0.02	6.44 ^D ±0.02	6.44 ^{EF} ±0.01	6.54 ^{EF} ±0.05	15.60 ^{ABC} ±0.44	18.40 ^{CD} ±1.36	19.20 ^C ±1.36		
60% x 50:50	46.70 ^A ±1.20	6.36 ^{CD} ±0.02	6.45 ^D ±0.02	6.43 ^{FG} ±0.02	6.52 ^{FG} ±0.01	0.00 ^F	0.00 ^E	0.00 ^F		

Table 4.10 (Continue)

Factor	TSS		pH				CI (%)	
	%	0 hr.	4 hr.	8 hr.	12 hr.	4 hr.	8 hr.	12 hr.
Factor A: Lauric acid concentration in core materials (Oil)								
40%	39.50 ^B ±2.07	6.50 ^A ±0.09	6.58 ^A ±0.06	6.60 ^A ±0.03	6.65 ^A ±0.03	8.75±4.49	18.35 ^A ±4.77	21.80 ^A ±8.69
50%	39.94 ^B ±1.71	6.41 ^B ±0.06	6.52 ^B ±0.06	6.53 ^B ±0.04	6.59 ^B ±0.01	10.96±5.99	17.60 ^A ±4.73	22.30 ^A ±11.11
60%	41.87 ^A ±3.00	6.36 ^C ±0.04	6.43 ^C ±0.06	6.43 ^C ±0.06	6.50 ^C ±0.04	10.90±7.45	12.16 ^B ±8.04	13.15 ^B ±8.17
Factor B: Ratio Tween80 and Span80 (%)								
90:10	40.08 ^B ±0.83	6.39±0.08	6.44 ^B ±0.08	6.48 ^C ±0.09	6.59 ^a ±0.08	10.07±3.62	18.00 ^A ±7.55	28.07 ^A ±13.99
80:20	38.42 ^C ±0.64	6.44±0.06	6.55 ^A ±0.05	6.56 ^A ±0.07	6.58 ^{ab} ±0.09	10.60±7.78	14.33 ^B ±4.02	15.13 ^C ±4.02
65:35	41.00 ^{AB} ±1.14	6.43±0.06	6.52 ^A ±0.07	6.54 ^{AB} ±0.08	6.59 ^a ±0.04	10.10±5.00	18.53 ^A ±1.08	19.33 ^B ±1.08
50:50	42.24 ^A ±3.06	6.44±0.13	6.55 ^A ±0.07	6.52 ^B ±0.07	6.57 ^b ±0.04	10.02±7.53	13.34 ^B ±9.26	13.84 ^C ±9.54
SEM	0.622	0.026	0.017	0.013	0.008	1.430	0.756	1.167
P-value								
Factor A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.000	0.000
Factor B	0.000	0.070	0.000	0.000	0.017	0.822	0.000	0.000
Factor A x B	0.000	0.219	0.122	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000

Note: Values are presented as mean ± standard deviation (Mean ± SD) from replicated experiments (n = 5). Different superscript letters (^{A, B, C}) above the values indicate statistically significant differences among treatments, as determined by Tukey's at P < 0.05. Abbreviations: TSS, total soluble solids; CI, creaming index.

Table 4.11 Optimum formulation parameters and physicochemical properties of dil-in-water emulsions.

Factor	PI		FF		SACS		OI		viscosity		Torque		ESI		EAI	
	%		%		%		%		Cp		%		%		%	
Interaction factor A x B																
40% x 90:10	65.88^{ABCD}	±13.99	2.40^E	±0.01	51.96^{BC}	±1.87	15.42^{AB}	±1.73	218.0^E	±1.78	43.63^E	±0.65	33.74^{BCDE}	±14.15	79.68^{AB}	±0.92
40% x 80:20	66.75^{ABC}	±3.11	3.87^{CDE}	±2.39	25.13^E	±0.27	0.00^F		216.5^E	±2.79	43.30^F	±0.56	56.59^A	±10.43	79.79^{AB}	±0.58
40% x 65:35	45.10^{EF}	±19.57	3.73^{CDE}	±1.09	34.63^D	±0.73	4.08^{EF}	±1.64	245.3^D	±4.95	49.07^D	±0.99	35.07^{BCDE}	±7.51	79.25^{AB}	±0.67
40% x 50:50	45.42^{EF}	±1.02	3.60^{CDE}	±0.67	35.46^D	±6.59	7.70^{DE}	±5.90	247.0^{CD}	±7.79	49.40^{CD}	±1.56	20.17^E	±1.91	77.13^C	±1.36
50% x 90:10	56.07^{BCDE}	±0.50	2.60^{DE}	±0.87	56.30^{ABC}	±4.31	17.97^A	±2.18	197.0^F	±0.89	39.40^F	±0.09	26.13^{DE}	±3.53	78.57^{BC}	±0.99
50% x 80:20	50.87^{CDE}	±11.99	5.47^{BC}	±1.37	60.29^A	±6.66	10.58^{CD}	±3.88	199.7^F	±2.21	39.93^F	±0.44	51.03^{AB}	±4.30	79.06^{AB}	±0.93
50% x 65:35	21.50^G	±2.53	5.60^{BC}	±1.01	59.10^{AB}	±4.23	12.21^{BCD}	±0.69	201.2^F	±1.44	40.23^F	±0.29	44.86^{ABCD}	±26.06	79.92^{AB}	±1.59
50% x 50:50	27.97^{FG}	±11.99	6.80^B	±0.98	48.07^C	±6.86	1.94^F	±3.00	259.5^C	±5.71	51.90^C	±1.14	44.37^{ABCD}	±8.42	79.89^{AB}	±0.39
60% x 90:10	80.28^A	±4.00	5.20^{BCDE}	±0.95	0.00^G		13.05^{AB}	±1.11	243.3^D	±9.48	48.77^D	±1.39	30.23^{CDE}	±7.03	79.91^{AB}	±1.19
60% x 80:20	47.64^{DE}	±5.68	5.33^{BCD}	±1.73	3.90^F	±0.16	0.00^F		350.3^B	±10.25	70.07^B	±2.05	47.42^{ABC}	±4.27	79.42^{AB}	±0.65
60% x 65:35	48.84^{CDE}	±3.36	6.40^{BC}	±1.96	0.00^G		0.00^F		358.9^B	±2.78	70.67^B	±1.37	29.06^{CDE}	±6.55	80.67^A	±0.48
60% x 50:50	70.27^{AB}	±7.53	12.96^A	±2.22	0.00^G		0.00^F		378.7^A	±11.67	76.32^A	±2.82	16.39^E	±0.616	78.70^{BC}	±0.27

Note: Values are presented as mean ± standard deviation (Mean ± SD) from replicated experiments (n = 5). Different superscript letters (^{A, B, C}) above the values indicate statistically significant differences among treatments, as determined by Tukey's at P < 0.05.. Abbreviations: PI, precipitation index; FF, foam fraction; SACS, stability against cream separation; OI, oiling off index; ESI, emulsion stability index; EAI, emulsion activity index

Table 4.11 (Continue)

Factor	PI %	FF %	SACS %	OI %	viscosity Cp	Torque %	ESI %	EAI %
Factor A: Lauric acid concentration in core materials (Oil)								
40%	55.76 ^A ±15.62	3.40 ^C ±1.40	36.79 ^B ±10.41	6.80 ^B ±6.51	231.7 ^B ±15.48	46.35 ^B ±3.10	36.39 ^{AB} ±16.05	78.96 ^b ±1.40
50%	39.10 ^B ±17.68	5.12 ^B ±1.86	55.94 ^A ±7.18	10.67 ^A ±6.38	214.3 ^C ±26.84	42.87 ^C ±5.37	41.60 ^A ±16.13	79.36 ^{ab} ±1.15
60%	61.39 ^A ±15.28	7.23 ^A ±3.52	1.02 ^C ±3.36	3.40 ^C ±5.88	330.8 ^A ±54.76	66.03 ^A ±10.90	31.40 ^B ±12.18	79.72 ^a ±1.00
Factor B: Ratio Tween80 and Span80 (%)								
90:10	67.41 ^A ±12.92	3.40 ^C ±1.48	36.08 ^A ±26.44	15.48 ^A ±2.63	219.4 ^D ±20.18	43.93 ^D ±4.03	30.03 ^B ±0.92	79.39 ^{AB} ±1.15
80:20	55.09 ^B ±12.70	4.89 ^B ±1.92	29.77 ^B ±24.45	3.52 ^B ±5.54	255.5 ^C ±69.61	51.10 ^C ±13.92	51.68 ^A ±0.58	79.42 ^A ±0.76
65:35	38.48 ^C ±16.52	5.24 ^B ±1.76	31.24 ^B ±25.06	5.43 ^B ±5.31	268.5 ^B ±68.44	53.32 ^B ±13.18	36.33 ^{AB} ±0.67	79.94 ^A ±1.14
50:50	46.57 ^{BC} ±19.11	7.48 ^A ±4.11	29.48 ^B ±21.04	3.40 ^B ±5.00	290.1 ^A ±59.71	58.20 ^A ±12.23	27.60 ^B ±1.36	78.56 ^B ±1.44
SEM	3.944	0.578	1.747	1.002	2.517	0.533	4.221	0.379
P-value								
Factor A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.037
Factor B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Factor A x B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000

Note: Values are presented as mean ± standard deviation (Mean ± SD) from replicated experiments (n = 5). Different superscript letters (^{A, B, C}) above the values indicate statistically significant differences among treatments, as determined by Tukey's at P < 0.05. Abbreviations: PI, precipitation index; FF, foam fraction; SACS, stability against cream separation; OI, oiling off index; ESI, emulsion stability index; EAI, emulsion activity index.

Table 4.12 Effects of lauric acid concentration in core materials and Tween 80 to Span 80 ratio on droplet size and zeta potential of nanoemulsions.

Factor	Nano-Emulsion			
	Droplet size (nm)	PDI	Zeta Potentials (mV)	Zeta Deviation (mV)
Interaction factor A x B				
40% x 90:10	102.17±2.60 ^a	0.88±0.01	-56.85±1.06 ^b	54.70±2.82 ^c
40% x 80:20	103.70±7.45 ^a	0.82±0.06	-57.20±0.42 ^b	57.50±0.98 ^{bc}
40% x 65:35	79.21±4.33 ^b	0.59±0.06	-41.85±0.64 ^a	85.70±2.55 ^a
50% x 90:10	98.78±11.34 ^{ab}	0.86±0.01	-42.65±2.47 ^a	86.85±3.46 ^a
50% x 80:20	80.12±2.37 ^b	0.65±0.23	-53.85±1.77 ^b	67.15±0.92 ^b
50% x 65:35	76.97±4.77 ^c	0.42±0.01	-43.55±1.48 ^a	91.55±5.16 ^a
Factor A: Lauric acid concentration in core materials (Oil)				
40%	95.03±12.92 ^a	0.76±0.14	-51.97±7.86 ^b	65.97±15.44 ^b
50%	85.29±11.94 ^b	0.64±0.22	-46.68±5.77 ^a	81.85±11.92 ^a
Factor B: Ratio Tween80 and Span80 (%)				
90:10	100.47±6.99 ^a	0.87±0.01 ^a	-49.75±8.34 ^b	70.78±18.74 ^b
80:20	91.91±14.35 ^a	0.73±0.17 ^a	-55.52±2.20 ^c	62.32±5.63 ^c
65:35	78.09±3.94 ^b	0.51±0.11 ^b	-42.70±1.35 ^a	88.63±4.74 ^a
SEM	4.460	0.072	1.047	2.140
P-value				
Factor A	0.037	0.089	0.001	0.000
Factor B	0.007	0.006	0.000	0.000
Factor A x B	0.041	0.483	0.001	0.002

Note: Values are presented as mean ± standard deviation (Mean ± SD) from replicated experiments (n = 5). Different superscript letters (^a, ^b, ^c) above the values indicate statistically significant differences among treatments, as determined by Tukey's at P < 0.05. Abbreviation: PDI, Polydispersity Index

4.3.2 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของผงไมโครเอนแคปซูล (ผลการทดลอง 3.3)

ผลผลิต (spray drying yield) ของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยแล้วได้ผงไมโครเอนแคปซูลสูงสุด จะต้องกำหนดสภาวะโดยการใช้อุณหภูมิร้อนชาเข้า 220°C และความเข้มข้นกรดลอริกในวัสดุแกนกลาง 50% ได้ผลผลิต 89.73% ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

จากผลผลิต (spray drying yield) ภายใต้สภาวะโดยการใช้อุณหภูมิร้อนชาเข้า 220°C และความเข้มข้นกรดลอริกในวัสดุแกนกลาง 50% ให้ผลที่สอดคล้องกับน้ำหนักผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งค่าเฉลี่ย 7.78 กรัมต่อนาที่ ($P < 0.02$) แต่ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (encapsulation efficiency) ของการทำแห้งแบบพ่นฝอยครั้งนี้สูงที่สุดที่สภาวะการใช้อุณหภูมิ 190°C เท่ากับ 83.59% โดยพบว่าทั้งสองปัจจัยส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อประสิทธิภาพการห่อหุ้ม ($P < 0.05$) ซึ่งแสดงพบว่าประสิทธิภาพในการห่อหุ้มโดยวัดจากตัวชี้วัดปริมาณไขมันที่ไม่ถูกห่อหุ้ม (surface fat content) ของทั้งสองอิทธิพลแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิร้อนชาเข้าลดลงจะส่งเสริมให้ปริมาณไขมันที่ไม่ถูกห่อหุ้มลดลง ($P < 0.05$) (Table 4.16) เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผงไมโครเอนแคปซูล พบว่าความชื้นผงไมโครเอนแคปซูลอยู่ในระดับต่ำ (ประมาณ 1.9–2.3%) โดยความชื้นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิมากขึ้น ($P < 0.05$) และ กิจกรรมของน้ำ (water activity) มากขึ้นเล็กน้อยในความเข้มข้น 50% และอุณหภูมิสูงกว่า ($P < 0.05$) ส่วนความหนาแน่นของผง (bulk density และ tapped density) เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นกรดลอริกเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างอย่างชัดเจน ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับดัชนีการอัดตัว (compressibility ratio) ลดลงในระดับที่ความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิสูง ($P < 0.05$) แสดงถึงความสิ้นเปลืองและความสามารถในการไหลของผงที่ดีขึ้น (Table 4.13)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันของผงไมโครเอนแคปซูลตามระดับกรดลอริกที่แตกต่างกัน ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยภายใต้สภาวะต่าง ๆ พบว่าการเลือกกำหนดสภาวะของอุณหภูมิและความเข้มข้นของกรดลอริกในวัสดุแกนกลาง ต่อกระบวนการผลิตผงไมโครเอนแคปซูล มีอิทธิพลโดยตรงต่อปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิดในผงไมโครเอนแคปซูล โดยเฉพาะกรดไขมันสายกลาง (MCFA) ซึ่งมีกรดลอริก (C12:0) เป็นองค์ประกอบหลัก จากผลการทดลอง พบว่าสภาวะที่ใช้ความเข้มข้นกรดลอริก 50% และอุณหภูมิ 190°C ส่งผลให้ได้ปริมาณกรดลอริกสูงสุดที่ 15.41 กรัมต่อ 100 กรัม ในขณะที่สภาวะความเข้มข้นกรดลอริก 40% และอุณหภูมิ 220°C จะมีปริมาณกรดลอริกลดลงอย่างชัดเจน เหลือเพียง 10.4 กรัมต่อ 100 กรัม เช่นเดียวกับปริมาณ MCFA รวม ที่สภาวะ $50\% \times 190^{\circ}\text{C}$ มีปริมาณสูงสุดที่ 16.29 กรัมต่อ 100 กรัม และต่ำสุดที่ 11.12 กรัมต่อ 100 กรัมในสภาวะ $40\% \times 220^{\circ}\text{C}$ ข้อมูลนี้บ่งชี้ว่าทั้งปัจจัยอุณหภูมิและความเข้มข้นของกรดลอริกส่งผลต่อความ

คงตัวของ MCFA ส่วนด้านปริมาณไขมันอิ่มตัว (saturated fat) และไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fat) พบว่าไขมันอิ่มตัวมีปริมาณสูงสุดที่ 21.8 กรัมต่อ 100 กรัม ภายใต้สภาวะ $50\% \times 190^{\circ}\text{C}$ และน้อยสุดที่ 15.3 กรัมต่อ 100 กรัมในสภาวะ $40\% \times 220^{\circ}\text{C}$ ลักษณะเดียวกันในไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งพบสูงสุดที่ 9.07 กรัมต่อ 100 กรัม และต่ำสุดที่ 6.6 กรัมต่อ 100 กรัม ภายใต้สภาวะเดียวกัน นอกจากนี้ในส่วนของกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า (Omega 6 และ Omega 9) พบว่ามีปริมาณสูงในทุกสภาวะ โดยเฉพาะ Omega 9 มีปริมาณถึง 6,029.97 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ความเข้มข้นสารตั้งต้นต่ำหรืออุณหภูมิสูง (Table 4.15)

ดังนั้นสรุปได้ว่าการเลือกใช้สภาวะอุณหภูมิและระดับความเข้มข้นของกรดลอริกซึ่งเป็นวัสดุแกนกลางของการทำแท่งแบบพ่นฝอย ภายใต้สภาวะที่ใช้อุณหภูมิ 190°C และความเข้มข้นของกรดลอริก 50% จะช่วยคงปริมาณกรดลอริกและกรดไขมันได้มากกว่า 220°C



Table 4.13 Effects of spray drying process parameters, lauric acid concentration in core materials, and Inlet air temperature on the physical properties and encapsulation efficiency of microencapsulated powder

.Factor	Feed input rate (mL/min)	powder output (g/min)	Spray dry Yield (%)	Surface fat content (%SF)		Encapsulation Efficiency (%EE)	
				1 hr	1.5 hr	1 hr	1.5 hr
Interaction factor A x B							
40% x 190°C	15.45±0.10	6.99 ^c ±0.04	84.74 ^c ±0.05	16.59±0.19	16.67 ^c ±0.47	83.41±0.19	83.32 ^A ±0.47
40% x 220°C	15.60±0.17	7.30 ^b ±0.09	87.66 ^b ±0.13	17.92±0.90	20.74 ^A ±0.49	82.08±0.90	79.25 ^c ±0.49
50% x 190 °C	15.76±0.01	7.17 ^{bc} ±0.03	85.25 ^c ±0.40	16.02±0.14	16.41 ^c ±0.01	83.98±0.14	83.59 ^A ±0.01
50% x 220 °C	16.32±0.55	7.81 ^a ±0.18	89.73 ^a ±1.00	17.18±0.15	17.52 ^B ±0.50	82.82±0.15	82.47 ^B ±0.05
Factor A: Lauric acid concentration in core materials (Oil)							
40%	15.52 ^b ±0.15	7.14 ^B ±0.18	86.20 ^B ±1.60	17.25 ^a ±0.93	18.71 ^A ±2.27	82.74 ^b ±0.93	81.29 ^B ±2.27
50%	16.04 ^a ±0.46	7.49 ^A ±0.37	87.50 ^A ±2.55	16.60 ^b ±0.64	16.97 ^B ±0.61	83.40 ^a ±0.65	83.03 ^A ±0.61
Factor B: Inlet air temperature (°C)							
190 °C	15.61±0.18	7.08 ^B ±0.11	85.01 ^B ±0.38	16.30 ^B ±0.35	16.55 ^B ±0.33	83.70 ^A ±0.35	83.45 ^A ±0.33
220 °C	15.96±0.54	7.56 ^A ±0.31	88.70 ^A ±1.30	17.55 ^A ±0.71	19.14 ^A ±1.79	82.45 ^B ±0.71	80.86 ^B ±1.79
SEM	0.085	0.03	0.157	0.223	0.115	0.223	0.115
P-value							
Factor A	0.060	0.000	0.003	0.043	0.000	0.043	0.000
Factor B	0.074	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000
Factor A x B	0.260	0.024	0.037	0.760	0.000	0.760	0.000

Table 4.13 (continue)

Factor	Moisture analysis (%)	Water activity (A_w)	Bulk density	Tapped density	Compressibility of powder ratio
Interaction factor A x B					
40% x 190 °C	2.17 ^B ±0.11	0.36 ^C ±0.01	34.04 ^C ±1.06	48.08±0.64	29.21 ^A ±1.99
40% x 220°C	1.99 ^C ±0.06	0.40 ^B ±0.01	36.78 ^B ±0.36	44.08±0.64	18.01 ^B ±0.77
50% x 190 °C	2.30 ^A ±0.05	0.44 ^A ±0.02	42.75 ^A ±0.99	52.36±0.60	18.35 ^B ±1.51
50% x 220 °C	1.93 ^C ±0.03	0.42 ^A ±0.01	43.69 ^A ±1.03	49.28±1.07	11.31 ^C ±3.02
Factor A: Lauric acid concentration in core materials (Oil)					
40%	2.08±0.13	0.38 ^B ±0.02	36.40 ^B ±1.62	46.46 ^B ±1.79	23.61 ^A ±6.07
50%	2.11±0.20	0.43 ^A ±0.01	43.68 ^A ±1.03	50.82 ^A ±1.82	14.83 ^B ±4.34
Factor B: Inlet air temperature (°C)					
190 °C	2.24 ^A ±0.10	0.39±0.04	38.39 ^B ±4.69	50.22 ^A ±2.33	23.78 ^A ±5.95
220 °C	1.96 ^B ±0.06	0.41±0.02	40.23 ^A ±3.72	47.06 ^B ±2.47	14.66 ^B ±4.10
SEM	0.014	0.003	0.830	0.554	3.991
P-value					
Factor A	0.266	0.000	0.000	0.000	0.000
Factor B	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000
Factor A x B	0.003	0.000	0.043	0.821	0.034

Note: Values are presented as mean ± standard deviation (Mean ± SD) from replicated experiments (n = 3). Different superscript letters (^a, ^b, ^c) above the values indicate statistically significant differences among treatments, as determined by Tukey's at P < 0.05.

Table 4.14 Effects of lauric acid concentration and inlet air temperature on the chemical composition of microencapsulated powder.

Factor	Dry matter (%)	Ash (%)	Ether Extract (%)	Gross Energy (kcal/g)	Metabolizable Energy (kcal/g)	Crude Protein (%)	Carbohydrate (%)	Calculation Lauric acid (C12:0) (%/total fat)
Interaction factor A x B								
40% x 190 °C	99.88±0.04	2.08±0.61	34.42 ^B ±0.21	6,126.85^{AB}±38.51	5,834.58^a±36.67	9.87 ^D ±0.06	53.50 ^A ±0.34	37.04 ^C ±0.23
40% x 220°C	99.83±0.01	2.93±0.12	33.53 ^C ±0.04	6,047.51 ^B ±7.41	5,752.68 ^b ±7.05	10.39 ^C ±0.01	52.97 ^{AB} ±0.06	31.02 ^D ±0.04
50% x 190 °C	99.79±0.01	2.51±0.96	33.97 ^{BC} ±0.33	6,094.94^A±0.04	5,791.88^{ab}±57.05	10.66^B±0.11	52.64 ^B ±0.52	45.36^A±0.45
50% x 220 °C	99.78±0.02	3.01±0.23	35.26^A±0.08	6,160.78^A±14.68	5,838.88^a±13.92	11.70^A±0.03	49.82 ^C ±0.12	37.95 ^B ±0.09
Factor A: Lauric acid concentration in core materials (Oil)								
40%	99.85 ^A ±0.03	2.51±0.61	33.98 ^B ±0.51	6,087.18±50.04	5,793.63±50.70	10.13 ^B ±0.29	53.24^A±0.36	34.03 ^B ±3.30
50%	99.79^B±0.02	2.76±0.68	34.62^A±0.74	6,127.86±53.18	5,815.38±45.19	11.18^A±0.57	51.24 ^B ±1.59	41.65^A±4.07
Factor B: Inlet air temperature (°C)								
190 °C	99.83±0.05	2.29±0.76	34.20±0.35	6,110.90±48.38	5,813.23±48.85	10.27 ^B ±0.44	53.08^A±0.61	41.20^A±4.57
220 °C	99.81±0.03	2.97±0.16	34.40±0.95	6,104.14±62.91	5,795.78±48.24	11.04^A±0.71	51.40 ^B ±1.73	34.48 ^B ±3.79
SEM	0.00	0.34	0.04	1339.49	1210.79	0.00	0.10	0.07
P-value								
Factor A	0.001	0.484	0.001	0.090	0.310	0.000	0.000	0.000
Factor B	0.074	0.081	0.129	0.757	0.410	0.000	0.000	0.000
Factor A x B	0.201	0.621	0.000	0.009	0.012	0.000	0.000	0.002

Note: Values are presented as mean ± standard deviation (Mean ± SD) from replicated experiments (n = 3). Different superscript letters (a, b, c) above the values indicate statistically significant differences among treatments, as determined by Tukey's at P < 0.05.

Table 4.15 Effects of lauric acid concentration and inlet air temperature on the fatty acid profile of microencapsulated powder.

Items (g/100g)	40% x 190 °C	40% x 220°C	50% x 190 °C	50% x 220°C
Fatty acid composition				
Caproic acid (C6:0)	0.02	0.02	0.03	0.03
Caprylic acid (C8:0)	0.43	0.34	0.41	0.37
Capric acid (C10:0)	0.45	0.35	0.43	0.37
Undecanoic acid (C11:0)	0.01	0.01	0.01	0.01
Lauric acid (C12:0)	12.75	10.4	15.41	13.38
Medium-chain fatty acids (MCFA)	13.66	11.12	16.29	14.16
Tridecanoic acid (C13:0)	0.02	0.02	0.02	0.02
Myristic acid (C14:0)	2.12	1.6	1.93	1.74
Palmitic acid (C16:0)	2.82	2.05	2.85	2.6
Heptadecanoic acid (C17:0)	0.01	0.01	0.01	0.01
Stearic acid (C18:0)	0.59	0.43	0.58	0.54
Arachidic acid (C20:0)	0.06	0.04	0.06	0.06
Behenic acid (C22:0)	0.03	0.02	0.03	0.02
Lignoceric acid (C24:0)	0.03	0.02	0.02	0.02
Saturated Fatty acid (g/100g)	19.34	15.31	21.79	19.17
Palmitoleic acid (C16:1n7)	0.02	0.01	0.02	0.02
Trans-9-Elaidic acid (C18:1n9t)	0.02	0.02	0.02	0.02
cis-9-Oleic acid (C18:1n9c)	5.98	4.41	5.98	5.41
cis-11-Eicosenoic acid(C20:1n11)	0.04	0.03	0.04	0.04
Nervonic acid (C24:1n9)	0.05	0.04	0.03	0.03
Monounsaturated fatty acid (g/100g)	6.11	4.51	6.09	5.52
cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6)	2.68	1.97	2.82	2.6
gamma-Linolenic acid (C18:3n6)	0.04	0.03	0.05	0.04
alpha-Linolenic acid (C18:3n3)	0.1	0.08	0.09	0.1
Polyunsaturated Fatty acid (g/100g)	2.82	2.08	2.96	2.74
Unsaturated fat (g/100g)	8.93	6.59	9.05	8.26
Omega 3 (mg/100g)	104.8	77.76	87.02	101.68
Omega 6 (mg/100g)	2,719.04	2,002.04	2,874.26	2,639.28
Omega 9 (mg/100g)	6,029.97	4,451.72	6,022.90	5,445.94

Table 4.16 Effects of Spray Drying Conditions (Lauric Acid Concentration and Inlet Air Temperature) on Particle Shape, Surface Texture, Porosity, and Uniformity of Microencapsulated Powder Observed by FESEM (Figure 4.7)

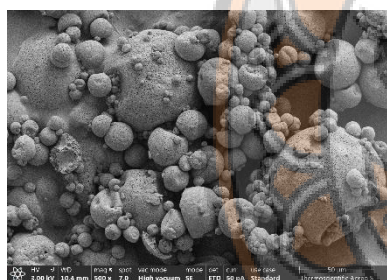
Condition	Particle Shape	Surface Texture	Porosity	Uniformity
40% × 190°C (A1–A3)	Spherical	Smooth/slight roughness	Low	High
40% × 220°C (B1–B3)	Spherical/with pits	Increased roughness	High	Moderate–Low
50% × 190°C (C1–C3)	Spherical/larger	Rougher, bigger particles	Moderate	Moderate
50% × 220°C (D1–D3)	Irregular/aggregated	Rough, porous	Highest	Lowest

Figure 4.7 และ Table 4.16 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาและโครงสร้างพื้นผิวของไมโครเอนแคปซูลชนิดกรดไขมันสายกลางเข้มข้น ภายใต้สภาวะการพ่นแห้งที่แตกต่างกัน สำหรับการทดลองนี้ กำหนดสภาวะความเข้มข้นของกรดลอริกและอุณหภูมิอากาศเข้าที่ต่างกัน ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแบบปล่อยสนาม (FESEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 1,000 เท่า และ 5,000 เท่า พบว่าผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกันส่งผลต่อสัณฐานวิทยา พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่ต่ำลง (190°C) ที่ความเข้มข้นของกรดลอริกทั้งสองระดับ (40% และ 50%) จะทำให้พื้นผิวของอนุภาคมีความพรุนและขรุขระมากขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้ใน **Figure 4.7A3** และ **Figure 4.7C3** ซึ่งผงไมโครเอนแคปซูลมีความพรุนบนพื้นผิวสูงกว่า ซึ่งอาจเกิดจากการอบแห้งที่ช้ากว่าและไม่สมบูรณ์น้อยกว่า ทำให้ใช้เวลามากขึ้นสำหรับการระเหยของน้ำและการก่อตัวของรูพรุน เมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิสูงขึ้น (220°C) (**Figure 4.7B&D**) ทำให้ผงไมโครเอนแคปซูลมีความหนาแน่นมากขึ้น เรียบเนียนขึ้น และมีรูพรุนน้อยลง ดังแสดงใน **Figure 4.7B3 C3 และ D3** แสดงให้เห็นความพรุนบนพื้นผิวที่ลดลง และพื้นผิวที่สม่ำเสมอและหนาแน่นขึ้น มักจะแสดงถึงการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว นำไปสู่การเกิดเปลือกแข็งบนหยดของเหลวได้เร็วขึ้น ซึ่งเป็นการจำกัดการพัฒนาของรูพรุนภายใน

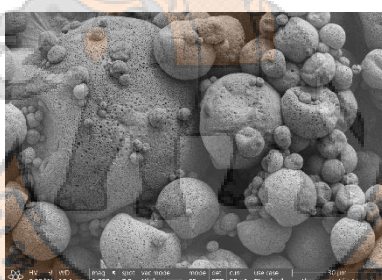
เมื่อพิจารณาจากปัจจัยของความเข้มข้นวัสดุแกนกลางที่มีระดับกรดลอริก หรือกรดไขมันสายกลางเข้มข้นสูง พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกรดลอริกจาก 40% เป็น 50% มีแนวโน้มที่จะสร้างไมโครเอนแคปซูลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคใหญ่กว่าเล็กน้อยและโครงสร้างผนังหนาขึ้น ตลอดช่วงอุณหภูมิทั้งสองช่วง ไมโครเอนแคปซูลใน **Figure 4.7C** และ **Figure 4.7D** ซึ่งมีสัดส่วนกรดลอริก 50% โดยทั่วไปแล้วพื้นผิว

จะต้องมีความเรียบ หรือพื้นผิวหยาบเล็กน้อย (Smooth/slight roughness) และทรงกลม (Spherical) มากกว่าเมื่อเทียบกับไมโครเอนแคปซูลใน **Figure 4.7A และ 4.7B** ซึ่งมีสัดส่วนกรดลอริก 40% ในทางกลับกันการใช้อุณหภูมิสูงการทำแห้งแบบพ่นฝอย ร่วมกับอิทธิพลจากความเข้มข้นของกรดลอริกในวัสดุแกนกลางสูงขึ้นจะช่วยเพิ่มความหนาแน่นของพื้นผิว และอาจลดขนาดรูพรุนเนื่องจากปริมาณน้ำที่ลดลง และคุณสมบัติการไม่ชอบน้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของผงไมโครเอนแคปซูลที่กำลังขยายสูง 5,000 เท่า สภาวะการพ่นแห้งทุกสภาวะจะเผยให้เห็นโครงสร้างจุลภาคคล้ายรังผึ้งที่มีรูพรุน (porous) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของผงแคปซูลที่ผ่านการพ่นแห้ง โดยมีความแตกต่างกันของขนาดรูพรุนและความหนาแน่น ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย ระดับกรดลอริกของวัสดุแกนกลางและอุณหภูมิอากาศเข้า แต่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าและกรดลอริกต่ำ จะพบรูพรุนมากขึ้นและโพรงมีขนาดใหญ่ขึ้น ขณะที่เมื่ออุณหภูมิและกรดลอริกสูงขึ้น จะพบรูพรุนขนาดเล็กลง มีความหนาแน่นขึ้น และกระจายตัวสม่ำเสมอมากขึ้น

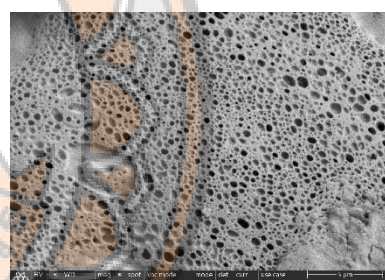
Spray drying conditions (40% x 190 °C)



A1: 500x

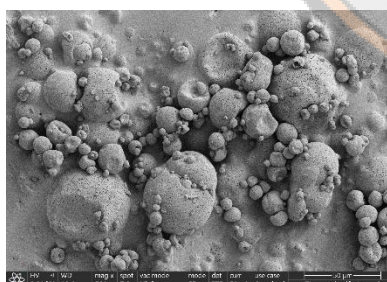


A2: 1000x

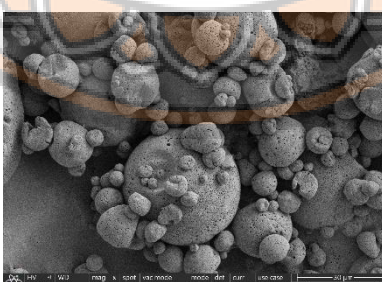


A3: 5000x

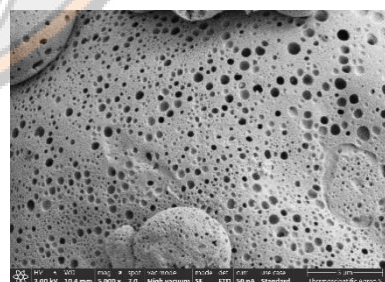
Spray drying conditions (40% x 220°C)



B1: 500x



B2: 1000x



B3: 5000x

Spray drying conditions (50% x 190°C)

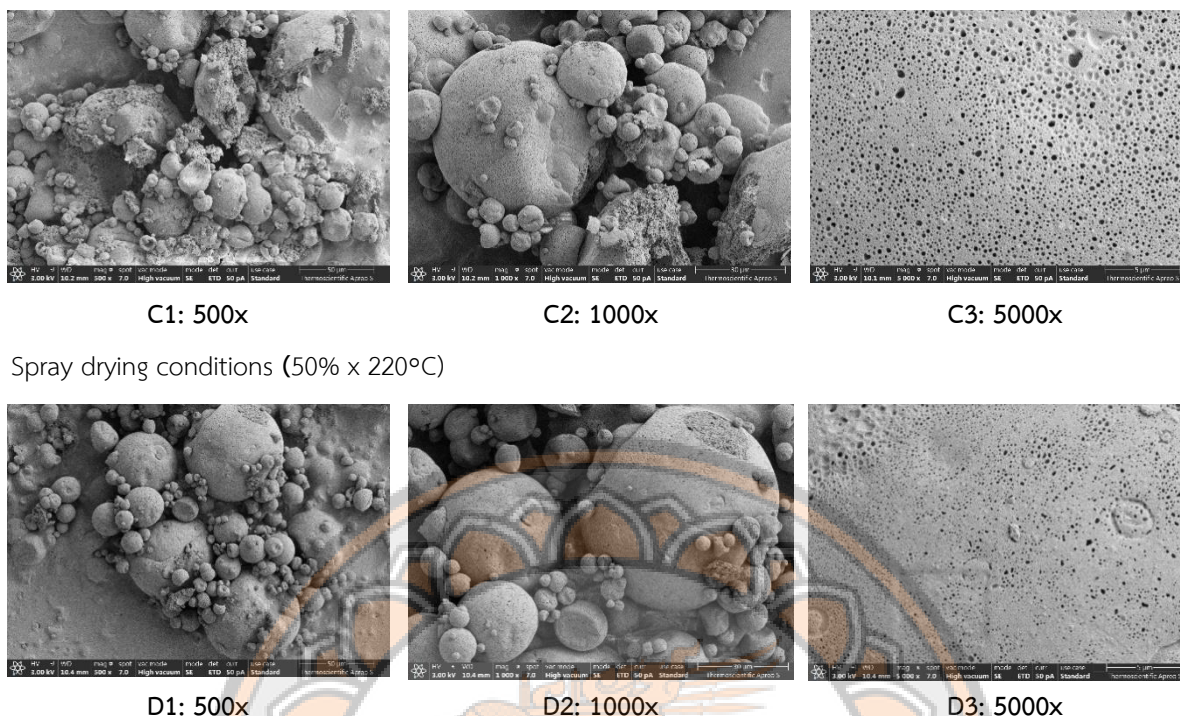


Figure 4.7 Morphological characteristics of spray-dried microspheres under different spray drying conditions, visualized using field emission scanning electron microscopy (FESEM) at various magnifications (500x, 1000x, 5000x).

Note: Samples were prepared with varying lauric acid concentrations (40% or 50%) and inlet air temperatures (190°C or 220°C), A1–A3: 40% lauric acid, 190°C; B1–B3: 40% lauric acid, 220°C; C1–C3: 50% lauric acid, 190°C; D1–D3: 50% lauric acid, 220°C.

ดังนั้น การประเมินประสิทธิภาพในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของส่วนผสมอิมัลชันของทุกสภาวะนี้ โดยใช้ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการห่อหุ้ม และการกระจายตัวของน้ำที่ดี ที่สุดมักจะเกิดขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของกรดลอริกปานกลางถึงสูงและอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้น เนื่องจากสภาวะเหล่านี้ทำให้เกิดอนุภาคทรงกลม (Spherical) เรียบ (Smooth) และมีรูพรุนน้อยลง ซึ่งต้านทานการจับตัวเป็นก้อนและลดการดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมภายนอก แต่อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิที่สูงมากอาจทำให้สารออกฤทธิ์ และความเข้มข้นของกรดลอริกเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ในขณะที่อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปอาจทำให้อนุภาคมีรูพรุนสูงที่ไม่เสถียรและไวต่อการเกิดออกซิเดชันและการดูดซับความชื้นได้มากขึ้น สำหรับทดลองนี้ควรพิจารณาเลือกกรดลอริกที่สูงขึ้น และอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ไมโครเอนแคปซูลมีความเรียบเนียน หนาแน่นขึ้น และมีรูพรุนน้อยลง ซึ่งเป็นที่ต้องการสำหรับความเสถียรของผลิตภัณฑ์ และการปลดปล่อยที่ควบคุมได้ ในขณะที่อุณหภูมิ และความเข้มข้นที่ต่ำกว่าจะทำให้ให้อนุภาคมีรูพรุนและเปราะบางมากขึ้น ซึ่งลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยละเอียดนี้เป็นแนวทางโดยตรงในการออกแบบ และการเลือกสภาวะที่เหมาะสมของสารเสริมปศุสัตว์ เพื่อให้มีเสถียรภาพ และประสิทธิภาพทางชีวภาพสูงสุด

4.3.3 ผลการศึกษาสภาวะการละลายน้ำของผงไมโครเอนแคปซูล (การทดลอง 3.4) กำหนดปัจจัยการศึกษา 2 ประเด็น อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ละลาย กำหนด 3 ระดับ คือ 70, 80 และ 90°C และสัดส่วนระหว่างผงไมโครเอนแคปซูลต่อน้ำที่ใช้ในการละลาย หรือ (ผงต่อน้ำ) กำหนด 4 ระดับ คือ 1:0.5, 1:0.75, 1:1, และ 1:1.5 โดยใช้ผงไมโครเอนแคปซูลเลขชั้น 4 สูตรดังนี้ ผงไมโครเอนแคปซูลกำหนดใช้ความเข้มข้นกรดลอริก วัสดุแกนกลาง 40% ใช้อุณหภูมิ 190°C และ 220°C และ ผงไมโครเอนแคปซูลกำหนดใช้ความเข้มข้นกรดลอริก วัสดุแกนกลาง 50% ใช้อุณหภูมิ 190°C และ 220°C โดยสรุปแยกตามชนิดของผงไมโครเอนแคปซูล ของชุดความเข้มข้นกรดลอริกของวัสดุแกนกลาง 40% โดยเปรียบเทียบระหว่างใช้อุณหภูมิความร้อนทำแห้ง 190 และ 220 °C วิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ น้ำ และสัดส่วนผงต่อน้ำในการละลาย พบว่าค่า TSS สำหรับผงไมโครเอนแคปซูลใช้อุณหภูมิทำแห้ง 190 °C ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของอิทธิพลร่วมทั้งสอง ($P = 0.564$) แต่ ผงไมโครเอนแคปซูลใช้อุณหภูมิทำแห้ง 190 °C และ 220°C พบว่าค่า TSS สูงในสภาวะ (TM 90°C $\times$ R 1:0.75) เท่ากับ 26% ($P=0.019$) ส่วนค่าสัดส่วนของอิมัลชันที่มีความขุ่นหลังจากการละลายน้ำ (turbid emulsion ratio; TER) ซึ่งยังสามารถคงสภาพความขุ่น และความคงตัวของอิมัลชันหลังจากการละลายน้ำเมื่อผ่านไป 2 ชั่วโมง พบว่าผงไมโครเอนแคปซูลใช้อุณหภูมิทำแห้ง 190 °C ที่สภาวะ (TM 70°C $\times$ R 1:1.25) เท่ากับ 100% ซึ่งให้ค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ ($P = 0.002$) เช่นเดียวกับ ผงไมโครเอนแคปซูลใช้อุณหภูมิทำแห้ง 220 °C เท่ากับ 75.33% ส่วนตัวชี้วัดการคำนวณสัดส่วนการละลายน้ำของผงไมโครเอนแคปซูล (Water-soluble powder ratio; WSPR) พบว่าผงไมโครเอนแคปซูลใช้อุณหภูมิทำแห้ง 190°C ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบจากอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย ($P = 0.197$) แต่สัดส่วนผงต่อน้ำสำหรับการละลาย (1:1.25) ค่า WSPR เท่ากับ 80.29% ซึ่งสูงกว่าสัดส่วนอื่นๆ และ ผงไมโครเอนแคปซูลใช้อุณหภูมิทำแห้ง 220 °C ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบจากอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย ($P = 0.715$) แต่การใช้อุณหภูมิ น้ำ 70°C ช่วยให้สัดส่วนการละลายน้ำสูงกว่าอุณหภูมิอื่นๆ (WSPR: 69.14%, $P = 0.001$) แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผงไมโครเอนแคปซูลพบว่า 190°C มีสัดส่วนการละลายน้ำสูงกว่า 220°C

ส่วนสภาวะความเข้มข้นกรดลอริกของวัสดุแกนกลาง 50% โดยเปรียบเทียบระหว่างใช้อุณหภูมิความร้อนทำแห้ง 190 และ 220 °C พบว่า ผงไมโครเอนแคปซูล 190°C เมื่อใช้สภาวะ (TM 70°C $\times$ R 1:0.75) ให้ค่า TSS เท่ากับ 27.33% ซึ่งสูงกว่าทุกสภาวะเมื่อพิจารณาจากอิทธิพลร่วมทั้งสองปัจจัย ($P \leq 0.05$) สำหรับ ผงไมโครเอนแคปซูล 220 °C ค่า TSS ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ค่า TER ของผงไมโครเอนแคปซูลทั้งสองอุณหภูมิพบว่าผ่านไป 2 ชั่วโมง ยังสามารถคงความคงตัวของอิมัลชันได้ 100% ($P \leq 0.05$) ซึ่งการใช้อุณหภูมิ น้ำ 70-80°C และ สัดส่วนผงต่อน้ำ 1:0.75 – 1:1.25 สามารถใช้อิทธิพลร่วมเหล่านี้สำหรับการละลายน้ำและให้ความคงสภาวะของอิมัลชันได้ 2 ชั่วโมง ส่วนค่า WSPR ของผงไมโครเอนแคปซูล 190°C ไม่พบความแตกต่างของอิทธิพลร่วมทั้งสองปัจจัย ($P > 0.05$) แต่สัดส่วนผงต่อน้ำ (1:1 และ 1: 1.25) ให้ค่า WSPR สูงกว่า (1:0.075) (73.45,71.84 vs. 65.13; $P \leq 0.05$) แต่ค่า WSPR ของผงไมโครเอนแคปซูล 220 °C

(TM $80^{\circ}\text{C} \times \text{R } 1:1.25$) เท่ากับ 70.91% เป็นค่าการละลายน้ำของผงที่สูงสุดจากอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย ($P = 0.035$) โดยทั้งสองผงไมโครเอนแคปซูลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการละลายน้ำ 190°C สามารถละลายน้ำได้ก็กว่า 220°C แต่เมื่อพิจารณาร่วมกันผงไมโครเอนแคปซูลโดยใช้ความเข้มข้นกรดลอริกของวัสดุแกนกลาง 40 และ 50% พบว่าค่าการละลายน้ำ (WSPR) ของการใช้อุณหภูมิทั้งสองระดับไม่แตกต่างกันมากซึ่งให้ค่าดังกล่าวช่วงระหว่าง 70– 75% โดยต้องใช้อุณหภูมิของน้ำ 80°C **Table 4.20**

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากข้อมูลสรุปข้างต้น เพื่อเลือกสภาวะผงไมโครเอนแคปซูล และสภาวะการละลายน้ำที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ละลายน้ำเพื่อคืนสภาพเป็นอิมัลชันและทดสอบการใช้จริงเชิงอุตสาหกรรม โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของประสิทธิภาพการทำแห้งแบบพ่นฝอย คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และประสิทธิภาพการละลายน้ำ สามารถสรุปได้ว่า ควรใช้ผงไมโครเอนแคปซูลที่มีความเข้มข้นของกรดลอริกวัสดุแกนกลาง 50% โดยใช้อุณหภูมิช่วงระหว่าง $200 - 220^{\circ}\text{C}$ ควบคุมช่วงอุณหภูมิการทำแห้งให้ของความร้อนเข้าให้เหมาะสม ส่วนอุณหภูมิขาออกช่วงระหว่าง $90-100^{\circ}\text{C}$ โดยใช้อุณหภูมิของน้ำ $70-80^{\circ}\text{C}$ ต่อสัดส่วนระหว่างผงต่อน้ำ (1:1) เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับผลิต และใช้จริงเชิงอุตสาหกรรม



Table 4.17 Effect of water temperature and powder-to-water ratio on solubility, turbid emulsion ratio, and water-soluble powder ratio of microencapsulated powders.

Factor	40% x 190°C				40% x 220°C			
	TSS (%)	TER (%)		WSPR (%)	TSS (%)	TER (%)		WSPR (%)
		1 hr	2 hr			1 hr	2 hr	
Interaction factor A x B								
TM 70°C x R 1:0.75	21.33±0.58	65.92±7.34	56.57 ^{BC} ±5.81	69.18±0.92	21.66 ^{bc} ±0.57	58.93 ^{BC} ±1.14	20.89 ^B ±2.14	68.08±0.85
TM 70°C x R 1:1	18.67±1.53	100	50.25 ^{BC} ±13.40	72.99±2.17	19.50 ^{bc} ±0.50	46.43 ^C ±4.25	37.75 ^{BCD} ±4.48	69.87±2.68
TM 70°C x R 1:1.25	14.00±1.00	100	100 ^A	77.91±1.22	15.00 ^d ±0.01	97.66 ^A ±0.57	75.33 ^A ±9.73	69.47±2.21
TM 80°C x R 1:0.75	21.67±1.15	38.92±2.17	40.30 ^C ±4.74	68.90±2.08	21.83 ^b ±1.04	49.98 ^{BC} ±1.78	42.83 ^{BC} ±7.15	66.87±0.62
TM 80°C x R 1:1	17.00±1.00	37.03±8.87	32.82 ^C ±12.37	75.19±2.63	19.83 ^{bc} ±0.29	50.72 ^{BC} ±5.99	44.60 ^{BC} ±4.20	65.90±0.11
TM 80°C x R 1:1.25	14.00±1.00	22.00±2.64	21.66 ^C ±2.88	77.75±1.54	15.00 ^d ±0.01	43.66 ^C ±16.28	38.33 ^{BCD} ±13.27	64.18±6.24
TM 90°C x R 1:0.75	21.67±2.08	49.93±12.40	43.57 ^{BC} ±8.66	69.90±2.84	26.00 ^a ±1.00	66.34 ^B ±4.69	62.13 ^{AB} ±2.59	62.31±0.84
TM 90°C x R 1:1	17.66±1.15	77.25±39.39	23.87 ^C ±4.92	76.01±2.44	17.33 ^{cd} ±4.51	24.89 ^D ±5.99	23.4 ^{CD} 5±5.58	64.75±1.95
TM 90°C x R 1:1.25	13.16±0.76	81.00±32.90	79.33 ^{AB} ±5.79	85.20±6.16	15.33 ^d ±1.53	21.03 ^D ±6.60	18.91 ^D ±5.13	62.22±4.12

Factor A: Water temperature (WT H₂O) (°C)

TM 70°C	18.00±3.35	88.64 ^A ±17.43	68.94 ^A ±24.56	73.36±4.02	18.72±2.97	67.67 ^A ±23.24	54.65 ^A ±9.39	69.14 ^A ±1.97	
TM 80°C	17.55±3.46	32.65 ^B ±11.08	31.59 ^B ±10.58	73.94±4.35	18.88±3.09	48.12 ^{AB} ±9.52	41.62 ^{AB} ±8.31	65.65 ^B ±3.35	
TM 90°C	17.50±3.89	69.39 ^A ±30.21	48.94 ^{AB} ±30.62	77.04±7.58	19.55±5.48	37.42 ^B ±22.33	34.83 ^B ±6.95	63.09 ^B ±2.63	

		40% x 190°C			40% x 220°C		
Factor	TSS (%)	TER (%)		WSPR (%)	TSS (%)		WSPR (%)
		1 hr	2 hr		1 hr	2 hr	
Factor B: Ratio of Powder (g): Water at different temperatures (ml)							
R 1:0.75	21.55 ^A ±1.24	51.58±13.83	46.81 ^{AB} ±9.39	69.33 ^C ±1.87	23.17 ^A ±2.26	58.42±7.56	51.95±9.27
R 1:1	17.78 ^B ±1.30	71.43±34.72	36.65 ^B ±14.96	74.73 ^B ±2.50	18.89 ^B ±2.56	40.68±13.02	35.26±10.23
R 1:1.25	13.72 ^C ±0.90	67.67±38.90	67.00 ^A ±39.47	80.29 ^A ±4.90	15.11 ^C ±0.78	54.12±35.21	44.19±7.64
SEM	0.572	8.712	6.625	1.341	0.792	3.294	4.226
P-value							
Factor A	0.639	0.000	0.000	0.092	0.549	0.000	0.001
Factor B	0.000	0.080	0.001	0.000	0.000	0.120	0.072
Factor A x B	0.564	0.158	0.002	0.197	0.019	0.000	0.000
							0.715

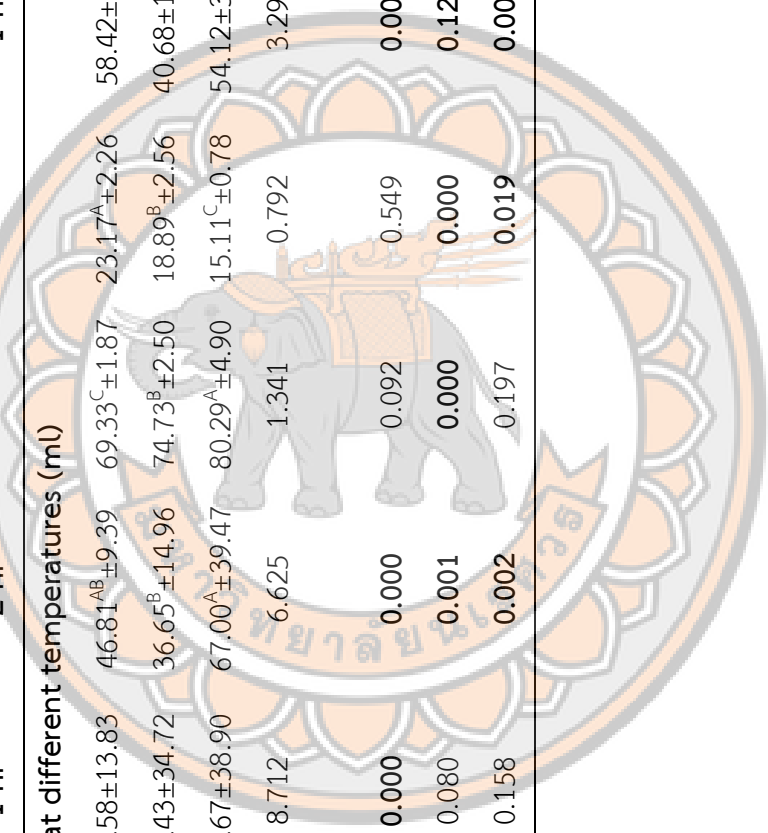


Table 4.17 (continue)

Factor	50% x 190°C				50% x 220°C			
	TSS (%)		TER (%)		TSS (%)		TER (%)	
	1 hr	2 hr	1 hr	2 hr	1 hr	2 hr	1 hr	2 hr
Interaction factor A x B								
TM 70°C x R 1:0.75	27.33 ^A ±0.58	100 ^A	100 ^A	100 ^A	59.70±1.93	28.00±2.00	100 ^A	100 ^A
TM 70°C x R 1:1	20.00 ^F ±0.01	100 ^A	100 ^A	100 ^A	71.20±0.65	22.67±1.15	100 ^A	100 ^A
TM 70°C x R 1:1.25	16.33 ^F ±0.58	100 ^A	100 ^A	100 ^A	70.62±1.59	16.67±1.15	99.00 ^B ±0.01	99.00 ^B ±0.01
TM 80°C x R 1:0.75	22.66 ^C ±0.58	100 ^A	100 ^A	100 ^A	68.10±1.14	25.83±1.04	100 ^A	100 ^A
TM 80°C x R 1:1	20.00 ^E ±0.01	100 ^A	100 ^A	100 ^A	71.02±2.35	21.33±1.52	98.81 ^B ±0.01	98.81 ^B ±0.01
TM 80°C x R 1:1.25	14.66 ^G ±0.57	98.66 ^b ±0.58	98.66 ^A ±0.57	98.66 ^A ±0.57	74.47±0.38	15.17±0.28	98.66 ^B ±0.58	98.67 ^B ±0.58
TM 90°C x R 1:0.75	25.33 ^B ±0.57	100 ^A	26.82 ^C ±2.6243	67.57±3.21	25.33±2.52	25.33±2.52	100 ^A	100 ^A
TM 90°C x R 1:1	20.00 ^E ±0.01	100 ^A	43.63 ^B ±3.54	73.30±0.55	21.00±1.73	21.00±1.73	100 ^A	98.80 ^B ±0.02
TM 90°C x R 1:1.25	13.83 ^G ±0.76	99.00 ^{ab} ±1.00	98.33 ^A ±0.57	75.28±4.75	14.66±1.53	14.66±1.53	99.33 ^{AB} ±0.58	99.00 ^B ±0.01
Factor A: Water temperature (WT H₂O) (°C)								
TM 70°C	21.22 ^A ±4.87	100	100 ^A	67.17 ^B ±5.75	22.44 ^A ±5.08	22.44 ^A ±5.08	99.67 ^{AB} ±0.50	99.67 ^A ±0.50
TM 80°C	19.11 ^B ±3.55	99.55±0.73	99.55 ^A ±0.73	71.20 ^{AB} ±3.06	20.77 ^b ±4.73	20.77 ^b ±4.73	99.16 ^B ±0.69	99.16 ^B ±0.70
TM 90°C	19.72 ^B ±5.01	99.67±0.71	56.26 ^B ±3.45	72.05 ^A ±4.50	20.33 ^b ±4.95	20.33 ^b ±4.95	99.78 ^A ±0.44	99.27 ^B ±0.56
Factor B: Ratio of Powder (g): Water at different temperatures (ml)								

Factor	50% x 190°C				50% x 220°C			
	TSS (%)	TER (%)		WSPR (%)	TSS (%)	TER (%)		WSPR (%)
		1 hr	2 hr			1 hr	2 hr	
R 1:0.75	25.10 ^A ±2.08	100 ^a	81.21±8.24	65.13 ^B ±4.52	26.38 ^A ±2.09	100 ^A	100 ^A	64.84 ^B ±1.33
R 1:1	20.00 ^B ±0.01	100 ^a	75.61±6.61	71.84 ^A ±1.66	21.66 ^B ±1.50	99.60 ^A ±0.59	99.20 ^B ±0.60	69.84 ^A ±1.09
R 1:1.25	14.94 ^C ±1.24	99.22 ^b ±0.83	99.00±0.86	73.45 ^A ±4.89	15.50 ^C ±1.32	99.00 ^B ±0.50	98.89 ^B ±0.33	68.33 ^{AB} ±5.67
SEM	0.236	0.181	0.703	1.075	0.734	0.128	0.091	1.316
P-value								
Factor A	0.000	0.062	0.000	0.001	0.024	0.000	0.000	0.111
Factor B	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
Factor A x B	0.000	0.036	0.000	0.060	0.983	0.006	0.000	0.035

Note: Values are expressed as mean ± standard deviation (Mean ± SD) from replicated experiments (n = 3). Different superscript letters (^A, ^B, ^C) above the values indicate statistically significant differences between treatments according to Duncan's multiple range test (or Tukey, LSD as applied) at a confidence level of $P < 0.05$. total soluble solids (TSS), Turbid emulsion ratio (TER), Water-Soluble Powder Ratio (WSPR)

4.4 ผลของอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูลดกรดไขมันสายกลางร่วมกับสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอริน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมี ปฏิกริยารีดอกซ์ และจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรช่วงดูนม

4.4.1 ผลของ MPL และ MPLM ในลูกสุกรช่วงดูนมเปรียบเทียบกับลูกสุกรในกลุ่ม CTR ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกร โดยที่ CTR (control) คือ ลูกสุกรกลุ่มควบคุมที่ได้รับการป้อนเข้าทางปากด้วยน้ำ reverse osmosis (RO) (ครั้งที่ 1 แรกคลอด, ครั้งที่ 2 วันที่ 3 หลังคลอด, ครั้งที่ 3 วันที่ 21 หลังคลอด หรือ ก่อนสว๊อปมูลจากทวาร 8 ซม.) กลุ่มที่ 2 MPL คือ ลูกสุกรกลุ่มทดลองนี้จะได้รับการป้อนผงไมโครเอนแคปซูเลชันกรดไขมันสายกลางเข้มข้น (มีส่วนผสมน้ำมันเมล็ดในปาล์ม และไตรกลีเซอไรด์อื่นๆ เพื่อกำหนดกรดไขมันสายกลางเข้มข้นสูง ผงกรดลอริก และสารสกัดใบกัญชง) และ กลุ่มที่ 3 คือ ลูกสุกรกลุ่มทดลองที่ได้รับการป้อนผงไมโครเอนแคปซูเลชันกรดไขมันสายกลางเข้มข้น (MPLM มีส่วนผสมน้ำมันเมล็ดในปาล์ม และไตรกลีเซอไรด์อื่นๆ เพื่อกำหนดกรดไขมันสายกลางเข้มข้นสูง ผงกรดลอริก สารสกัดใบกัญชง และผงโมโนลอริน) ทั้งสองสูตร จะต้องละลายผงไมโครเอนแคปซูลด้วยน้ำ RO อุณหภูมิร้อนช่วงระหว่าง 70-80 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 1 (MPL powder ต่อ RO water) ป้อนสิ่งทดลองเข้าทางปากจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 3.5 ml และวิเคราะห์หัตถิผลของสิ่งทดลองดังกล่าวต่อสุกรแต่ละช่วงน้ำหนักแรกคลอด ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ กลุ่มลูกสุกรที่มีน้ำหนักแรก < 0.99 (WT1) 1.00 – 1.20 (WT2) 1.21 – 1.41 (WT3) และ > 1.42 (WT4) กก. พบว่า น้ำหนักแรกเกิดของลูกสุกรแต่ละกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อป้อนสิ่งทดลองครั้งที่แรกช่วงระหว่าง 8-12 ชั่วโมงหลังคลอด พบว่าน้ำหนักลูกสุกรและเพิ่มน้ำหนักหลังคลอด 24 ชั่วโมงของกลุ่ม MPL และ EPML มีน้ำหนักและเพิ่มน้ำหนักสูงกว่า CTR ($P < 0.001$) ปริมาณนมที่เลี้ยงที่ได้รับในช่วง 24 ชั่วโมงแรกของกลุ่ม MPL และ EPML สูงกว่า CTR อย่างชัดเจน ($P < 0.001$) น้ำหนักตัว และ ADG ช่วงอายุ 3 วันของกลุ่ม MPL และ EPML สูงกว่ากลุ่ม CTR อย่างชัดเจน ($P < 0.001$) น้ำหนักตัว และ ADG ช่วงอายุ 14 วันและ 21 วันทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่กลุ่ม MPL และ EPML มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่ม CTR เมื่อพิจารณาจากอัตราการตายพบว่า หลังได้รับการป้อนครั้งแรก อัตราตายของกลุ่ม EPML ต่ำสุดที่ 1.64% เทียบกับ CTR ที่ 6.75% ($P = 0.061$) อัตราการตายในวันที่ 3, 14, และ 21 วันหลังคลอดของกลุ่ม MPL และ EPML ต่ำกว่ากลุ่ม CTR อย่างมีนัยสำคัญ ($P = 0.029$) และสาเหตุการตายของลูกสุกรที่สำคัญ คือ ตายด้วยท้องเสีย การอดนม และการถูกแม่ทับลดลงในกลุ่ม MPL และ EPML (Table 4.18)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยการเปรียบเทียบตามช่วงน้ำหนักแรกเกิด (Table A3) โดยแบ่งตามช่วงน้ำหนักแรกเกิด 4 กลุ่ม (WT1: <0.99, WT2: 1.00–1.20, WT3: 1.21–1.41, WT4: >1.42 กก.) พบว่า ประสิทธิภาพของสุกรน้ำหนักแรกคลอดช่วงที่ 1 (WT 1) ซึ่งเป็นกลุ่มสุกรน้ำหนักน้อย หรือต่ำ

กว่าเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า น้ำหนัก และอัตราการเจริญเติบโต ในช่วง 24 ชั่วโมงหลังคลอดโดยเฉพาะ กลุ่ม MPL (1.08 kg) และ MPLM (1.07 kg) มากกว่ากลุ่ม CTR (0.84 kg) ($P<0.001$) อีกทั้งการเพิ่ม น้ำหนักช่วง 24 ชั่วโมงหลังคลอด พบว่ากลุ่ม MPL (232.5 g), MPLM (226.96 g) มากกว่ากลุ่ม CTR (78 g) ($P<0.001$) น้ำหนักตัว และ ADG ของวันที่ 3 หลังคลอดพบว่าปริมาณนมที่ลูกสุกรได้รับของ กลุ่ม MPL และ MPLM มากกว่า CTR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และ น้ำหนักตัวและ ADG ที่ 14 และ 21 วันหลังคลอดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) น้ำหนักแรกคลอดช่วงที่ 2 (WT 2) พบว่าน้ำหนัก 24 ชั่วโมงหลังคลอด การเพิ่มน้ำหนักตัว 24 ชั่วโมงหลังคลอด ปริมาณนม น้ำเหลืองที่ได้รับ น้ำหนักตัว และ ADG ที่ 3 วันหลังคลอดของกลุ่ม MPL และ MPLM มากกว่า CTR ($P<0.05$) อีกทั้ง น้ำหนัก และ ADG ของสุกรช่วงอายุ 14 และ 21 วัน ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) น้ำหนักแรกคลอดช่วงที่ 3 (WT 3) พบว่าน้ำหนักลูกสุกรในช่วง 24 ชั่วโมงหลังคลอด ปริมาณนม น้ำเหลืองที่ได้รับ และ ADG ในวันที่ 3 วันหลังคลอดของกลุ่ม MPL และ MPLM มากกว่า CTR ($P<0.001$) ส่วนในวันที่ 14 และ 21 วันหลังคลอด น้ำหนัก และ ADG ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) น้ำหนักแรกคลอดช่วงที่ 4 (WT 4) เป็นกลุ่มลูกสุกรที่มีน้ำหนักตัวมาก เมื่อได้รับการป้อน สิ่งทดลอง พบว่า น้ำหนักตัวช่วง 24 ชั่วโมง ปริมาณนม น้ำเหลืองที่ได้รับ และ ADG ช่วง 3 วันและ 21 วันหลังคลอดของกลุ่ม MPL และ MPLM มากกว่า CTR ($P<0.05$) แต่ น้ำหนักตัวและ ADG ของลูก สุกรในวันที่ 14 วันหลังคลอดไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) จาก Table 4.18 พบว่า อัตราการตายของลูกสุกรช่วงดูดนม และการตายก่อนหย่านม ในช่วง 24 ชั่วโมงหลังรับป้อนสิ่งทดลอง มีอัตราการตายต่ำสุดในกลุ่ม MPLM (1.64%) และต่ำกว่ากลุ่ม MPL (5.77%) และ CTR (6.75%) ซึ่ง แตกต่างกันทางสถิติ ($P=0.05$) ส่วนอัตราการตายในช่วง 3 วันแรก, 14 วัน, และ 21 วัน อัตราการตาย ของกลุ่ม MPL และ MPLM ต่ำกว่ากลุ่ม CTR มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) และตลอดการ ทดลอง 21 วันของช่วงการดูดนมพบว่าอัตราการตายของกลุ่ม MPLM และ MPL ไม่แตกต่างกันทาง สถิติ และมีค่าต่ำกว่ากลุ่ม CTR ($P<0.001$) เมื่อพิจารณาจากสาเหตุการตายหลักที่ลดลงอย่างมี นัยสำคัญของกลุ่ม MPL และ MPLM ได้แก่สาเหตุการตายด้วยสภาวะท้องเสีย และการอดนม ($P<0.05$) และในช่วง 3 วันหลังคลอด สาเหตุการตายอดนม และแม่ทับของกลุ่ม MPLM และ MPL ต่ำกว่ากลุ่ม CTR ($P<0.05$)

Table 4.18 Effects of microencapsulated emulsion containing medium-chain fatty acid, phytocannabinoid extract, and monolaurin on growth performance and diarrhea incidence in suckling piglets

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-value
Number of sows	21	21	21		
Newborn piglets	286	281	283		
Litter size (piglet/sow)	13.62	13.38	13.48	0.33	0.959
Birthweight newborn (kg)	1.48	1.45	1.49	0.03	0.862
Live born piglets (24 hr.)	265.00	264.00	278.00		
Litter size (pigs/sow)	12.62	12.57	13.24		
Weight 24 hr. (kg)	1.62	1.69	1.74	0.03	0.295
Weight gain 24 hr. (g)	126.22 ^b	226.27 ^a	240.23 ^a	9.74	0.000
Colostrum intake (mL/piglet)	353.93 ^b	482.13 ^a	501.99 ^a	12.98	0.000
Piglet at 3 days postpartum	233	252	268		
Litter size (pigs/sow)	11.10	12.00	12.76	0.31	0.095
Weight (kg)	2.17 ^b	2.62 ^a	2.82 ^a	0.06	0.000
ADG (g/day/piglet)	173.30 ^b	307.63 ^a	359.24 ^a	15.11	0.000
Milk intakes (mL/piglet)	689.69 ^c	1244.89 ^b	1527.36 ^a	66.69	0.000
Piglet at 14 days postpartum	213	242	260		
Litter size (pigs/sow)	10.14 ^b	11.52 ^{ab}	12.38 ^a	0.32	0.015
Weight (kg)	4.48	4.57	4.62	0.08	0.759
ADG (g/day/piglet)	217.89	220.44	221.18	5.38	0.968
Piglet at 21 days postpartum	198	233	257		
Litter size (pigs/sow)	9.43 ^b	11.10 ^a	12.24 ^a	0.33	0.002
Weight (kg)	6.41	6.74	6.99	0.10	0.071
ADG (g/day/piglet)	225.36	239.67	249.33	4.40	0.080

Note: Different superscript letters (^a, ^b, ^c) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM denotes the standard error of the mean. MPL: Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids (MCFA), containing lauric acid and hemp leaf extract. MPLM: Same as MPL, but supplemented with monolaurin.

Table 4.18 (Continue)

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-value
Pre-weaning piglet mortality rate					
Mortality rate after 1st oral - 24 hours (%)					
Mortality rate (%)	6.75 ^a	5.77 ^a	1.64 ^b	0.94	0.050
Piglet loss causes (%)					
Milk starvation	3.32	2.61	1.24	0.54	0.283
Weak state	0.56	0.37	0.00	0.18	0.429
Crushing	2.87	2.79	0.40	0.57	0.128
3-day piglet mortality rate					
Mortality rate (%)	11.91 ^a	4.24 ^b	3.67 ^b	0.94	0.000
Piglet loss causes (%)					
Milk starvation	6.18 ^a	2.42 ^b	2.29 ^b	0.72	0.039
Weak state	1.83	0.76	0.60	0.36	0.333
Crushing	3.90 ^a	1.06 ^b	0.77 ^b	0.51	0.020
14-day piglet mortality rate					
Mortality rate (%)	7.72 ^a	3.71 ^{ab}	2.56 ^b	0.84	0.029
Piglet loss causes (%)					
Milk starvation	0.69	0.48	0.30	0.24	0.807
Weak state	0.66	0.48	0.43	0.26	0.930
Crushing	1.64	1.47	1.21	0.41	0.912
Diarrhea	4.72 ^a	1.29 ^b	0.62 ^b	0.57	0.006
21-day piglet mortality rate					
Mortality rate (%)	5.57 ^a	3.46 ^{ab}	1.05 ^b	0.61	0.008
Weak state	1.40	1.24	0.00	0.32	0.147
Diarrhea	1.11	0.83	0.00	0.28	0.249
Joint swelling	3.05	1.39	1.05	0.45	0.150
Pre-weaning piglet mortality rate					
Mortality rate (%)	25.20 ^a	11.41 ^b	7.27 ^b	1.58	0.000

Note: Different superscript letters (^a, ^b, ^c) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM denotes the standard error of the mean. MPL: Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids (MCFA), containing lauric acid and hemp leaf extract. MPLM: Same as MPL, but supplemented with monolaurin.

Table 4.19 Effects of microencapsulated emulsion containing medium-chain fatty acid, phytocannabinoid extract, and monolaurin on Hematological and biochemical parameters in suckling piglets.

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-value
Hematology					
WBC (cell x 10 ⁵ /L.)	1.29 ^{ab}	1.55 ^a	1.09 ^b	0.09	0.050
RBC (cell x10 ⁶ /L.)	7.11	7.44	6.91	0.14	0.300
Hemoglobin (g/dL)	14.82	14.93	14.40	0.28	0.728
Hct (%)	44.60	44.89	43.50	0.73	0.733
Platelet count (cell x 10 ⁵ /cu.mm)	31.18 ^b	48.67 ^a	42.56 ^{ab}	2.61	0.014
RBC Indices					
MCV (fL)	64.00 ^a	61.00 ^b	63.33 ^a	0.47	0.015
MCH (pg)	21.00	20.29	20.83	0.16	0.173
MCHC (g/dL)	33.40	33.00	33.00	0.14	0.394
RDW (%)	15.97 ^b	17.54 ^a	16.93 ^{ab}	0.27	0.047
Hematology WBC differential (%)					
Neutrophil	49.20 ^b	41.32 ^{ab}	34.08 ^a	2.29	0.018
Lymphocyte	42.00 ^b	49.30 ^{ab}	55.33 ^a	2.18	0.036
Monocyte	7.60	7.57	6.96	0.37	0.745
Eosinophil	1.13	1.90	1.69	0.14	0.055
Metabolism and energy					
Glucose (mg/dL)	75.84 ^b	113.62 ^a	132.37 ^a	6.05	0.000
Protein (g/dL)					
Total protein	3.89 ^B	4.95 ^A	5.31 ^A	0.14	0.000
Albumin	3.18 ^C	3.96 ^B	4.37 ^A	0.12	0.000
Globulin	0.71	0.93	0.94	0.09	0.537
Liver function indicators (U/L)					
AST	64.37 ^B	65.72 ^B	114.25 ^A	7.72	0.005
ALT	41.00	41.00	42.25	1.70	0.946
ALP	525.37	526.88	474.38	26.51	0.674

Note: Different superscript letters (^{a, b, c}) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM denotes the standard error of the mean. CTR: Control group; MPL: Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids (MCFA), containing lauric acid and hemp leaf extract; MPLM: Same as MPL but supplemented with monolaurin; WBC: White blood cell count; RBC: Red blood cell count; MCH: Mean corpuscular hemoglobin; MCHC: Mean corpuscular hemoglobin concentration; ALP: Alkaline phosphatase; ALT: Alanine aminotransferase; AST: Aspartate aminotransferase..

4.4.2 ผลอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูลต่อตัวชี้วัดค่าทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือด

พบว่ากลุ่ม MPLM มีค่าพารามิเตอร์บางตัว เช่น WBC, Platelet count, MCV, RDW, Glucose, Total protein, Albumin มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับ CTR ส่วน WBC สูงในกลุ่ม MPL มากกว่ากลุ่ม CTR ($P=0.05$) ตัวชี้วัด Platelet count สูงในกลุ่ม MPL มากกว่ากลุ่ม CTR ($P=0.014$) ค่า MCV และ RDW มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าสิ่งทดลองสามารถส่งเสริมสุขภาพ และความสมบูรณ์ของเซลล์เม็ดเลือด ส่วนค่า glucose สูงขึ้นอย่างเด่นชัดในกลุ่ม MPL และ MPLM ($P<0.001$) แสดงสถานะสุกรได้รับพลังงานซึ่งเป็นพลังงานจากการป้อนสิ่งทดลองให้กับสุกร และค่าการทำงานของตับ (AST) พบเพิ่มขึ้นในกลุ่ม MPLM ($P=0.005$) แต่ ALT และ ALP ไม่มีความแตกต่าง (Table 4.19)

4.4.3 ผลอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูลต่อตัวชี้วัดระดับอิมมูโนโกลบูลิน (Immunoglobulin) IgA, IgM และ IgG

สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่ม MPLM มากกว่ากลุ่มอื่น ($P<0.01$) โดย IgA และ IgM เป็นภูมิคุ้มกันที่ลูกควรได้รับ และระดับการสะสมในระบบเลือด และสำคัญต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในลูกสุกร (Table 4.20)

Table 4.20 Effects of microencapsulated emulsion containing medium-chain fatty acid, phytocannabinoid extract, and monolaurin on Immunoglobulin levels (IgA, IgM, IgG) in suckling piglets.

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-Value
IgA (mg/dL)	12.00 ^C	20.75 ^B	47.50 ^A	4.57	0.000
IgM (mg/dL)	6.35 ^B	7.52 ^B	14.29 ^A	1.08	0.000
IgG (mg/dL)	123.42 ^B	177.80 ^B	289.25 ^A	26.09	0.011

Note: Different superscript letters (^{a, b, c}) within the same row indicate significant differences ($P<0.05$). SEM refers to the standard error of the mean. CTR: Control group; MPL: Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids, which contain medium-chain fatty acids (MCFA), lauric acid, and hemp leaf extract. MPLM: Same as MPL but supplemented with monolaurin; IgA: Immunoglobulin A; IgG: Immunoglobulin G; IgM: Immunoglobulin M

4.4.4 ผลอิทธิพลของไมโครเอนแคปซูลต่อตัวชี้วัดด้านสภาวะเครียดออกซิเดชันในเลือด ซึ่งประกอบด้วย SOD, GPx และ MDA พบว่า GPx และ SOD ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ MDA (ตัวบ่งชี้ปฏิกิริยาเบต้าออกซิเดชัน) สูงกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งพบว่าหลังจากการป้อน MPLM 8-12 ชั่วโมง อาจเกิดจากความสัมพันธ์แบบเชิงซ้อนต่อปฏิกิริยารีดอกซ์ พบว่า MDA เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาดังกล่าวสุรตบสนองต่อการออกฤทธิ์ของโมโนลอรีนเพิ่มมากขึ้น (Table 4.21)

Table 4.21 Effects of microencapsulated emulsion containing medium-chain fatty acid, Phyto cannabinoid extract, and monolaurin on Antioxidant enzyme activities (GPx, SOD) and lipid peroxidation marker (MDA) in suckling piglets.

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-Value
GPx (U/ml)	416.22	407.82	443.37	11.91	0.462
SOD (U/ml)	1.90	1.95	2.02	0.03	0.178
MDA (μ M)	2.34 ^b	2.33 ^b	5.16 ^a	0.27	<0.001

Note: Different superscript letters (^a, ^b, ^c) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM refers to the standard error of the mean. CTR: Control group; MPL: Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids, which contain medium-chain fatty acids (MCFA), lauric acid, and hemp leaf extract. MPLM: Same as MPL but supplemented with monolaurin; GPx: glutathione peroxidase; MDA: Malondialdehyde; SOD: superoxide dismutase

4.4.5 ผลอิทธิพลของไมโครเอนแคปซูลต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิร่างกายของลูกสุกร โดยการใช้ถ่ายอินฟราเรดจากกล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR C5 เป็นกล้องถ่ายภาพความร้อนสามารถวัดอุณหภูมิร่างกายของลูกสุกรแต่ละช่วงอายุได้ โดยค่าแผ่รังสีความร้อนหรือค่าความคลาดเคลื่อนที่ 0.97 หรือ 97% Table 4.22 และพบว่ากลุ่ม MPLM สามารถควบคุมอุณหภูมิ หรือรักษาอุณหภูมิร่างกายได้ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ จาก Table 4.23 สามารถสรุปผลการศึกษาผลของการเสริมผงไมโครเอนแคปซูลเลชันของกรดไขมันสายกลางและสารสกัดกัญชงต่ออุณหภูมิร่างกายของลูกสุกร ซึ่งการทดลองนี้ได้ประเมินผลของการเสริมผงไมโครเอนแคปซูลเลชันของกรดไขมันสายกลางและสารสกัดกัญชงในอาหารลูกสุกรแรกเกิด โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ผ่านการตรวจวัดอุณหภูมิจากหลายตำแหน่งของร่างกาย โดยใช้เทคนิควัดอุณหภูมิอินฟราเรดด้วยกล้อง FLIRC5 ช่วงเวลาวัดครอบคลุมระยะตั้งแต่ 12 ชั่วโมงหลังคลอดจนถึง 21 วันก่อนหย่านม พบว่าภายใน 12 ชั่วโมงแรกหลังคลอด พบว่าอุณหภูมิดวงตา (eye.12hr) และอุณหภูมิระบบทางเดินอาหาร (digestive system.12hr) ของกลุ่มที่ได้รับการเสริม MPL และ EMPL ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.0001$)

ในขณะที่อุณหภูมิสูงสุดของร่างกาย (max temperature.12hr) ในกลุ่ม EMPL ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ CTR ($P < 0.0001$) อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิของหู หัวใจ และสะโพกยังไม่มี ความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง เมื่อวัดผลในช่วง 24 ชั่วโมงหลังคลอด พบว่ากลุ่ม MPL มี อุณหภูมิหัวใจ (heart.24hr) และลำตัว (body.24hr) ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.0001$) รวมทั้งอุณหภูมิเฉลี่ยของลำตัว (average temperature.24hr) ในกลุ่ม EMPL ลดลงจาก CTR อย่างชัดเจน ($P < 0.0001$) ในช่วงอายุ 3 วัน ผลการวัดอุณหภูมิของหู (ear.3D) อุณหภูมิเฉลี่ยของ ลำตัว (average temperature.3D) และอุณหภูมิสูงสุดของลำตัว (body.max.3D) สะท้อนแนวโน้ม กลุ่มที่ได้รับสารเสริม (MPL และ EMPL) มีค่าอุณหภูมิร่างกายต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$ & $P = 0.002$) การวัดอุณหภูมิต่ำสุดของร่างกาย (body.min.3D) พบว่าทั้งกลุ่ม MPL และ EMPL ลดลงจาก CTR ($p = 0.006$) ผลการวัดในช่วงอายุ 14 วัน พบว่าอุณหภูมิหู (ear.14D), สะโพก (hip.14D) และอุณหภูมิเฉลี่ยของร่างกาย (average temperature.14D) ในกลุ่ม EMPL ต่ำกว่า CTR อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.0001$ และ $P = 0.003$) และ สำหรับช่วงอายุ 21 วัน พบแนวโน้มอุณหภูมิดวงตา (eye.21D), หัวใจ (heart.21D), และลำตัว (body.21D) ของกลุ่ม MPL และ EMPL ต่ำกว่ากลุ่ม ควบคุม ($P < 0.0001$) รวมทั้งอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของลำตัว (body.max.21D, body.min.21D) มีค่าลดลงในกลุ่มที่ได้รับสารเสริม ($P < 0.0001$ และ $P = 0.014$) โดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของลำตัว (body.avg.21D) ในกลุ่ม Mono-EMCL ต่ำที่สุด (30.56°C) เมื่อเทียบกับกลุ่ม CTR (31.98°C) และ EMPL (30.59°C) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.0001$)

Table 4.22 Thermal parameters, physical data, and emissivity of piglets at different postnatal ages.

Piglets	Skin Temperature ($^{\circ}\text{C}$)		Rectal Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Weight	Emissivity
	Left-Right	tape			
Newborn piglets	35.53	35.05	38.25	1.72	0.97
1-week-old piglets	35.42	35.25	38.15	2.19	0.96
2-week-old piglets	35.22	35.80	37.35	3.72	0.97
3-week-old piglets	35.93	35.75	36.75	5.19	0.96

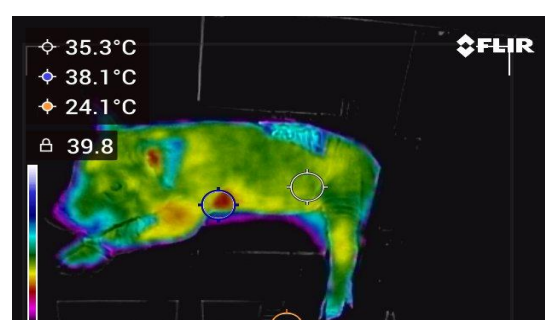
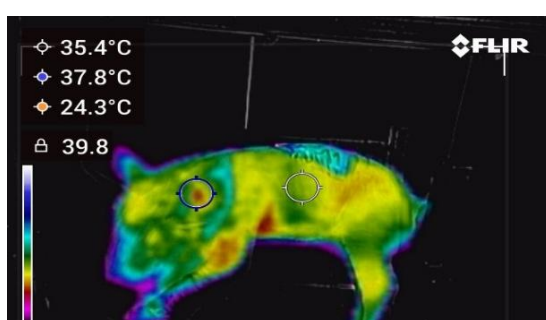


Figure 4.8 Piglets fed RO-H₂O (CTR) orally 24 hours after birth.

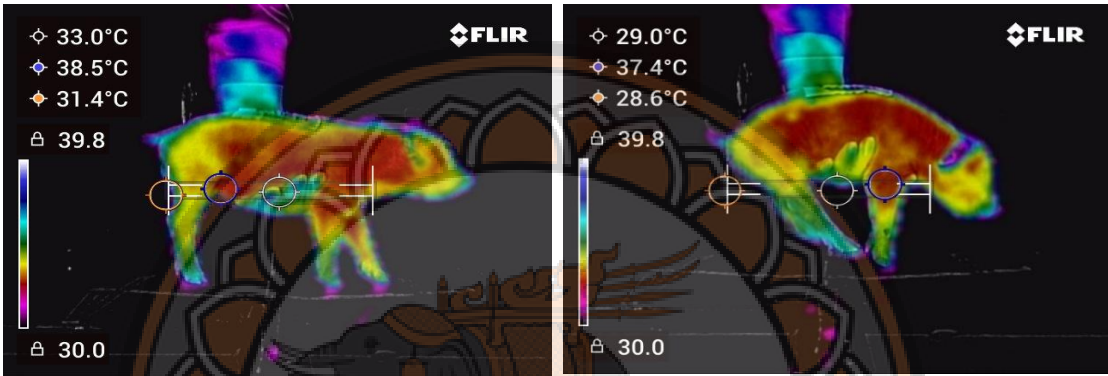


Figure 4.9 Piglets fed MPL orally 24 hours after birth.

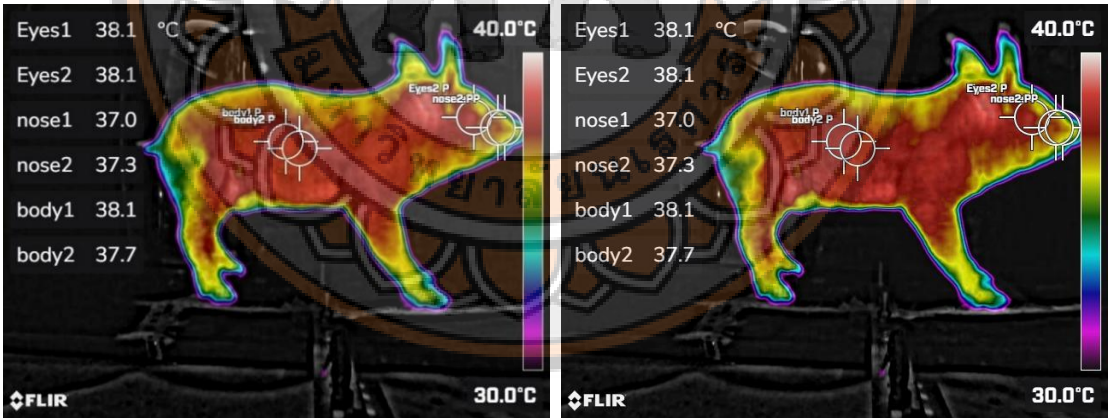
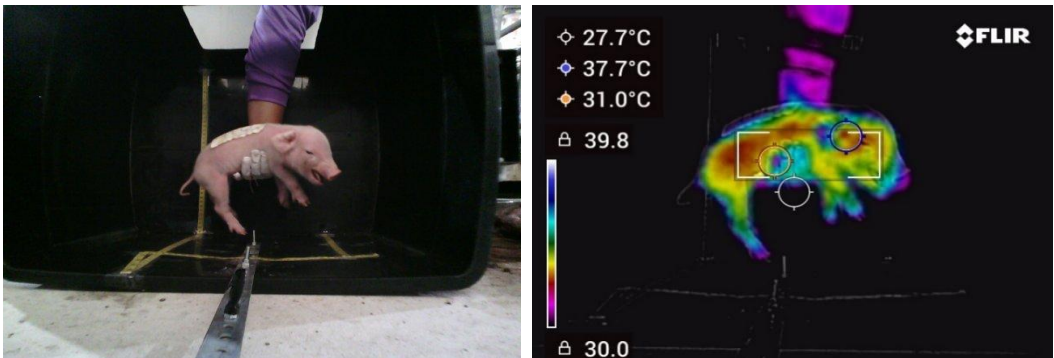


Figure 4.10 Piglets fed EPML orally 24 hours after birth.



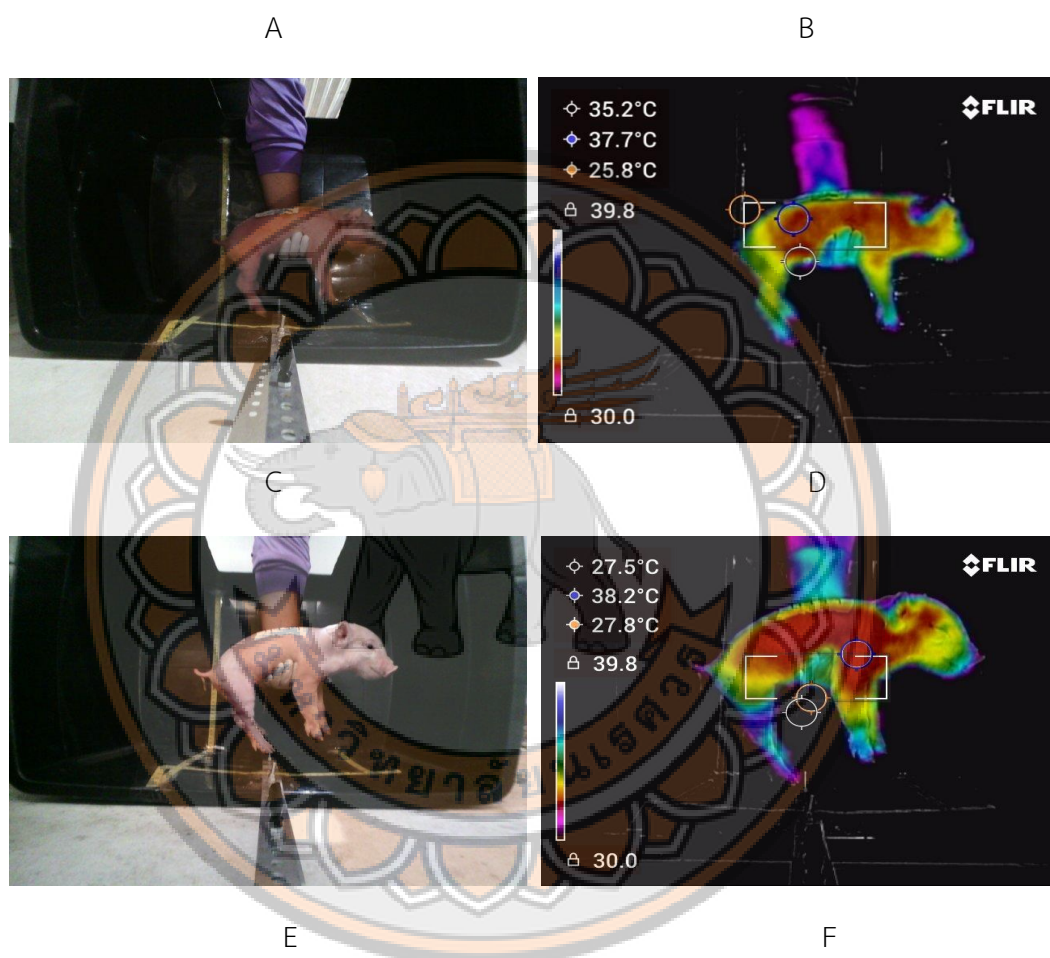
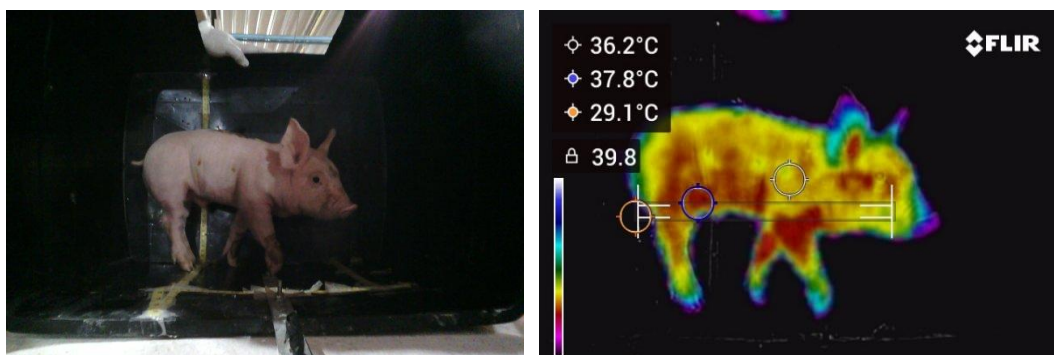


Figure 4.11 Low weight piglets after being fed experimental treatments
(A&B=CTR, C&D=MPL, E&F=EPML).



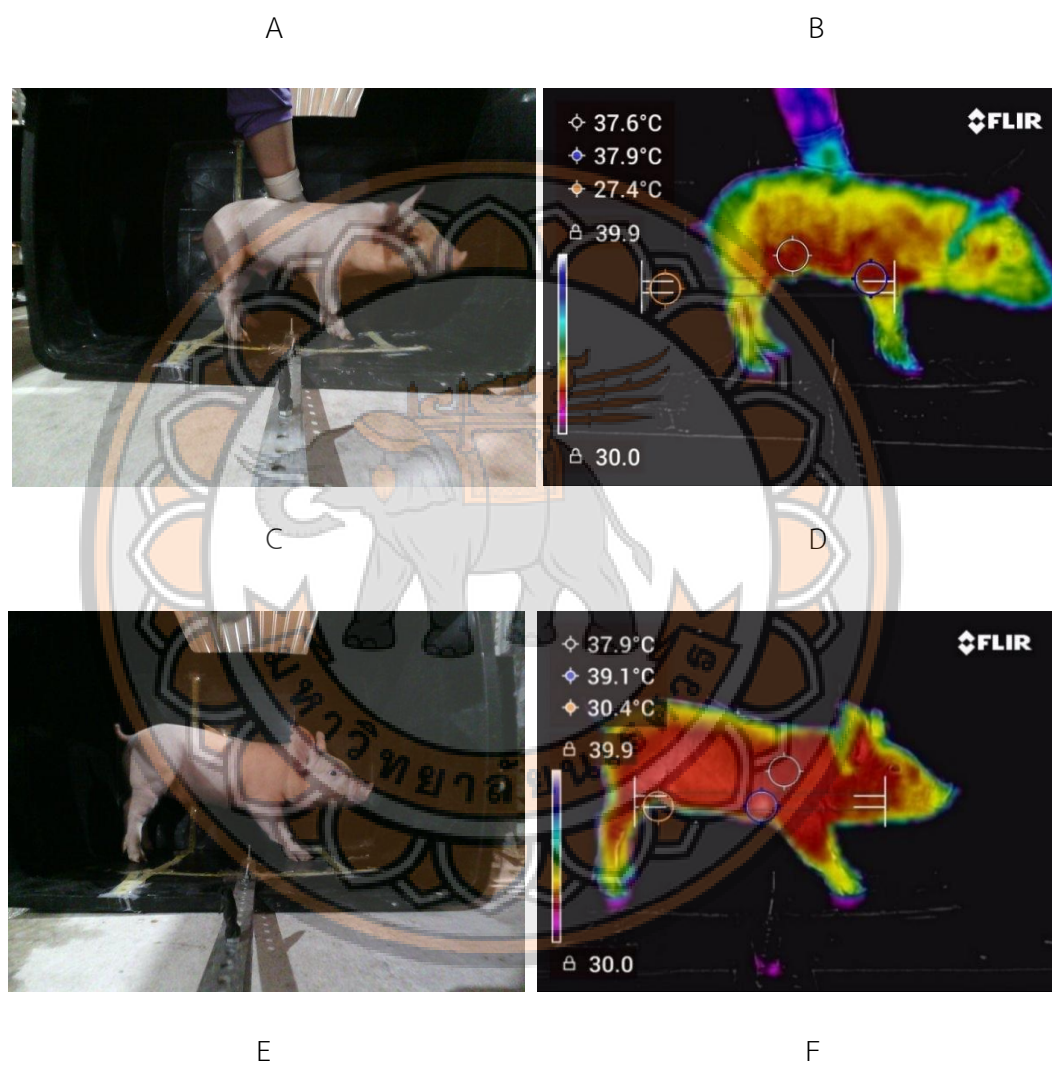


Figure 4.12 Changes in body temperature at 14-day piglets
(A&B=CTR, C&D=MPL, E&F=EPML)

Table 4.23 Body temperature table of piglets between 12 hours after birth and 21 days of age, compared to experimental groups.

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-value
12 hr					
piglets	256	196	140		
eye (°C)	35.48 ^b	36.08 ^a	35.49 ^b	0.056	>0.001
ear (°C)	34.15	34.52	36.52	0.515	0.182
heart (°C)	37.06	37.49	37.39	0.088	0.082
body (°C)	36.33	36.66	36.43	0.046	0.008
Digestive system (°C)	36.56 ^b	37.30 ^a	36.79 ^b	0.075	>0.001
hip (°C)	35.60	37.62	35.14	0.546	0.162
Max temperature (°C)	35.78 ^a	35.30 ^b	34.95 ^b	0.078	>0.001
min temperature (°C)	27.22	28.88	26.70	0.391	0.073
Average temperature (°C)	32.70	32.86	30.84	0.674	0.476
24 hr					
piglets	156	209	110		
eye (°C)	35.8	36.15	35.81	0.092	0.165
ear (°C)	34.84	36.48	33.87	0.170	0.201
heart (°C)	37.39 ^b	38 ^a	37.69 ^{ab}	0.047	>0.001
body (°C)	36.36 ^b	37.11 ^a	36.75 ^{ab}	0.037	>0.001
Digestive system (°C)	0.32	0.32	0.32	0.737	0.319
hip (°C)	35.54 ^b	36.51 ^a	36.07 ^{ab}	0.081	>0.001
Max temperature (°C)	36.33	35.48	35.72	0.126	0.013
min temperature (°C)	28.16	30.15	27.73	0.539	0.131
Average temperature (°C)	32.60 ^a	31.81 ^{ab}	31.33 ^b	0.075	>0.001

Note: Means in the same row with different superscript letters (^{a, b, c}) are significantly different ($P < 0.05$). CTR: control group, MPL: group receiving medium-chain fatty acid microencapsulated powder mixed with hemp extract, EPML: group receiving medium-chain fatty acid microencapsulated powder mixed with hemp extract and monolaurin, SEM = standard error of the mean. Body temperature of piglets was measured using a FLIR C5 thermal imaging camera (°C).

Table 4.23 (Continue)

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-value
3 days					

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-value
piglets	86	179	71		
eye (°C)	35.9	35.41	35.48	0.118	0.211
ear (°C)	34.33 ^b	35.67 ^a	34.77 ^b	0.119	>0.001
heart (°C)	37.45	37.40	42.11	0.900	0.103
body (°C)	36.58 ^a	36.09 ^b	36.35 ^{ab}	0.054	>0.001
Digestive system (°C)	36.77	37.05	37.35	0.116	0.237
hip (°C)	35.91	35.50	36.33	0.143	0.069
Max temperature (°C)	36.43 ^a	35.63 ^b	36.35 ^a	0.111	0.002
min temperature (°C)	27.69 ^b	28.10 ^{ab}	28.64 ^a	0.102	0.006
Average temperature (°C)	31.92	31.64	31.72	0.067	0.234
14 days					
piglets	104	170	60		
eye (°C)	35.68	35.46	35.49	0.068	0.364
ear (°C)	36.03 ^a	35.65 ^a	33.74 ^b	0.196	>0.001
heart (°C)	37.14	37.15	36.65	0.115	0.246
body (°C)	35.46	35.76	41.01	0.995	0.116
Digestive system (°C)	36.60	36.74	36.77	0.060	0.511
hip (°C)	36.3a	35.77 ^b	35.70 ^b	0.055	>0.001
Max temperature (°C)	36.72 ^a	35.95 ^b	36.06 ^b	0.060	>0.001
min temperature (°C)	29.30	28.92	28.89	0.084	0.103
Average temperature (°C)	32.46 ^a	32.09 ^{ab}	31.52 ^b	0.063	>0.001

Note: Means in the same row with different superscript letters (^{a, b, c}) are significantly different ($P < 0.05$). CTR: control group, MPL: group receiving medium-chain fatty acid microencapsulated powder mixed with hemp extract, EPML: group receiving medium-chain fatty acid microencapsulated powder mixed with hemp extract and monolaurin, SEM = standard error of the mean. Body temperature of piglets was measured using a FLIR C5 thermal imaging camera (°C).

Table 4.23 (Continue)

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-value
21 days					
piglets	192	170	95		
eye (°C)	34.94 ^a	34.20 ^b	34.50 ^b	0.076	>0.001
ear (°C)	34.45	34.06	34.13	0.124	0.346
heart (°C)	35.52 ^a	34.82 ^b	35.76 ^a	0.092	>0.001
body (°C)	34.26 ^a	33.46 ^b	33.82a ^b	0.063	>0.001
Digestive system (°C)	35.10 ^a	34.55b	35.05a	0.065	>0.001
hip (°C)	34.44 ^a	33.47b	33.68b	0.114	>0.001
Max temperature (°C)	35.54 ^a	34.73b	35.22a	0.049	>0.001
min temperature (°C)	27.77 ^a	25.20b	25.63b	0.101	>0.001
Average temperature (°C)	31.98 ^a	30.59b	30.56b	0.060	>0.001

Note: Means in the same row with different superscript letters (^{a, b, c}) are significantly different ($P < 0.05$). CTR: control group, MPL: group receiving medium-chain fatty acid microencapsulated powder mixed with hemp extract, EPML: group receiving medium-chain fatty acid microencapsulated powder mixed with hemp extract and monolaurin, SEM = standard error of the mean. Body temperature of piglets was measured using a FLIR C5 thermal imaging camera (°C).

4.4.6 ผลอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูล MPL และ MPLM ในลูกสุกรช่วงดูตนม เปรียบเทียบลูกสุกรในกลุ่ม CTR ต่อความหลากหลายของประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดิน

วิเคราะห์คุณภาพของ DNA ของมูลสุกรที่ได้จากการสวอปจากทวาร ในวันที่ 18-21 หลังจากคลอด โดยกำหนดให้ลูกสุกรได้รับปัจจัยสารเสริม MPL และ MPLM โดยเปรียบเทียบกลุ่มควบคุม CTR จากข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูลทางชีวสารสนเทศ (bioinformatics analysis pipeline) 16S rRNA amplicon sequencing ตามด้วยวิเคราะห์โครงสร้าง และความหลากหลายของประชากรจุลินทรีย์ (microbial community structure and diversity analysis) จะได้ลักษณะของประชากรจุลินทรีย์ 2 ชนิด 1) ความหลากหลายของอัลฟา (Alpha diversity) ใช้วิเคราะห์ความหลากหลายทางชีวภาพภายใน และ 2) ความหลากหลายของเบต้า (Beta diversity) ใช้วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความคล้ายคลึงหรือแตกต่างขององค์ประกอบประชากรจุลินทรีย์ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง และกลุ่มทดลอง และการทำนายศักยภาพเชิงหน้าที่ (Taxonomic classification and functional) และวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐาน (statistical analysis for hypothesis testing) test/ANOVA, LEfSe, metagenomeSeq) ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบค่าความหลากหลายภายในกลุ่ม (alpha diversity) ของชนิดสายพันธุ์ จุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่มทดลอง (CTR, MPL และ MPLM) ได้จากการเก็บตัวอย่างจากทวารของลูกสุกร อายุเฉลี่ย 18–21 วัน แบ่งเป็น 3 กลุ่มทดลอง กลุ่มละ 16 ตัวอย่าง รวมจำนวน 48 ตัวอย่าง โดยแต่ละกลุ่มทดลองยังแบ่งตามน้ำหนักแรกคลอดเป็น 4 ระดับ ได้แก่ < 0.99 กก. (WT1), 1.00–1.20 กก. (WT2), 1.21–1.41 กก. (WT3) และ > 1.42 กก. (WT4) จาก **Table 4.24** พบว่าค่าเฉลี่ย Chao1 ซึ่งใช้ประเมินจำนวนชนิดพันธุ์ทั้งหมด และจำนวนชนิดพันธุ์ที่พบจริง (observed features) ในแต่ละกลุ่มอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน โดยค่า Chao1 อยู่ระหว่าง 460.41–490.96 และค่า observed features อยู่ระหว่าง 450.50–478.56 การวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ($P=0.84$ และ $P=0.86$ ตามลำดับ) ตัวชี้วัดค่าดอมิแนนซ์ (dominance) ซึ่งแสดงถึงสัดส่วนหรือบทบาทสำคัญของแต่ละชนิดพันธุ์ในระบบนิเวศ พบว่าค่านี้อยู่ในช่วงต่ำ (0.04–0.05) ในทุกกลุ่ม และไม่พบความแตกต่างเชิงสถิติ ($P=0.49$) สะท้อนให้เห็นว่าชุมชนจุลินทรีย์ไม่มีชนิดใดที่โดดเด่นเหนือกว่าชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับค่าความสม่ำเสมอของการกระจายชนิดพันธุ์ (Pielou_e) พบว่ามีค่าสูงและใกล้เคียงกันในทุกกลุ่ม (0.67–0.69) สะท้อนถึงการกระจายตัวที่สมดุลระหว่างชนิดพันธุ์ในแต่ละกลุ่ม โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.46$) ค่าดัชนี Shannon (5.87–6.12) และ Simpson (0.95–0.96) แสดงถึงระดับความหลากหลายและสมดุลของชุมชนจุลินทรีย์ที่สูงในทุกกลุ่มทดลอง และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P=0.63$ และ $P=0.49$)

จาก **Figure 4.13** นี้แสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีความหลากหลายจุลินทรีย์อัลฟา (alpha diversity indices) ในกลุ่มลูกสุกรที่ได้รับสูตรอาหารต่างชนิด ได้แก่ CTR (ควบคุม), MPL (อิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูเลชันพื้นฐาน) และ MPLM (อิมัลชัน MPL เสริมโมโนลอรีน) โดยในแต่ละ **Figure 4.13A–F** เปรียบเทียบค่าดัชนีแต่ละตัวที่วัดความหลากหลายจุลินทรีย์จากตัวอย่างมูลลูกสุกรหลังคลอด 21 วัน โดยที่ทุกค่าดัชนีที่แสดงการวิเคราะห์จากตัวอย่างมูลลูกสุกรที่ได้รับการป้อนสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินผลกระทบต่อโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์ในลำไส้พบว่า กลุ่ม MPL และ MPLM ส่งเสริมความหลากหลายของจุลินทรีย์ในลำไส้ มากกว่ากลุ่ม CTR เล็กน้อยในทุกค่าดัชนี แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) กลุ่ม MPLM มีแนวโน้มดีที่สุดในการเพิ่มทั้งจำนวน และความสมดุลของจุลินทรีย์ โดยลดความโดดเด่นของเชื้อจุลินทรีย์ (dominance) และเพิ่มความหลากหลายของชนิดสายพันธุ์ (observed features **Figure 4.13F**, chao1 **Figure 4.13A**)

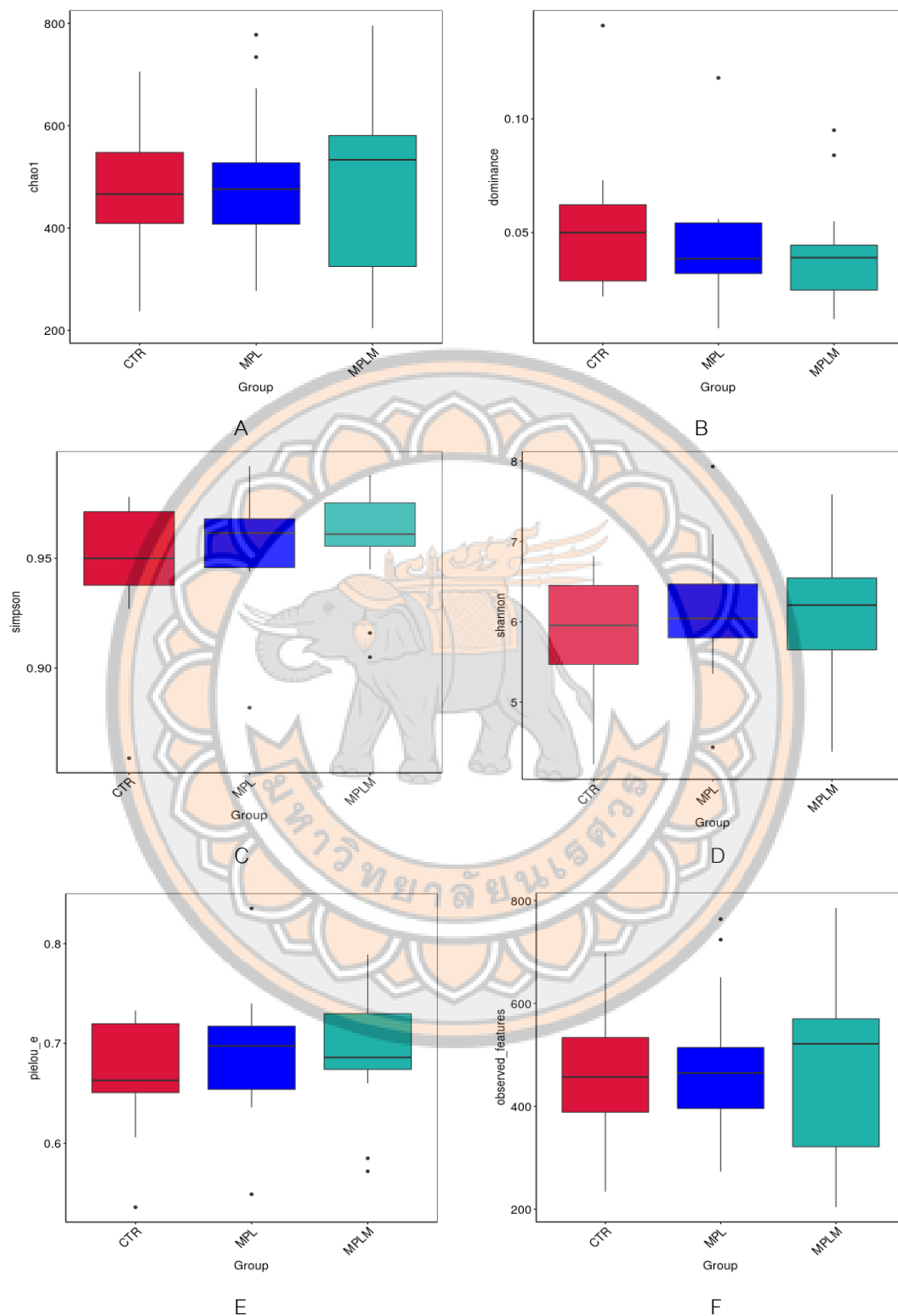


Figure 4.13 Boxplot comparison of alpha diversity indices in fecal microbiome of suckling pigs under different dietary treatments. (CTR, MPL, MPLM) (A: chao1, B: dominance, C: Simpson, D: Shannon, E: pielou_e (evenness), F: observed_features)

เมื่อพิจารณาจาก chao1 แสดงจำนวนชนิดจุลินทรีย์ทั้งหมดเมื่อลูกสุกรได้รับ MPLM ส่งผลให้มีค่าความหลากหลายสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ เล็กน้อย **Figure 4.13E** โดยดัชนีใช้วัดทั้งด้านชนิด และความสม่ำเสมอของจุลินทรีย์ หากค่าใกล้ 1 แปลผลว่ายังมีหลากหลาย MPL, MPLM สูงกว่า CTR เล็กน้อย ดังนั้นความสมดุลของชุมชนจุลินทรีย์ที่ดีขึ้นเมื่อได้รับสารเสริมตามการทดลองดังกล่าวผ่านการตรวจสอบเบื้องต้นด้วย Shannon ใน **Figure 4.13D** ใช้วัดความหลากหลายจุลินทรีย์ ซึ่งพบว่า MPL, MPLM สูงกว่า CTR เล็กน้อย แสดงความหลากหลายทางพันธุกรรมและสมดุลของความหลากหลายประชากรจุลินทรีย์สูงขึ้น

Table 4.24 Alpha diversity indicates fecal microbiome in suckling pigs according to dietary treatment group.

Alpha diversity	CTR	MPL	MPLM	SEM	P-Value
Chao1	460.41	490.96	475.40	20.77	0.84
Dominance	0.05	0.04	0.04	0.00	0.49
Observed_features	450.50	478.56	466.38	20.52	0.86
Pielou_e	0.67	0.69	0.69	0.01	0.46
Shannon	5.87	6.12	6.09	0.11	0.63
Simpson	0.95	0.96	0.96	0.00	0.49

Note: Means in the same row with different superscript letters (^{a,b}) are significantly different ($P < 0.05$). CTR: control group, MPL: group receiving medium-chain fatty acid microencapsulated powder mixed with hemp extract, EPML: group receiving medium-chain fatty acid microencapsulated powder mixed with hemp extract and monolaurin, SEM = standard error of the mean.

เมื่อพิจารณาภาพรวมตามแผนการทดลอง พบว่าตัวอย่างในแต่ละกลุ่มทดลองมีความแปรปรวนภายในกลุ่มค่อนข้างสูง โดยค่าเฉลี่ยของความหลากหลายจุลินทรีย์ (alpha diversity) ในแต่ละตัวอย่างและแต่ละกลุ่มน้ำหนักแรกคลอดมีค่าใกล้เคียงกัน ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าค่าดัชนีความหลากหลายดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง (CTR, MPL และ MPLM) ข้อมูลดังกล่าวแสดงว่าสารเสริมที่ใช้เป็นปัจจัยทดลอง ไม่ว่าจะเป็นสูตร MPL หรือ MPLM ไม่มีผลกระทบเชิงลบ (destructive effect) ต่อโครงสร้างระบบนิเวศจุลินทรีย์โดยรวม และไม่ทำให้ระดับความหลากหลายจุลินทรีย์ในลำไส้ลดลง ซึ่งนับเป็นลักษณะสำคัญของสารเสริมโภชนาที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในระดับนี้ นอกจากนี้ แม้สูตรที่มีการเติมโมโนลอรีน (MPLM) อาจไม่ได้ส่งผลต่อความหลากหลายเชิงปริมาณของชนิดแบคทีเรียโดยรวม แต่ลักษณะผลกระทบมีแนวโน้มเป็น

การปรับเปลี่ยนสัดส่วนของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในระบบมากกว่า (shifting the composition) สำหรับความแปรปรวนที่พบในค่า alpha diversity ภายในแต่ละกลุ่ม อาจมีปัจจัยจากความแตกต่างระหว่างสัตว์ (inter-individual variation) เช่น ความสามารถในการเลี้ยงลูกของแม่สุกร ปริมาณและคุณภาพของน้ำนม น้ำหนักแรกคลอด และระดับภูมิคุ้มกันที่ลูกสุกรได้รับจากแม่ ซึ่งทั้งหมดนี้ส่งผลต่อองค์ประกอบจุลินทรีย์แต่เริ่มต้นจนถึงระยะท้ายของการทดลอง รวมทั้งอิทธิพลของสารเสริมและอิทธิพลจากนมแม่ (maternal effect) ในช่วง 3 สัปดาห์แรกที่ลูกสุกรยังอยู่ในระยะดูนม จึงอาจก่อให้เกิดความแปรปรวนต่อคุณสมบัติของชุมชนจุลินทรีย์มากกว่าผลจากสารเสริมโภชนาโดยตรง

ดังนั้น การประเมินความหลากหลายภายในกลุ่ม (alpha diversity) โดยใช้ดัชนีทั้ง Chao1 (richness) และ Shannon (diversity) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มควบคุม (CTR) กลุ่มที่ได้รับสารเสริม MPL และกลุ่มที่ได้รับสารเสริมสูตรที่ผสมโมโนลอรีน (MPLM) ตามผลการทดสอบแบบ Kruskal-Wallis ($P>0.05$) ผลการวิเคราะห์นั้นแสดงว่าสารอาหารเสริมดังกล่าวไม่ได้ส่งผลต่อความหลากหลายโดยรวมของประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรช่วงก่อนหย่านม (อายุ 21 วัน)

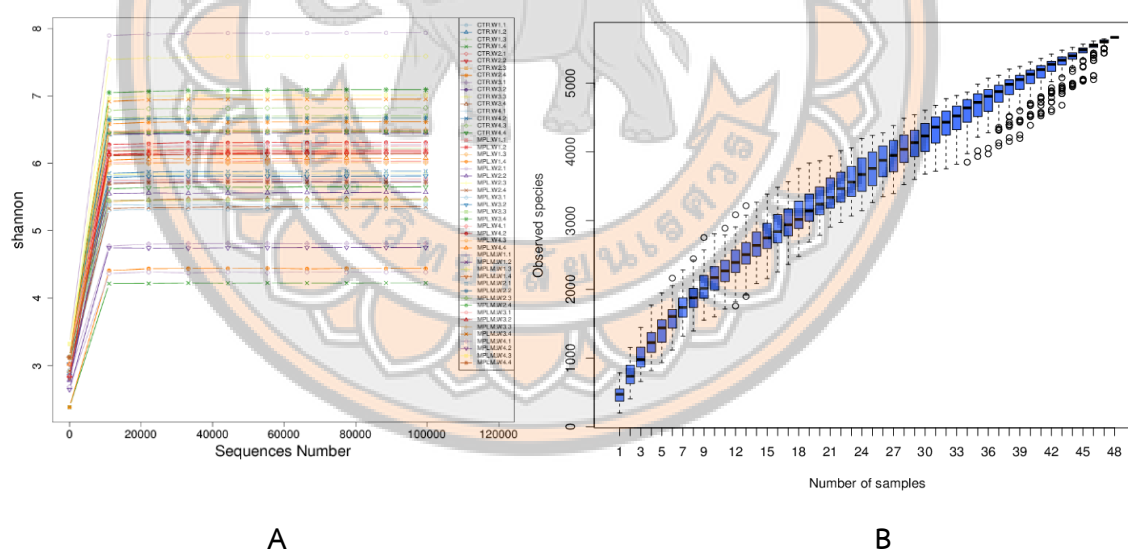


Figure 4.14 Rarefaction curves (A) and species accumulation Boxplot (B) displaying sequencing depth saturation and microbial diversity in fecal samples of suckling pigs under different dietary treatments

จาก **Figure 4.14A** ซึ่งแสดงกราฟเส้นของความหลากหลายจุลินทรีย์ (alpha diversity) ที่พล็อตค่าดัชนี Shannon เทียบกับจำนวนลำดับพันธุกรรม (sequencing depth) ของแต่ละตัวอย่าง พบว่า ความชันของกราฟในช่วงเริ่มต้นสูงและค่าดัชนี Shannon เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อจำนวนอ่าน

ยังต่ำ จากนั้นกราฟจะเข้าสู่จุดอิ่มตัว (saturation) ซึ่งค่าความหลากหลายคงที่แม้จำนวนลำดับจะเพิ่มขึ้นอีก สะท้อนว่าความลึกในการลำดับ (sequencing depth) มีความเพียงพอต่อการครอบคลุมความหลากหลายของชุมชนจุลินทรีย์ในตัวอย่างทั้งหมด แต่ละเส้นในกราฟแทนแต่ละตัวอย่างในแต่ละกลุ่มทดลอง และแบ่งตามน้ำหนักแรกคลอดสูง ผลการวิเคราะห์พบว่ากลุ่มควบคุม (CTR) มีค่าความหลากหลายต่ำที่สุด โดยเฉพาะในกลุ่มน้ำหนักแรกคลอดต่ำ (WT1, WT2) ขณะที่กลุ่มที่ได้รับสารเสริม MPL มีค่าความหลากหลายปานกลาง และกลุ่มที่ได้รับ MPLM มีค่าความหลากหลายสูงสุดอย่างต่อเนื่องทุกน้ำหนักแรกคลอด โดยสังเกตจากกราฟเส้นที่อยู่ระดับสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบค่าความหลากหลายระหว่างกลุ่ม สารเสริม MPL และ MPLM ส่งผลให้ alpha diversity สูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกลุ่ม CTR ส่วนน้ำหนักแรกคลอดมีผลรอง กลุ่มทดลองที่มีความหลากหลายแบคทีเรียสูงแสดงถึงสมดุลชุมชนจุลินทรีย์ในลำไส้ที่ดีกว่า เกิดสภาวะ microbiota ที่มีประโยชน์ และลดความเสี่ยงของภาวะเสียสมดุลจุลินทรีย์ (dysbiosis)

จาก **Figure 4.14B** แสดงผลกราฟกล่อง (species accumulation boxplot) ที่ใช้วิเคราะห์ความหลากหลายของชนิดจุลินทรีย์ (species richness) ในระบบนิเวศจุลินทรีย์ลำไส้สุกร โดยแกน X แสดงจำนวนตัวอย่างที่ถูกนำมาวิเคราะห์รวม และแกน Y แสดงจำนวนชนิดจุลินทรีย์ที่ตรวจพบ (species richness) กราฟนี้สะท้อนการเพิ่มขึ้นของจำนวนชนิดจุลินทรีย์เมื่อตัวอย่างรวมมากขึ้น และเข้าสู่จุดอิ่มตัว (saturation point) เมื่อจำนวนตัวอย่างประมาณ 40-48 ตัวอย่าง ซึ่งหมายถึงการสุ่มตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้มีความครอบคลุมและเพียงพอต่อการประเมินความหลากหลายของจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยค่ากลางของ boxplot ส่วนใหญ่อยู่ที่ 4,000-5,000 ชนิดต่อกลุ่มตัวอย่าง แสดงถึงความหลากหลายทั้งในระดับ species, genus และ OTUs ได้อย่างครบถ้วนโดยไม่คำนึงถึงความสมดุล (evenness) ระหว่างกลุ่มทดลอง ผลการวิเคราะห์พบว่ากลุ่มที่ได้รับสารเสริมสูตร MPLM และ MPL มีจำนวนชนิดจุลินทรีย์สะสมสูงสุด ขณะที่กลุ่มควบคุม (CTR) มีจำนวนชนิดจุลินทรีย์สะสมน้อยกว่า โดยกลุ่ม CTR ที่น้ำหนักแรกคลอดต่ำ (WT1) มี outlier ซึ่งหมายถึงจำนวนชนิดจุลินทรีย์ต่ำกว่าค่ากลางอย่างเด่นชัด ลักษณะของ boxplot ที่มีช่วงกว้างและค่าต่ำนี้บ่งชี้ถึงภาวะความหลากหลายต่ำและความไม่สมดุลของประชากรจุลินทรีย์ในบางกลุ่มทดลอง อาจสะท้อนภาวะ dysbiosis ในกลุ่มสุกรที่มีน้ำหนักแรกคลอดต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับสารเสริมโภชนะ

ดังนั้นจาก **Figure 4.14 A และ B** สามารถสรุปได้ว่าสารเสริม MPLM ช่วยเพิ่มความหลากหลายจุลินทรีย์ (alpha diversity) ได้สูงที่สุด ส่งผลดีต่อสุขภาพลำไส้ ช่วยสร้างความเสถียรของประชากรจุลินทรีย์ และลดความเสี่ยงต่อภาวะ dysbiosis ซึ่งอาจนำไปสู่การเกิดอาการท้องเสีย อีกทั้งจำนวนชนิดจุลินทรีย์ของกลุ่ม MPLM สูงกว่าและใกล้เคียงกับกลุ่ม MPL และมากกว่ากลุ่ม CTR อย่างชัดเจนในทุกตัวอย่างและทุกช่วงน้ำหนักแรกคลอด

จากแผนภาพ **Figure 4.15** (rank abundance curve) แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างประชากรและความหลากหลายของจุลินทรีย์ในมูลสุกรหย่านมแต่ละกลุ่มทดลอง โดยผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าประชากรจุลินทรีย์ในสุกรช่วงดูดนมและก่อนหย่านมในทุกกลุ่มทดลอง มีรูปแบบโครงสร้างประชากรโดยรวมที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยชนิดจุลินทรีย์นำ (core species) เพียงไม่กี่ชนิดที่มีจำนวนชนิดจุลินทรีย์ที่ abundance สูง หรือ ต่ำ (rare biosphere) จำนวนมากกระจายอยู่ในส่วนหางของกราฟ ซึ่งเป็นลักษณะปกติของระบบนิเวศของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ ยังพบว่ามีตัวอย่างบางกลุ่มซึ่งไม่มีชนิดจุลินทรีย์ใดที่มีความโดดเด่นเป็นพิเศษ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ alpha diversity โดยที่การใช้สารเสริมโภชนะบางสูตรอาจทำให้จุลินทรีย์มีสัดส่วนความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์สูงมากขึ้นกว่ากลุ่ม CTR ซึ่งนำไปสู่การลดความสม่ำเสมอ (evenness) ของประชากรจุลินทรีย์ในตัวอย่างบางกลุ่ม ดังนั้น แผนภาพนี้สามารถแนบยาให้เห็นว่า ลูกสุกรที่ได้รับสารเสริมโภชนะไม่ได้ส่งผลเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบความหลากหลายของชนิดจุลินทรีย์โดยรวมในลำไส้ของลูกสุกรช่วงดูดนม หรือก่อนหย่านมอย่างมีนัยสำคัญ แต่อาจมีผลต่อความโดดเด่นและความสม่ำเสมอของกลุ่มจุลินทรีย์บางชนิดในบางตัวอย่าง ทำให้เกิดความแปรปรวนของความหลากหลายจุลินทรีย์ในลำไส้และโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ระหว่างแต่ละตัวอย่าง

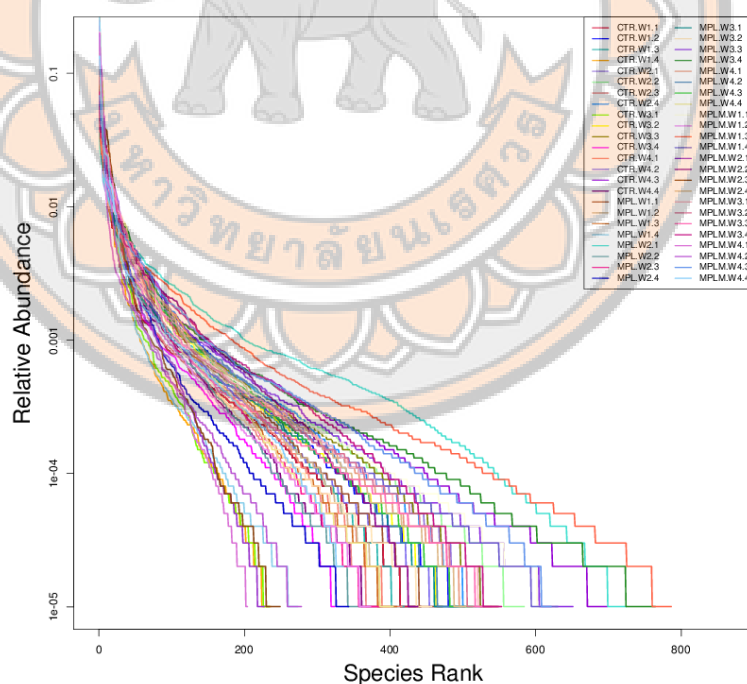


Figure 4.15 Rarefaction curves illustrating relative abundance and sequencing depth saturation of bacterial communities in fecal samples of suckling pigs under different dietary treatments

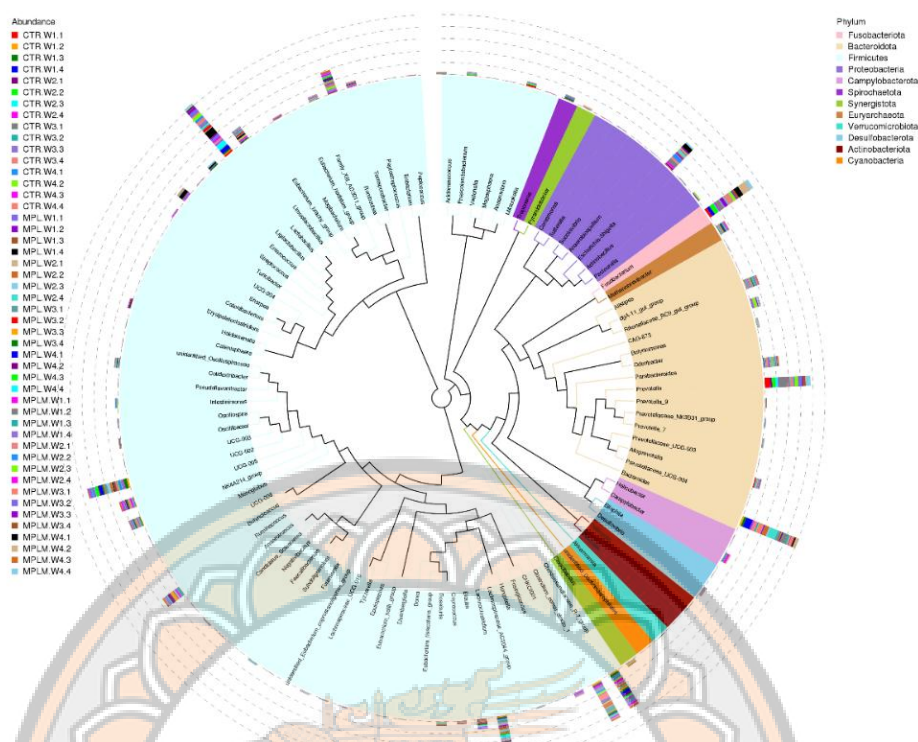


Figure 4.16 Phylogenetic tree and relative abundance of bacterial phylum in fecal microbiome of suckling pigs under different dietary treatments

Figure 4.16 และ Figure 4.17 แสดงสายวิวัฒนาการ (phylogenetic tree) ของแบคทีเรียในระดับไฟลัม (Phylum) พร้อมด้วยกราฟแท่ง (bar graph) และภาพความร้อน (heatmap) ซึ่งแสดงความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (relative abundance) ในตัวอย่างมูลสุกรช่วงตอนนม อายุ 21 วันหลังคลอด หรือสุกรก่อนหย่านม ในแต่ละกลุ่มการทดลอง ได้แก่ กลุ่มควบคุม (CTR), กลุ่ม MPL และกลุ่ม MPLM รวมทั้งปัจจัยช่วงน้ำหนักร่างกายแรกคลอด (WT1–WT4) โดยสามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบองค์ประกอบด้านสายวิวัฒนาการของจุลินทรีย์กับปริมาณสัมพัทธ์ของไฟลัมต่าง ๆ และสังเกตรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในประชากรจุลินทรีย์ที่มีผลมาจากสูตรอาหารและน้ำหนักร่างกายแรกคลอดได้อย่างชัดเจน โดยพบว่ากลุ่ม CTR พบความอุดมสมบูรณ์ของ Firmicutes มากที่สุด และรองลงคือ Bacteroidetes, Proteobacteria และ Fusobacteriota สำหรับสัดส่วนของ Proteobacteria และ Fusobacteriota สูงสุกรน้ำหนักร่างกายแรกคลอดน้อย (WT1–WT2) ซึ่งเป็นลักษณะของจุลินทรีย์ลำไส้ที่ยังไม่ถูกพัฒนาเต็มที่ และมีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะไดสไบโอซิส อัตราการเกิดท้องเสีย และการอักเสบในระบบทางเดินอาหาร สำหรับสายวิวัฒนาการของแบคทีเรียในกลุ่ม CTR มีความกระจายตัวในระดับไฟลัม ส่วนกลุ่ม MPL พบความอุดมสมบูรณ์ของ Firmicutes สูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะใน WT3 และ WT4 ในขณะที่ Bacteroidetes ลดลงเมื่อเทียบกับ CTR แต่ยังคงอยู่ในระดับที่

ช่วยสนับสนุนการย่อยและหมักเยื่อใยอาหาร สัดส่วนของ Proteobacteria และ Fusobacteriota ลดลงชัดเจนในกลุ่ม MPL โดยเฉพาะในช่วงน้ำหนักรากคลอด WT3-WT4 ซึ่งแสดงถึงผลประโยชน์ด้านสุขภาพของสูตรอาหารดังกล่าวต่อองค์ประกอบประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้สุกร

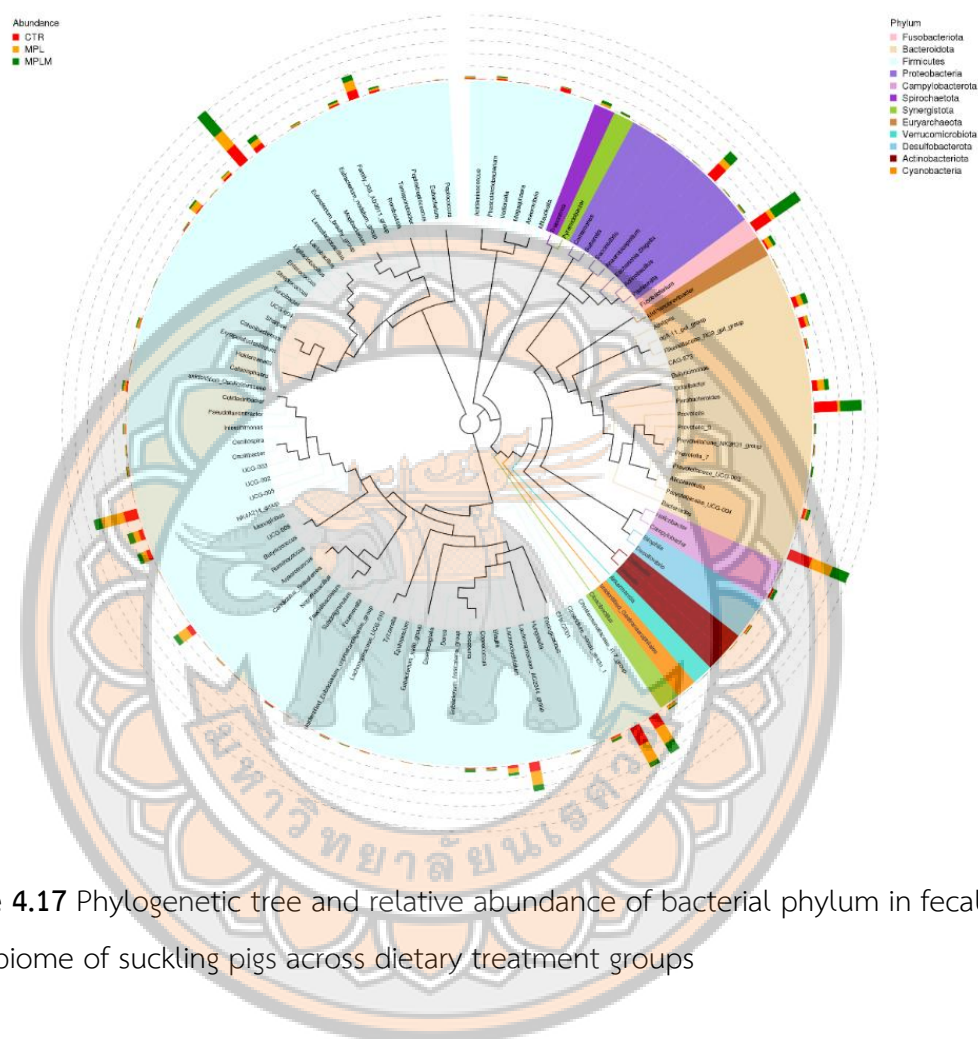


Figure 4.17 Phylogenetic tree and relative abundance of bacterial phylum in fecal microbiome of suckling pigs across dietary treatment groups

โดยภาพรวมของแผนภาพนี้แสดงความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของจุลินทรีย์ พบว่ากลุ่ม MPL แสดง microbial profile ที่ออกจากสภาวะเสี่ยง และใกล้เคียงสัดส่วนที่เหมาะสมของการส่งเสริมสุขภาพที่ดีขึ้นของสุกรในช่วงอายุดังกล่าว และกลุ่ม MPLM พบความอุดมสมบูรณ์ของ Firmicutes ที่เด่นชัด และสูงสุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่ม โดยพบมากในทุกช่วงน้ำหนักรากคลอด และยังพบอีกว่า Proteobacteria และ Fusobacteriota ลดลงต่ำสุดในทุกกลุ่ม โดยแนวโน้มนี้ปรากฏในทั้ง WT1-WT4 และ Bacteroidota อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ไม่ลดต่ำจนขัดขวางการหมักย่อยเยื่อใยอาหาร โดยภาพรวมของแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของจุลินทรีย์ และ แถบสัดส่วนสัมพัทธ์ (abundance bar) ของ MPLM สะท้อนถึงโครงสร้างจุลินทรีย์ในลำไส้เข้าสู่สภาวะสมดุล จะช่วยให้ส่งเสริมสุขภาพลำไส้ และลดความเสี่ยงการเชื้อก่อโรคอื่นๆ โดยเมื่อพิจารณาปัจจัยของน้ำหนักราก

คลอดของสุกร พบว่า น้ำหนักแรกคลอดมีผลรองในการกระจาย microbiome profile ทว่าปัจจัยหลักคือสูตรสารเสริมโภชนะ (MPL และ MPLM) ที่ปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ หรือ ไมโครไบโอมคอมโพสิชัน (microbiome composition) ได้โดดเด่นกว่า CTR ส่วน ในน้ำหนักแรกคลอดน้อย (WT1–WT2) ในกลุ่มที่ได้รับสูตรสารเสริม MPLM สามารถปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ได้ใกล้เคียงกับกลุ่มน้ำหนักแรกคลอดสูง (WT3–WT4) ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงการติดเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร

ดังนั้นการวิเคราะห์ในเชิงกลไกและผลเชิงสุขภาพ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารเสริม MPLM สามารถปรับปรุงและสร้างความหลากหลายของจุลินทรีย์ พร้อมทั้งเพิ่มจำนวนหรือสัดส่วนของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ให้อยู่ในระดับสูงในลำไส้ (abundant microbial community) ยิ่งไปกว่านั้นยังพบการเพิ่มขึ้นของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ดี เช่น Firmicutes ลดกลุ่มเชื้อระดับ phylum ที่ก่อโรค เช่น Proteobacteria, Fusobacteriota ซึ่งผลดังกล่าวมีนัยสำคัญต่อการส่งเสริมสุขภาพลำไส้และลดโอกาสติดเชื้อก่อโรค รวมถึงลดภาวะความไม่สมดุลขององค์ประกอบจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร (dysbiosis) ในสุกรทุกช่วงน้ำหนักแรกคลอด อย่างไรก็ตาม สูตร MPL ให้ผลดีในการปรับโครงสร้างจุลินทรีย์ในลำไส้เช่นกัน โดยเฉพาะในกลุ่มน้ำหนักแรกคลอดน้อย แต่ผลการปรับสมดุลยังเป็นรองสูตร MPLM ขณะที่กลุ่ม CTR แสดงให้เห็นถึงสภาพพื้นฐานของสุกร และเป็นแบบแผนขององค์ประกอบประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ที่สัมพันธ์กับระดับความเสี่ยงในการเกิดปัญหาสุขภาพหรือโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหาร (microbial risk profiles) จากแผนภาพทั้งสองนี้ จึงสามารถสรุปได้ว่าสายวิวัฒนาการของแบคทีเรียในภาพรวมแต่ละกลุ่มทดลองสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและความหลากหลายของประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ที่เกิดจากการใช้สูตรสารเสริมโภชนะ ซึ่งให้ผลที่สำคัญเหนือกว่าปัจจัยน้ำหนักแรกคลอดในการกำหนดสุขภาพของสุกรก่อนหย่านม

จาก **Figure 4.18** เป็นแผนภาพ beta diversity heatmap จะแสดงระดับความแตกต่างเชิงความหลากหลายของประชากรจุลินทรีย์ในมูลสุกรหย่านมจากแต่ละกลุ่มทดลอง ภายใต้การเสริมสารอาหารที่แตกต่างกัน โดยความเข้มของสีใน heatmap บ่งชี้ระดับ dissimilarity ระหว่างคู่ตัวอย่างสีร้อน (เช่น สีส้ม/แดง) หมายถึงความคล้ายคลึงกันสูง (dissimilarity ต่ำ) ส่วนสีเย็น (เช่น เหลือง) หมายถึงความแตกต่างสูง (dissimilarity สูง) ช่องทแยง เช่น CTR-CTR, MPL-MPL, MPLM-MPLM เป็น within group dissimilarity ที่ค่าระยะห่างเท่ากับ 0 กรณีเปรียบเทียบกับตัวเอง และตัวเลขในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งบ่งชี้ความแปรปรวนในแต่ละกลุ่ม โดยค่าทางสถิติในแผนภาพนี้แสดงถึงความแตกต่างทั้งระหว่างกลุ่ม (between groups) และภายในกลุ่ม (within group) โดยพบว่า within group dissimilarity ของแต่ละกลุ่มอยู่ในระดับที่สูง เช่น 0.323, 0.349, 0.351 ตามลำดับ แสดงถึงความแปรปรวนของประชากรจุลินทรีย์แม้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการวิเคราะห์ alpha diversity ที่พบความหลากหลายสูงในรายตัวอย่าง และเมื่อเปรียบเทียบ

ระยะห่างข้ามกลุ่ม (off-diagonal) พบว่า CTR กับ MPLM มีค่าห่างสูงสุด (0.197) เช่นเดียวกับ MPL กับ MPLM (0.181) ในขณะที่ CTR กับ MPL มีค่าห่างต่ำสุด (0.112) สะท้อนว่าโครงสร้างจุลินทรีย์ระหว่าง CTR และ MPL คล้ายคลึงกันมากกว่ากลุ่มอื่นๆ ในขณะที่ MPLM มีผลเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์อย่างเห็นได้ชัด แสดงถึงบทบาทของสารเสริมโมโนลอรีนที่เพิ่มความแตกต่างและพลวัตของ microbial community ภายในลำไส้สุกร

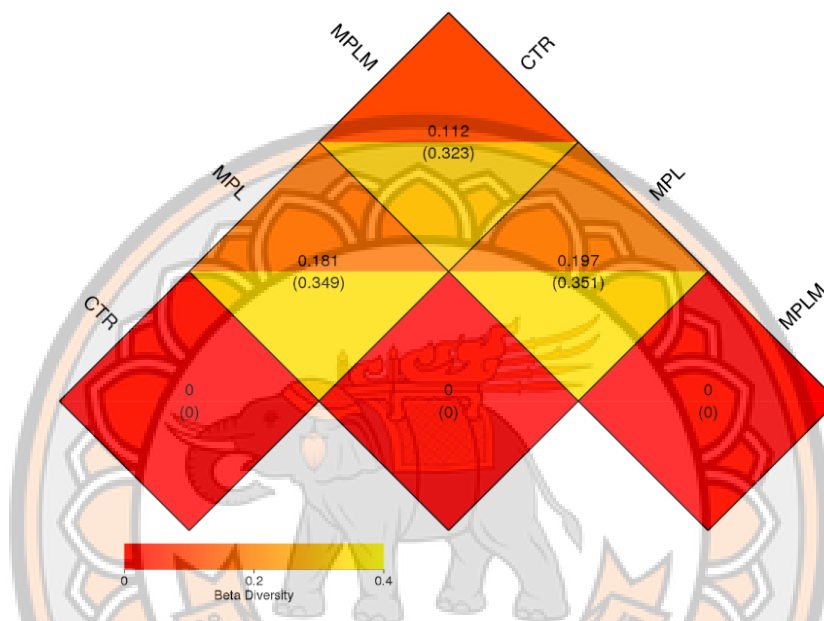


Figure 4.18 Beta diversity heatmap displaying pairwise phylogenetic community dissimilarity among fecal microbiome of suckling piglets under different dietary treatments

จาก **Figure 4.19A** ซึ่งแสดงองค์ประกอบของประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้สุกรที่ระดับไฟลัม (Phylum) โดยพิจารณาจากค่าความชุกชุมสัมพันธ์ของแต่ละกลุ่ม พบแนวโน้มที่มีความน่าสนใจ โดยเฉพาะในกลุ่มลูกสุกรที่มีน้ำหนักแรกคลอดต่ำ โดยผลการวิเคราะห์พบว่า ลูกสุกรน้ำหนักน้อยมีคุณสมบัติจุลินทรีย์ที่ยังไม่สมบูรณ์ดี (immature profile) หรือขาดสมดุลและความหลากหลายของประชากรจุลินทรีย์ ในลักษณะนี้ สัดส่วนของจุลินทรีย์กลุ่มโปรตีโอแบคทีเรีย (Proteobacteria) และฟูโซแบคทีเรียโรตา (Fusobacteriota) จะสูงกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่มีน้ำหนักแรกคลอดปกติหรือสูงกว่า ซึ่งสะท้อนถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแรกคลอดกับพัฒนาการของจุลินทรีย์ของลำไส้ในเชิงทางชีวภาพ เมื่อพิจารณาภาพรวมแยกตามกลุ่มการทดลองจาก **Figure 4.19B** พบว่า ลูกสุกรกลุ่มควบคุม (CTR) มีสัดส่วนของจุลินทรีย์ไฟลัมเฟอริคิวเทส (Firmicutes) สูงถึงประมาณ 62% ซึ่งถือเป็นกลุ่มหลักในสัปดาห์นี้ รองลงมาคือแบคเทอโรยโดต้า (Bacteroidota) ประมาณ 21% โดยมี

Fusobacteriota อยู่ในสัดส่วนที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับ MPL และ MPLM นอกจากนี้ โปรตีนโอแบคทีเรีย (Proteobacteria) พบว่ามีสัดส่วนประมาณเท่าเดิม หรือสูงกว่ากลุ่ม MPLM เล็กน้อย สำหรับไฟลัมอื่น ๆ นั้น มีการกระจายตัวในปริมาณที่น้อย

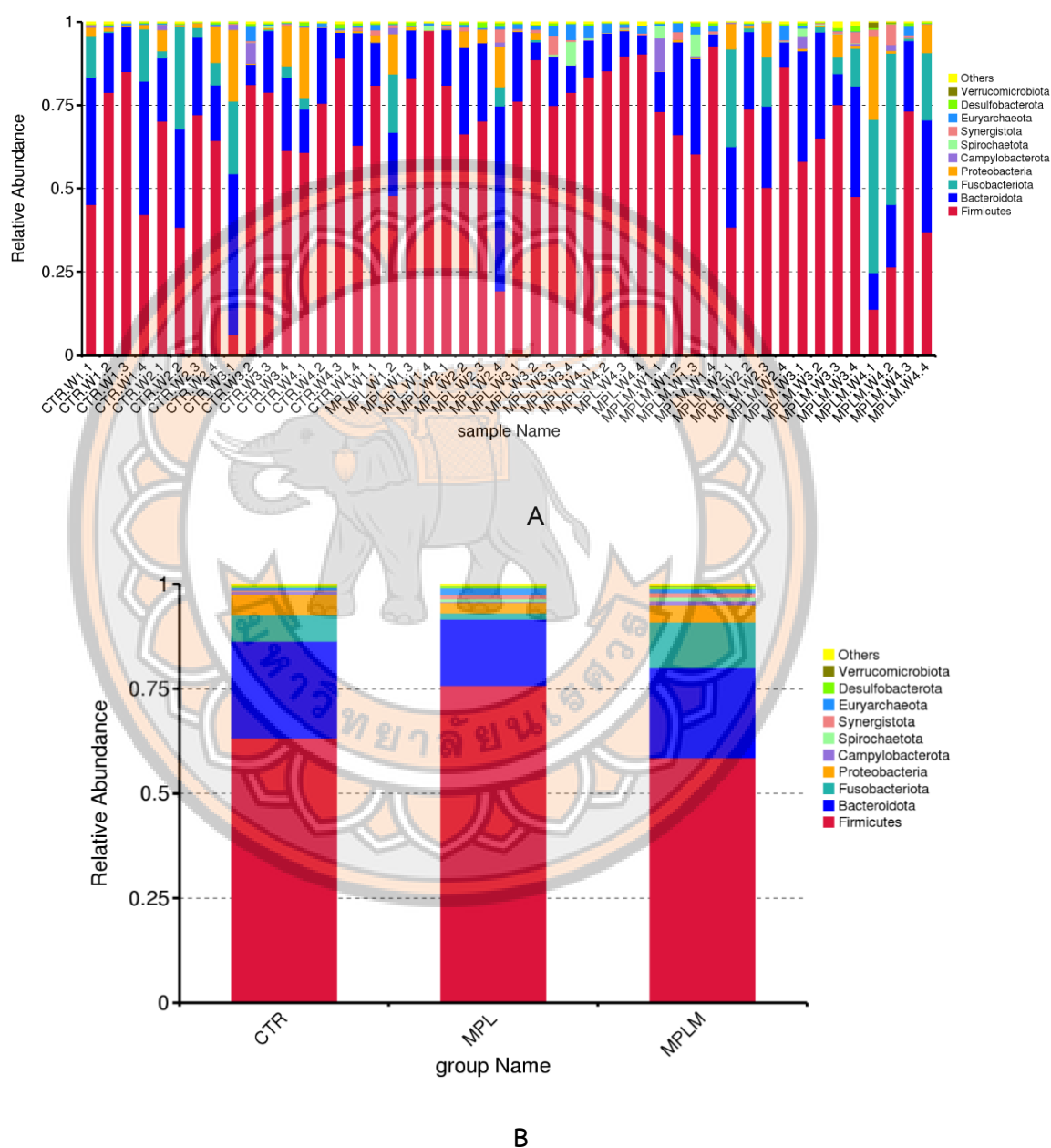


Figure 4.19 Relative abundance of fecal bacterial phylum in suckling pigs under different treatments (A) and treatment groups (B) in suckling pigs

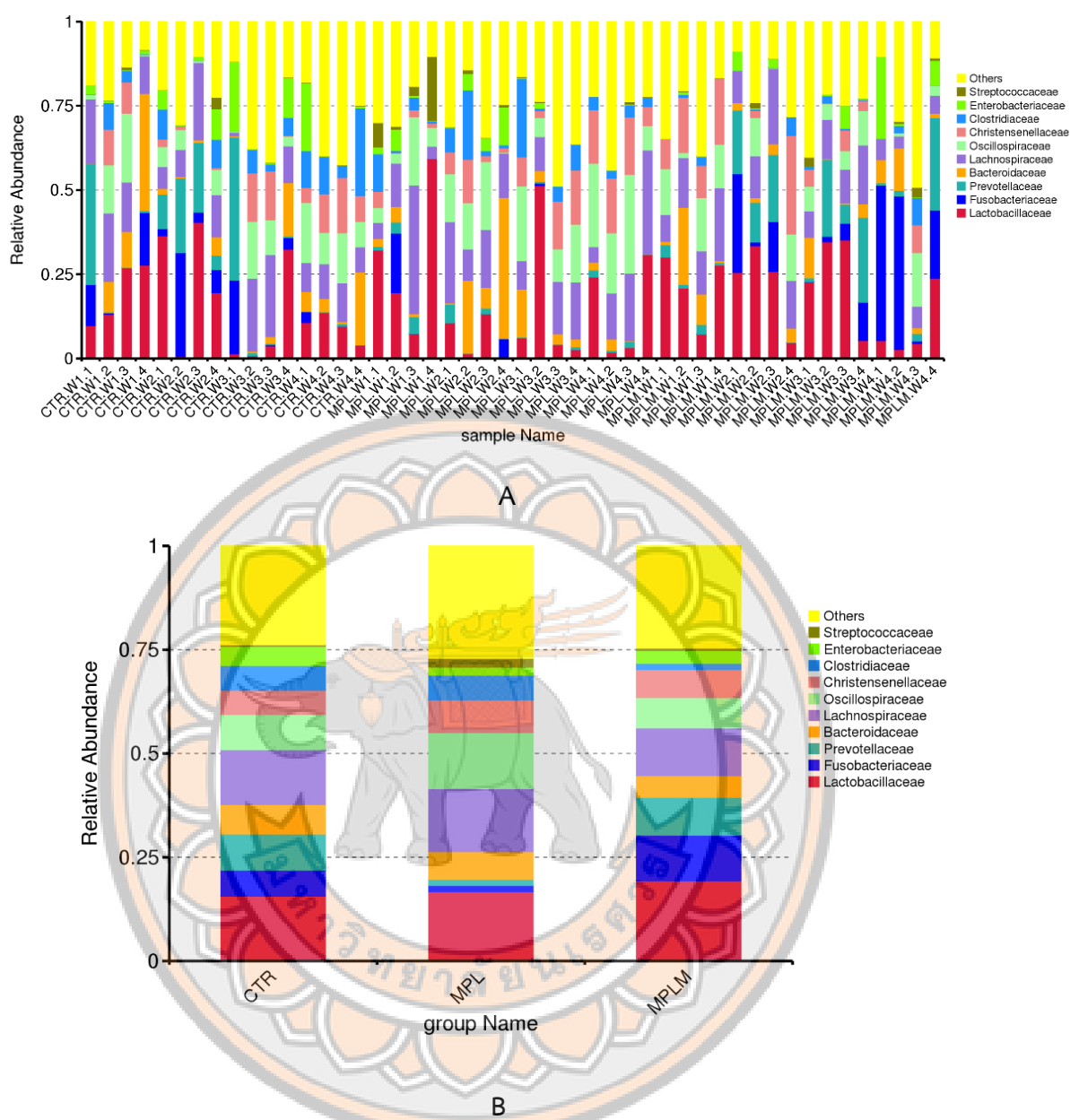


Figure 4.20 Relative abundance of fecal bacterial family in suckling pigs under different treatments (A) and treatment groups (B) in suckling pigs

ส่วนในกลุ่มที่ได้รับสารเสริมสูตร MPL พบว่า Firmicutes เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน มากกว่า 75% จากสัดส่วนทั้งหมด ขณะที่ Bacteroidota ลดลงเหลือประมาณ 15–17% เมื่อเปรียบเทียบกับ CTR และ Fusobacteriota รวมถึง Proteobacteria ก็มีระดับลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม สำหรับกลุ่มที่ได้รับสูตร MPLM พบว่า Firmicutes อยู่ในสัดส่วนประมาณ 63% ซึ่งใกล้เคียงกับกลุ่ม MPL แต่สูงกว่ากลุ่ม CTR ในขณะที่ Bacteroidota อยู่ประมาณ 19% Fusobacteriota ต่ำกว่า CTR และ Proteobacteria พบในสัดส่วนที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบทุกกลุ่ม นอกจากนี้ ยังพบว่า

Campylobacterota กับ Verrucomicrobiota ซึ่งเป็นไฟลัมรอง มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในกลุ่มนี้ จากแผนภาพทั้งสอง สามารถสรุปได้ว่า การให้สารเสริมชนิดต่าง ๆ ส่งผลให้โครงสร้างและสมดุลของ ไฟลัมจุลินทรีย์ในลำไส้ถูกรบกวนเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน โดยสูตร MPL และ MPLM ส่งเสริมให้กลุ่ม Firmicutes เติบโตขึ้น ลดกลุ่มจุลินทรีย์ที่เสี่ยง เช่น Proteobacteria และ Fusobacteriota ในขณะที่ กลุ่มควบคุมยังคงลักษณะจุลินทรีย์ที่แสดงถึงความเสี่ยงต่อภาวะไดสไบโอซิส (dysbiosis) หรือ ภาวะที่จุลินทรีย์ต่างๆ ที่อาศัยอยู่ร่วมกันในไมโครไบโอมไม่สมดุลกัน และมีโอกาสการติดเชื้อโรคอื่นๆ ของ ลำไส้ของลูกสุกรได้

จาก **Figure 4.20** ซึ่งเป็นแผนภาพแสดงค่าความชุกชุมสัมพันธ์ของสกุลแบคทีเรีย (family) ในมูลของลูกสุกรช่วงดูดนมพบว่ากลุ่ม CTR พบว่า Lactobacillaceae เป็นจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุด และจัดเป็นเชื้อกลุ่มดี เช่น Lactobacillus spp. และพบ Fusobacteriaceae, Prevotellaceae, Lachnospiraceae พบในสัดส่วนปานกลาง และเชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม Enterobacteriaceae และ Clostridiaceae พบในสัดส่วนน้อย ซึ่งเชื้อกลุ่มนี้เป็นเชื้อก่อโรค ส่วนกลุ่ม MPL พบสัดส่วน Lactobacillaceae ใกล้เคียงกับ CTR ส่วน Lachnospiraceae และ Oscillospiraceae มีสัดส่วน สูงขึ้นซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์เชื้อดีและเป็นกลุ่มเชื้อที่ผลิตบิวทีเรต ส่วน Enterobacteriaceae ลดลง เล็กน้อย และ กลุ่มอื่นๆ ยังพบมากเช่นเดิม สะท้อนความหลากหลายของจุลินทรีย์ และ กลุ่ม MPLM พบว่า Lactobacillaceae สูงสุดในกลุ่มนี้ สูงมากกว่ากลุ่มอื่นๆ ส่วน Fusobacteriaceae, Prevotellaceae และ Bacteroidaceae เพิ่มขึ้นชัดเจนยิ่งส่งเสริมให้สุขภาพลำไส้ของสุกรดีขึ้น เนื่องจากเป็นเชื้อดีในลำไส้ อีกทั้ง Enterobacteriaceae (กลุ่มก่อโรค) ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อ เปรียบเทียบกับกลุ่ม CTR และ MPL ซึ่งสะท้อนว่าความหลากหลายของจุลินทรีย์ในระบบทางเดิน อาหาร และกิจกรรมส่งเสริมของจุลินทรีย์ในลำไส้ลูกสุกรดีขึ้น

จาก **Table 4.25** พบว่า Lactobacillaceae ซึ่งเป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่มีประโยชน์และเป็น probiotic เติบโตในระบบทางเดินอาหารสุกร มีสัดส่วนสัมพัทธ์สูงสุดในกลุ่ม MPLM (20.88%) รองลงมาคือ MPL (18.07%) และ CTR (15.86%) ผลดังกล่าวแสดงถึงประสิทธิภาพของสูตร MPL และ MPLM ที่มีความเข้มข้นกรดลอริก รวมถึงการเติมโมโนลอริน ที่ส่งเสริมประชากรจุลินทรีย์ชนิดดี ในลำไส้สุกรอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงก่อนหย่านม ซึ่งเป็นระยะสำคัญของการตั้งรากฐานระบบ ภูมิคุ้มกันและสมดุลจุลินทรีย์. โดยเฉพาะ Prevotellaceae พบแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในกลุ่ม MPLM (8.70%) เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ซึ่งเชื้อกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญต่อการย่อยอาหาร พัฒนา microbiota และสนับสนุนสุขภาพลำไส้ Lachnospiraceae กับ Oscillospiraceae ซึ่งเป็นกลุ่มที่ ผลิต butyrate (กรดไขมันระยะสั้นที่ช่วยซ่อมแซมเยื่อและลดการอักเสบ) ก็มีสัดส่วนสูงขึ้นในกลุ่ม ทดลอง และ Christensenellaceae มีแนวโน้มเพิ่มตามลำดับเมื่อลูกสุกรได้รับสูตรเสริมเหล่านี้ สำหรับกลุ่มจุลินทรีย์ก่อโรค ผลการศึกษาระบุว่า CTR มีสัดส่วน Clostridiaceae สูงสุด (7.58%) ซึ่ง

ลดลงอย่างมีนัยสำคัญใน MPLM (1.78%, $P < 0.05$) ส่วน Enterobacteriaceae ซึ่งรวมถึงเชื้อก่อโรคในทางเดินอาหาร (เช่น *E. coli*) ลดลงเหลือเพียง 1.34% ใน MPLM เทียบกับ CTR ที่ 5.88% Fusobacteriaceae ซึ่งเป็นอีกกลุ่มที่เชื่อมโยงกับปัญหาทางเดินอาหารก็ลดลงใน MPL และ MPLM เช่นกัน Streptococcaceae พบเพิ่มขึ้นในบางกลุ่มทดลองแต่ไม่มีความแตกต่างเด่นทางสถิติ ($P > 0.05$) จุลินทรีย์กลุ่มอื่น ๆ ที่พบมากไม่ได้เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยทางสถิติระหว่างกลุ่ม ซึ่งผลเหล่านี้ยืนยันว่าสูตรเสริมอาหารด้วยกรดไขมันสายกลางร่วมกับสารออกฤทธิ์ธรรมชาติ (โดยเฉพาะ MPLM ที่มีโมโนลอริน) มีบทบาทสำคัญในการปรับสมดุล microbiota ส่งเสริมประชากรจุลินทรีย์ดี ขณะเดียวกันก็ลดประชากรเชื้อก่อโรคให้ประโยชน์ต่อสุขภาพและช่วยป้องกันโรคในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรแรกเกิด รวมถึงสนับสนุนแนวทางการใช้สารเสริมนี้ในฟาร์มเพื่อสุขภาพสัตว์ที่ดีและลดความเสี่ยงด้านโรค.

Table 4.25 Percentage relative abundance of fecal bacterial families across dietary treatment groups in suckling pigs.

Parameter	CTR	MPL	MPLM	SEM	P-Value
Beneficial microbial groups					
Lactobacillaceae	15.86	18.07	20.88	2.54	0.734
Prevotellaceae	4.99	1.47	8.70	1.59	0.179
Bacteroidaceae	9.36	5.33	4.92	1.62	0.480
Lachnospiraceae	12.43	17.33	11.84	1.28	0.161
Oscillospiraceae	9.48	12.65	9.66	1.15	0.460
Christensenellaceae	6.29	7.40	9.03	1.17	0.642
Pathogenic microorganisms					
Fusobacteriaceae	4.49	0.54	3.33	0.94	0.215
Clostridiaceae	7.58 ^a	3.86 ^{ab}	1.78 ^c	0.86	0.015
Enterobacteriaceae	5.88	1.67	1.34	0.90	0.067
Streptococcaceae	0.43	2.61	0.71	0.56	0.233
Others	23.19	29.05	27.78	1.83	0.400

Note: Different superscript letters (^{a, b, c}) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM refers to the standard error of the mean. CTR: Control group; MPL: Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids, which contain medium-chain fatty acids (MCFA), lauric acid, and hemp leaf extract. MPLM: Same as MPL but supplemented with monolaurin

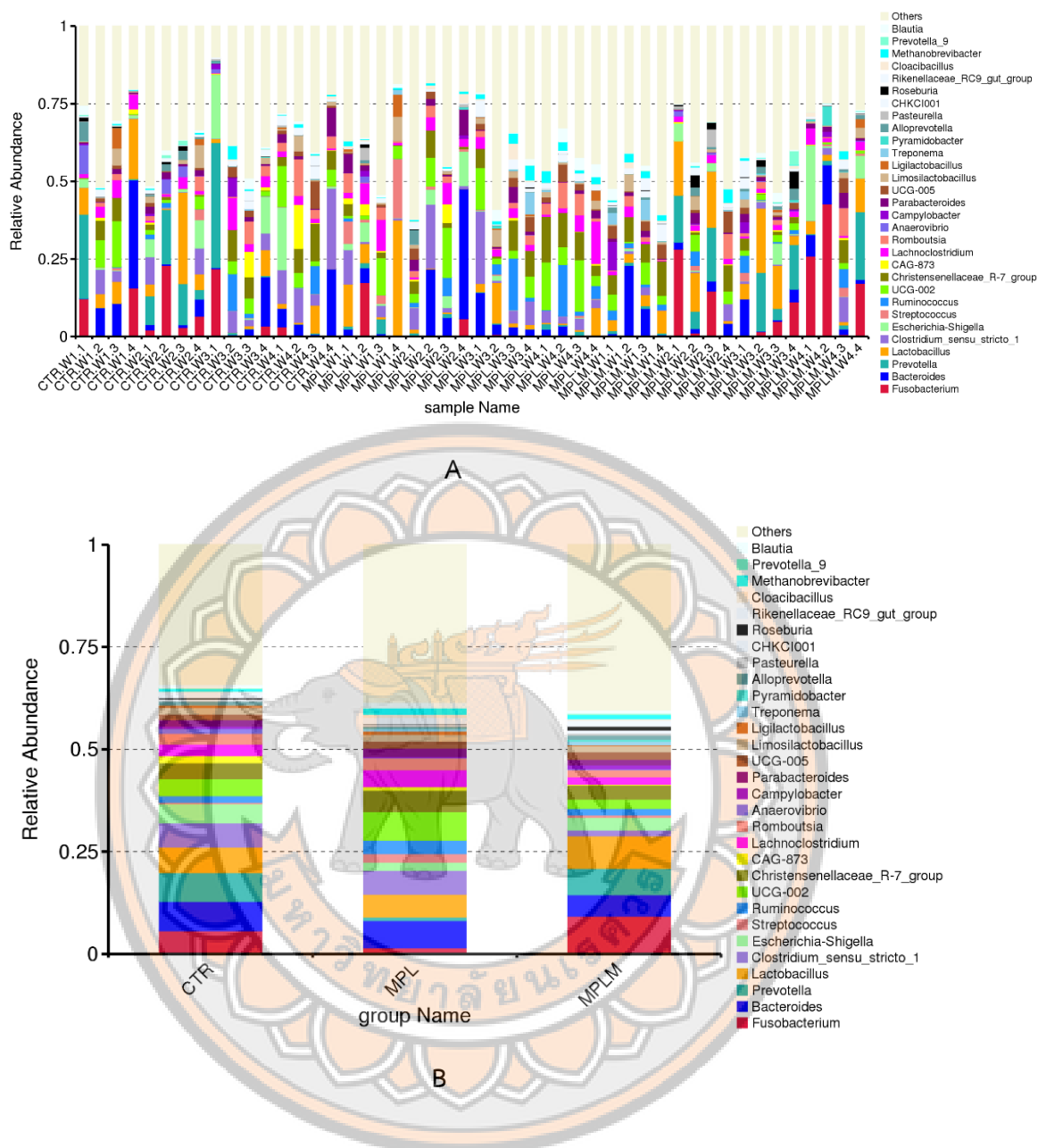


Figure 4.21 Relative abundance of fecal bacterial genus in suckling pigs under different treatments (A) and treatment groups (B) in suckling pigs

จาก **Table 4.26** ผลเปรียบเทียบเชิงลึกของ microbiota ในน้ำหนักแรกคลอดต่าง ๆ พบว่า *Lactobacillus* ซึ่งเป็น genus เด่นเพื่อสุขภาพลำไส้ มีค่ามากที่สุดในกลุ่ม MPLM รองลงมา MPL และ CTR เช่นเดียวกัน โดยแสดงว่าการเสริมอาหารด้วยกรดไขมันสายกลางที่มีโมโนลอรีน (MPLM) สร้างประชากรจุลินทรีย์ที่ดีอย่างชัดเจน โดยกลุ่ม *Prevotella* และ *Roseburia* ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการย่อยไฟเบอร์และกระตุ้นผลิตกรดไขมันระยะสั้นในลำไส้ ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อป้อนสูตร MPL หรือ MPLM สำหรับจุลินทรีย์ก่อโรค *Clostridium_sensu_stricto* พบมากสุดใน CTR และลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ใน MPLM *Fusobacterium* และกลุ่ม *Fusobacteriaceae* ลดลงใน MPLM ขณะที่ *Streptococcaceae* ลดลงใน MPL กับ MPLM แต่ไม่แตกต่างชัดเจนทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยสรุป ผลการศึกษานี้ชี้ว่าสูตรอาหารที่มีกรดไขมันสายกลางและโมโนลอรีน (MPLM) ส่งผลบวกต่อสมดุลและความหลากหลาย microbiota สุก ร่งเสริมอัตราประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และลดประชากรเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรแรกเกิด เป็นกลยุทธ์ที่มีศักยภาพสำหรับการควบคุมโรคและยกระดับสุขภาพสุกรในระยะก่อนหย่านม เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในระดับฟาร์มและอุตสาหกรรมสัตว์

จาก **Figure 4.22** เป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลความอุดมสมบูรณ์เชิงสัมพัทธ์ (relative abundance) ของจุลินทรีย์ในระดับ genus ที่จำแนกจากตัวอย่างมูลของลูกสุกรภายใต้การทดลองที่ได้รับสารเสริมอาหารสูตรต่าง ๆ ได้แก่ MPL และ MPLM โดยใช้กลุ่มควบคุมที่ได้รับน้ำกลั่น เป็นการเปรียบเทียบหลัก โดย Heatmap แสดงข้อมูลในเชิงปริมาณของระดับความชุกชุม (relative abundance) ของจุลินทรีย์แต่ละ genus ในแต่ละตัวอย่าง โดยไล่ระดับค่าความเข้มของสีจากแดง (อุดมสมบูรณ์สูง) เหลือง (ปานกลาง) ไปถึงน้ำเงิน (อุดมสมบูรณ์ต่ำ) เพื่อสะท้อนการกระจายตัวและการเปลี่ยนแปลงของไมโครไบโอม ซึ่งได้รับอิทธิพลจากสูตรอาหารที่แตกต่างกัน อีกทั้งในภาพประกอบด้วย dendrogram ที่แสดงผลการจัดกลุ่ม (clustering) ของตัวอย่างและการสัมพันธ์ระหว่าง genus ต่าง ๆ โดยพิจารณาความคล้ายคลึงหรือความแตกต่างของโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่มทดลองบนแกน X ซึ่งเป็นตัวอย่างสุกรแบ่งตามสูตรอาหารเสริมและช่วงน้ำหนักแรกคลอด ส่วนแกน Y เป็นรายชื่อแบคทีเรียระดับ genus ที่สำคัญภายใต้ phylum ต่าง ๆ เช่น Firmicutes, Bacteroidota, Proteobacteria, Fusobacteriota เป็นต้น ซึ่งการแสดงผลในรูปแบบ heatmap ร่วมกับ dendrogram ช่วยให้เห็นประเมินความหลากหลาย (diversity) และโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ภายในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของสารเสริม MPL และ MPLM ส่งผลดีต่อสุขภาพในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกร ในมิติของความหลากหลาย (abundance) และการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์เชิงโครงสร้าง (community structure) ซึ่งมีความสำคัญต่อสุขภาพ กระบวนการย่อย และการเจริญเติบโต โดยเน้นการวิจัยเปรียบเทียบในระดับ genus เพื่อประเมินผลกระทบของสูตรอาหารต่อระบบนิเวศจุลินทรีย์ในลำไส้สุกร

Table 4.26 Percentage the relative abundance of genus bacterial across treatment groups in suckling pigs.

Parameter	CTR	MPL	MPLM	SEM	P-Value
Beneficial microbial groups					
Lactobacillus	5.55	6.25	7.90	1.167	0.709
Bacteroides	5.24	6.67	7.15	1.303	0.831
Prevotella	0.88	6.45	7.04	1.243	0.081
Ruminococcus	1.58	1.61	3.24	0.569	0.404
Blautia	0.81	0.88	1.39	0.190	0.403
Roseburia	1.74	2.67	2.88	0.409	0.063
Pathogenic microorganisms					
Escherichia-Shigella	4.6	3.08	1.96	0.824	0.415
Clostridium_sensu_stricto	5.92 ^a	5.87 ^a	1.46 ^b	0.861	0.049
Fusobacterium	5.72	9.27	1.50	1.383	0.069
Streptococcus	2.11	0.58	0.34	0.426	0.187

Note: Different superscript letters (^{a, b}) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM refers to the standard error of the mean. CTR: Control group; MPL: Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids, which contain medium-chain fatty acids (MCFA), lauric acid, and hemp leaf extract. MPLM: Same as MPL but supplemented with monolaurin

จาก **Figure 4.22** แสดง heatmap เปรียบเทียบความอุดมสมบูรณ์เชิงสัมพัทธ์ (relative abundance) ของจุลินทรีย์ในระดับ genus ในตัวอย่างมูลของลูกสุกรที่ได้รับสารเสริมโภชนาที่แตกต่างกัน ได้แก่ กลุ่มควบคุม (CTR) กลุ่มที่เสริม MPL และกลุ่มที่เสริม MPLM โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์รายชื่อ genus แบคทีเรียสำคัญ เช่น Lactobacillus, Ruminococcus, Streptococcus, Methanobrevibacter, Prevotella, Escherichia-Shigella, และ Bacteroides เป็นต้น

การจัดรูปแบบฮีทแมพเป็นการแสดงผลเชิงปริมาณ โดยใช้ระดับความเข้มของสีแทนค่าความชุกชุมของแต่ละ genus ในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง ทั้งนี้ การแสดงผลดังกล่าวร่วมกับ dendrogram ที่ประกอบบนแกน Y ช่วยให้เห็นถึงรูปแบบการจัดกลุ่ม (clustering) ของประชากรจุลินทรีย์ตามแต่ละสูตรอาหารเสริม โดยผลการทดลองพบดังนี้

กลุ่ม CTR พบ genus ที่มีความชุกชุมสูงได้แก่ Streptococcus, Methanobrevibacter, Fusobacterium และ Escherichia-Shigella ซึ่งล้วนเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสุขภาพในระบบทางเดินอาหาร เช่น ภาวะท้องเสียและการอักเสบของเยื่อลำไส้

กลุ่ม MPL พบว่าสัดส่วนของ genus ที่เกี่ยวข้องกับการหมักย่อยอาหารและสร้างกรดไขมันสายสั้น เช่น Ruminococcus, Lachnospiridium และ Prevotella มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สนับสนุนการผลิต SCFA จากการหมักเยื่อใยอาหารและเสริมสร้างศักยภาพการดูดซึมสารอาหารจากพืชได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีบาง genus ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทน เช่น Methanobrevibacter ที่ต้องเฝ้าระวังผลกระทบต่อสมดุลพลังงาน

กลุ่ม MPLM มีสัดส่วนของ genus ที่เป็นโปรไบโอติกและจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพลำไส้ เช่น Lactobacillus และ Blautia ที่สูงเด่นที่สุด ทั้งยังมีการลดลงของประชากรเชื้อก่อโรค เช่น Escherichia-Shigella, Streptococcus และ Fusobacterium อย่างชัดเจนในทุกช่วงน้ำหนักแรกคลอดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น นอกจากนี้ยังพบว่า genera ในกลุ่ม MPLM มีความหลากหลายสูงกว่า ส่งเสริมความสมดุลของโครงสร้างไมโครไบโอมในระดับ genus ซึ่งสัมพันธ์กับการลดอัตราท้องเสียและเพิ่มสุขภาพลำไส้โดยรวมในลูกสุกรก่อนหย่านม

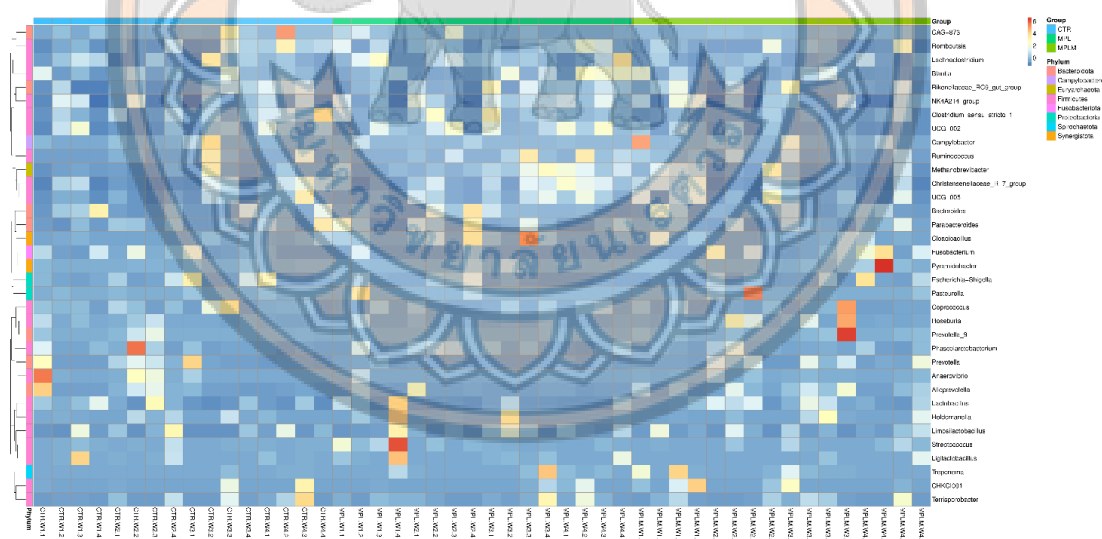


Figure 4.22 Taxonomic abundance cluster heatmap of bacterial genus based on relative abundance in fecal microbiome of suckling pigs under different treatments

ผลการเปรียบเทียบข้อมูลลิทแมพจากภาพ **Figure 4.23** จึงสอดคล้องกับหลักการจัดการประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยสูตรอาหารเสริม MPLM สามารถปรับสมดุลและเพิ่มความหลากหลายของไมโครไบโอมในแบบจำเพาะ (selective beneficial reshaping) ลดความเสี่ยงการเกิดโรคและการเสียสมดุลขณะเดียวกันเสริมสร้างประชากรจุลินทรีย์กลุ่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ระบบย่อย

อาหาร และการเจริญเติบโตของลูกสุกรอายุ 21 วัน ก่อนหย่านมได้อย่างชัดเจน ส่วนกลุ่ม MPL แม้ส่งเสริมการสร้าง SCFA และกลุ่มหมักเส้นใยอาหาร แต่ยังไม่สามารถทดแทนประสิทธิภาพของ MPLM ได้เทียบเท่า ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีแนวโน้มความเสี่ยงต่อภาวะไดสไบโอซิส หรือที่เรียกว่าภาวะไมโครไบโอมในลำไส้ไม่ดีต่อสุขภาพ และโรคในระบบทางเดินอาหารที่สูงกว่า โดยเฉพาะในลูกสุกรน้ำหนักแรกคลอดน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ **Figure 4.21** ช่วยสนับสนุนประสิทธิภาพกลยุทธ์สารเสริม MPLM ที่สามารถสร้างสมดุลและเพิ่มความแข็งแรงของชุมชนจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารลูกสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

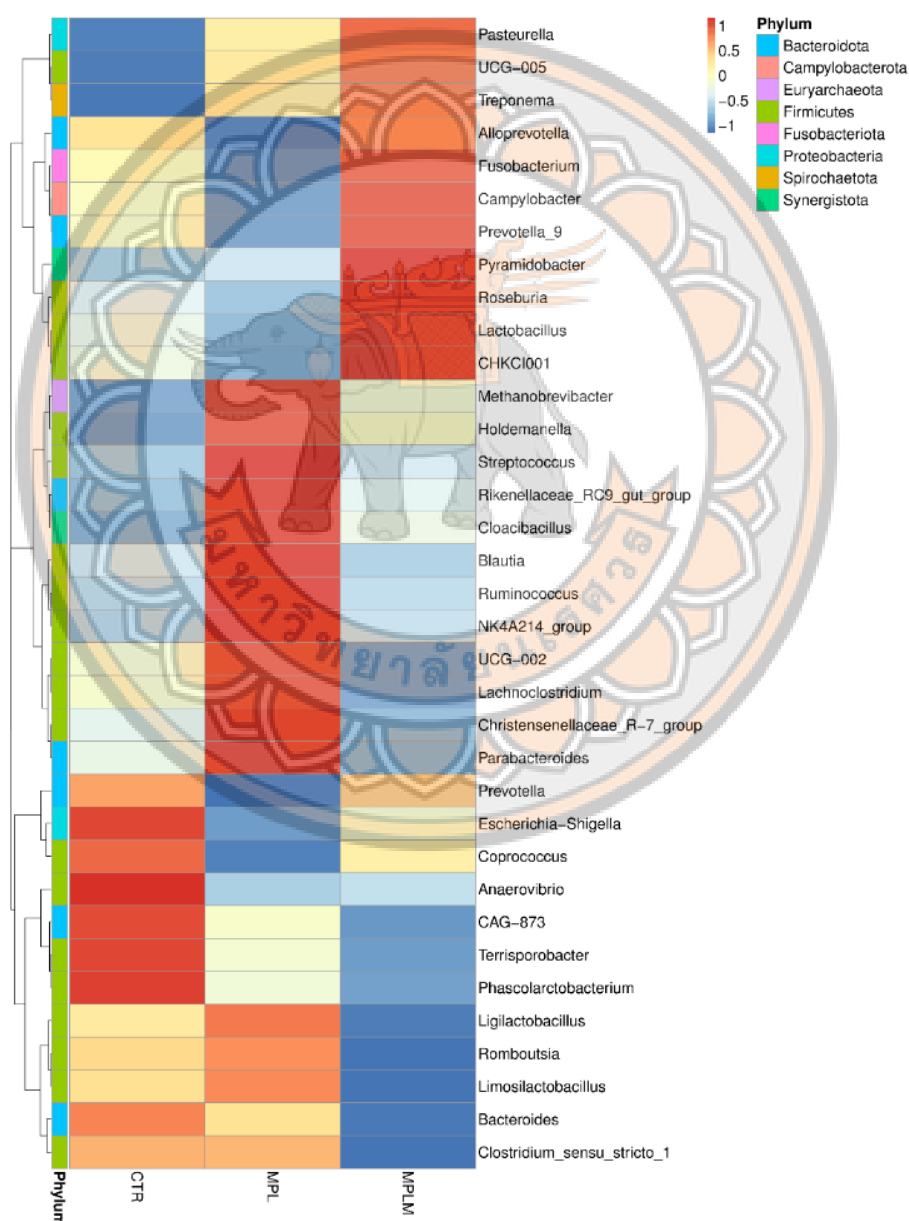


Figure 4.23 Taxonomic heatmap showing relative abundance of bacterial genus in fecal samples from suckling pigs across treatments

จากแผนภาพ Venn และ Flower Diagram (Figure 4.24) แสดงการเปรียบเทียบชุมชนจุลินทรีย์ระหว่าง 3 กลุ่มทดลองคือ CTR, MPL และ MPLM โดยวงสีฟ้าแทน CTR และแต่ละวงแสดงจำนวน OTUs (operational taxonomic units) เฉพาะตัวและชนิดจุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่ม พบว่า OTUs เฉพาะใน CTR มี 1039 ตัว ใน MPL มี 1554 ตัว และ MPLM มี 1344 ตัว ส่วนพื้นที่ทับซ้อนแสดงจุลินทรีย์ที่แชร์กันระหว่างกลุ่มต่างๆ โดย CTR และ MPL ทับซ้อนกัน 202 OTUs, MPL และ MPLM มี 235 OTUs, CTR และ MPLM ทับซ้อน 274 OTUs ส่วน core microbiome ที่แชร์ร่วมทั้งสามกลุ่มมี 1015 OUT ส่วน ตัวเลข OTUs เฉพาะกลุ่มชี้ให้เห็นว่าสารเสริมแต่ละชนิดสร้างโปรไฟล์ไมโครไบโอมแตกต่างกัน กลุ่ม MPL มี OTUs เฉพาะมากที่สุด บ่งชี้การสร้างระบบนิเวศจุลินทรีย์เฉพาะเจาะจงสูง ขณะที่ MPLM ที่มีโมโนลอรินเสริมดูเหมือนมีผลผลักดันให้ประชากรจุลินทรีย์บางกลุ่มเปลี่ยนแปลงออกไปจากทั้ง CTR และ MPL ส่วนกลุ่ม CTR ที่ถือเป็นพื้นฐานยังมี OTUs เฉพาะถึง 1039 ตัว ถือเป็นลายเซ็นพื้นฐานของไมโครไบโอมที่ไม่ถูกระทบจากสารเสริมอาหาร และการมี core microbiome จำนวน 1015 OTUs ในทุกกลุ่มสะท้อนว่ามีประชากรจุลินทรีย์หลักที่ยังคงเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสุกรหย่านมโดยไม่ขึ้นกับสูตรอาหาร ซึ่ง OTUs เหล่านี้เกี่ยวข้องกับฟังก์ชันสำคัญ เช่น การย่อยอาหาร การสร้างกรดไขมันสายสั้น การรักษาสสมดุลจุลินทรีย์ และส่งเสริมสุขภาพลำไส้



Figure 4.24 Venn and Flower diagram

สำหรับพื้นที่ทับซ้อนระหว่างสองกลุ่ม 202 OTUs (CTR–MPL), 274 OTUs (CTR–MPLM) และ 235 OTUs (MPL–MPLM) แสดงถึงอนุกรมวิธานวิทยาของจุลินทรีย์ (microbial taxa) ที่ตอบสนองต่อสูตรอาหารบางชนิดแต่ไม่ทั้งหมด ตัวอย่างเช่น พื้นที่ทับซ้อน 274 OTUs เป็น taxa ที่มีการตอบสนองเฉพาะสูตรเสริม MPLM ร่วมกับกลุ่ม CTR แต่ไม่พบในการเสริมสูตร MPL ในขณะที่

ที่ 235 OTUs เป็น taxa ที่ได้รับการเสริมโดยทั้ง MPL และ MPLM แต่ไม่พบในกลุ่ม CTR โดยมีข้อสังเกตที่สำคัญจากข้อมูลนี้คือ จำนวน exclusive taxa ที่มากในแต่ละสูตร ชี้ให้เห็นว่าชนิดสารเสริมส่งผลถึงความหลากหลายจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารมากกว่าปัจจัยน้ำหนักแรกคลอด ในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ นอกจากนี้ จำนวน core taxa (1015 OTUs) ที่ปรากฏร่วมกันในทุกกลุ่มยังมีค่อนข้างมาก ซึ่งบ่งบอกว่าสูตรสารเสริมไม่ได้ส่งผลในเชิงลบต่อการทำงานเชิงหน้าที่ของจุลินทรีย์หลักในลำไส้ (gut core functions) ของสุกรหย่านม

จาก Figure 4.25-4.26 เป็นแผนภาพสามเหลี่ยม (ternary Plot) ซึ่งใช้แสดงกราฟสามมิติที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบสำคัญ 3 กลุ่มทดลอง ได้แก่ กลุ่มควบคุม (CTR) กลุ่มเสริม MPL และกลุ่มเสริม MPLM โดยแต่ละจุดบนแผนภูมินี้แสดงถึงชนิดจุลินทรีย์ตามหน่วยการจัดกลุ่มทางอนุกรมวิธาน (taxon) ในระดับ family และ genus ขนาดของจุดแสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของกลุ่มจุลินทรีย์นั้นๆ ขณะที่สีของจุดใช้แทนชนิดของเชื้อ และตำแหน่งของแต่ละจุดจะแสดงถึงสัดส่วนความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่มทดลอง หากจุดใดอยู่ใกล้มุมใดมากยิ่งขึ้นหมายความว่าจุลินทรีย์กลุ่มนั้นจะมีค่าสัดส่วนความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างไปทางกลุ่มทดลองนั้น ๆ จากผลการวิเคราะห์ Ternary Plot ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบองค์ประกอบจุลินทรีย์ในระดับสกุล (family) พบว่า ผล ternary plot แสดงการกระจายและปริมาณสัมพันธ์ (relative abundance) ของจุลินทรีย์ 10 ตระกูล ของมูลสุกรแต่ละกลุ่มทดลอง โดยจุดขนาดใหญ่/เล็กแสดงปริมาณสัมพันธ์ของแต่ละ family ในกลุ่มทดลองต่าง ๆ กลุ่ม CTR จุลินทรีย์หลายตระกูลมีสัดส่วนกระจายค่อนข้างสมดุล

ผลการวิเคราะห์แผนภาพสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบองค์ประกอบจุลินทรีย์ในระดับสกุล (Genus) พบว่า ผล ternary plot แสดงการกระจายและปริมาณสัมพันธ์ ของจุลินทรีย์ 10 ตระกูล ของมูลสุกรแต่ละกลุ่มทดลอง ไม่ได้กระจายตัวอย่างสมดุล แต่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่โดดเด่นเกาะอยู่ใกล้มุม CTR มาก ส่วนกลุ่ม MPL และ MPLM มีการเบี่ยงเบนของบาง family มาทางด้านมุม MPLM และ MPL เป็นพิเศษ โดยเฉพาะ Lactobacillaceae, Christensenellaceae, Lachnospiraceae สอดคล้องกับมาตรการเสริมสารที่มีกรดไขมันสายกลางและโมโนลอริน (Figure 4.24) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบองค์ประกอบจุลินทรีย์ในระดับสกุล (Genus) พบว่ากลุ่ม Prevotella, Bacteroides และ Ruminococcus ปรากฏเป็นจุดขนาดใหญ่บริเวณกลางแผนภาพ หรือเอนเข้าหา กลุ่มทดลอง MPL และ MPLM สะท้อนให้เห็นถึงการเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการหมักย่อยเยื่อใยอาหาร (functional fiber fermentation) ภายในระบบทางเดินอาหารสุกร เนื่องจาก Genus ดังกล่าวมีบทบาทเด่นในการย่อยสลายสารอาหารประเภทไฟเบอร์และส่งเสริมการสร้างกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อ

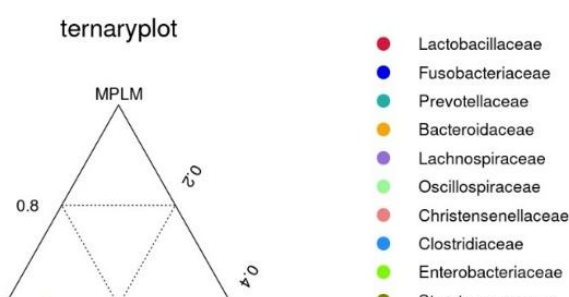


Figure 4.25 Ternary plots comparing key bacterial family based on relative abundance in fecal microbiome of suckling pigs under different dietary treatments

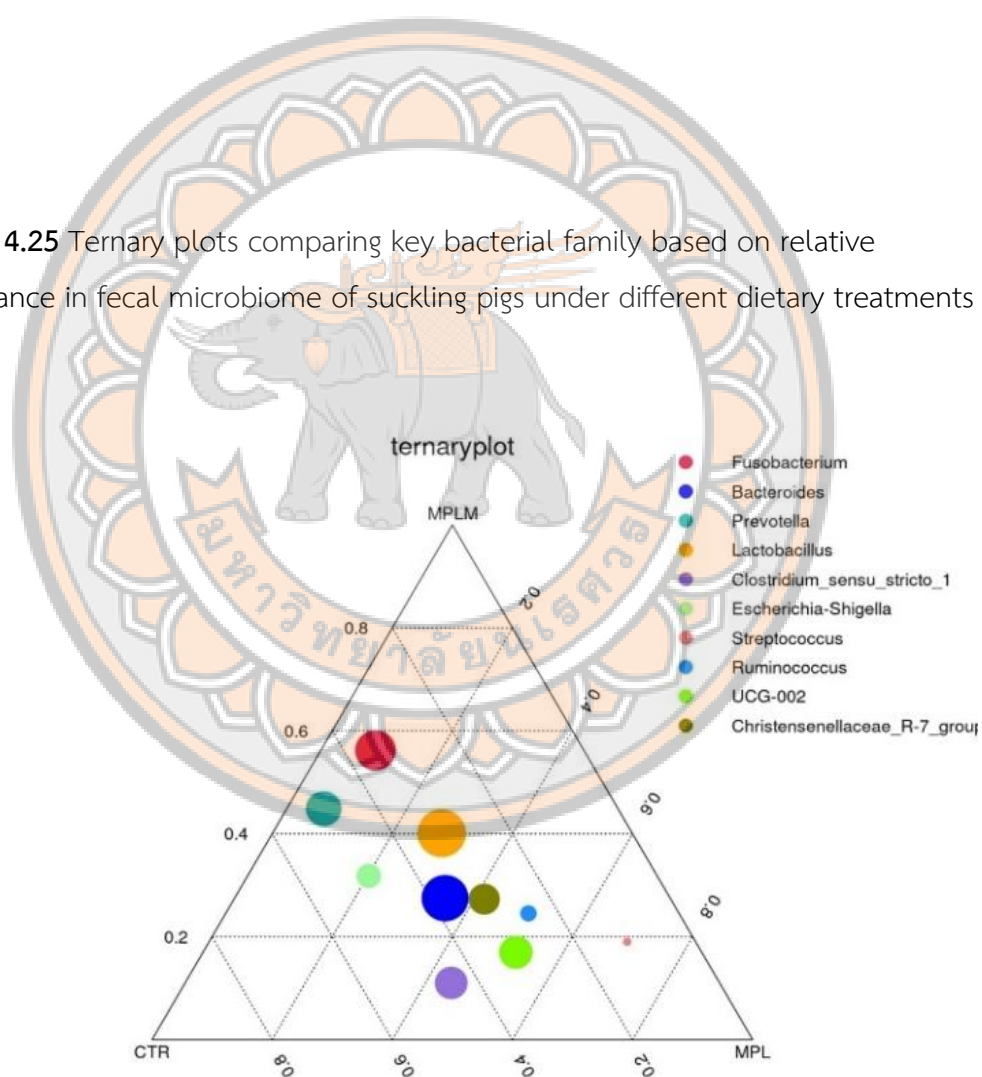


Figure 4.26 Ternary plots comparing key bacterial genus based on relative abundance in fecal microbiome of suckling pigs under different dietary treatments

ในขณะที่ *Lactobacillus* ปรากฏเป็นจุดแดงขนาดใหญ่ที่เบี่ยงเข้าไปหามุมกลุ่ม MPLM ชัดเจน ถือเป็นสัญลักษณ์ของจุลินทรีย์กลุ่มโปรไบโอติกที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงโดยเฉพาะในกลุ่มสุกร

ที่ได้รับสูตรเสริม MPLM ซึ่งมีความโดดเด่นด้านคุณสมบัติในการปรับสมดุลจุลินทรีย์และสนับสนุนภูมิคุ้มกันลำไส้ โดยที่ *Fusobacterium*, *Escherichia-Shigella*, *Streptococcus* และ *Clostridium_sensu_stricto_1* ปรากฏเป็นจุดขนาดกลางถึงใหญ่ที่กระจุกใกล้หมุมกลุ่มควบคุม CTR บ่งชี้ถึงความเสี่ยงต่อภาวะจุลินทรีย์ลำไส้ไม่สมดุล (gut dysbiosis) ซึ่งอาจสัมพันธ์กับการเกิดปัญหาสุขภาพระบบทางเดินอาหาร สำหรับ เบลาคีเรีย (*Blautia*), โรสบูเรีย (*Roseburia*) และ พาราแบคเทอโรยเดส (*Parabacteroides*) มีทิศทางการกระจายใกล้หมุม MPLM และ MPL ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการผลิตกรดไขมันสายสั้น (SCFA) ส่งเสริมการปรับสมดุลภูมิคุ้มกันและกิจกรรมการหมักย่อยในระบบทางเดินอาหาร ส่วน เมทาโนแบรวิแบคเตอร์ (*Methanobrevibacter*) และ คริสเตเนเนลลาคี-อาร์ 7 (*Christensenellaceae-R7*) มีจุดที่เบี่ยงไปทางกลุ่ม MPL เป็นหลัก สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ที่มีหน้าที่เสริมการหมักย่อยอาหาร และสมดุลพลังงานในลำไส้ผ่านสูตรอาหารเสริม ดังนั้น โดยสรุปการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบจุลินทรีย์ในระดับ genus มีความชัดเจนในกลุ่มสุกรที่ได้รับสูตรเสริม MPLM ซึ่งสามารถลด abundance ของจุลินทรีย์ก่อโรค เสริมความหลากหลายของประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ และสนับสนุนการย่อยอาหารของสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

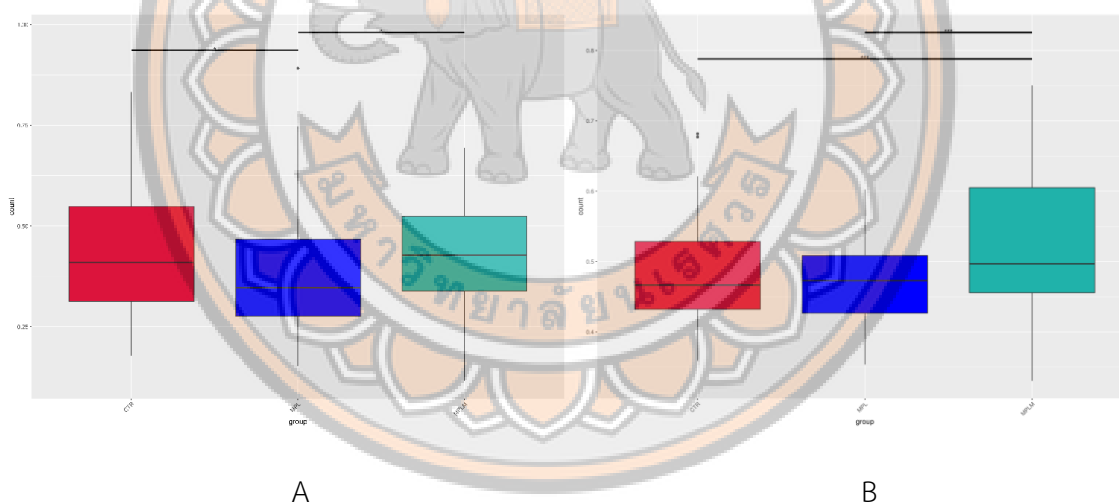


Figure 4.27 Pairwise group comparisons of phylogenetic distances in fecal microbiome of suckling piglets under different treatments using unifracs metric. (A: weighted unifracs distance; B: unweighted unifracs distance)

จากผลการวิเคราะห์แผนภาพ **Figure 4.27A** และ **Figure 4.27B** ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสายวิวัฒนาการของประชากรจุลินทรีย์ในมูลสุกรก่อนหย่านมโดยใช้ดัชนี weighted unifracs (**Figure 4.27A**) และ unweighted unifracs (**Figure 4.27B**) สามารถปรับการเขียนให้สอดคล้องกับทฤษฎีและมีความชัดเจน โดยใน **Figure 4.27A** และ **Figure 4.27B** แสดงผลการ

วิเคราะห์ความแตกต่างของประชากรจุลินทรีย์ในมูลสุกรก่อนหย่านมโดยใช้ดัชนี unifracs ซึ่งเป็นมาตรวัด beta diversity ที่ใช้ประเมินความแตกต่างในเชิงวิวัฒนาการของชุมชนไมโครไบโอมต์ ดัชนี weighted unifracs (Figure 4.25A) จะคำนึงถึงทั้งองค์ประกอบของชนิดจุลินทรีย์และปริมาณสัมพัทธ์ (abundance) ของแต่ละชนิด ทำให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมทั้งโครงสร้างประชากรและความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์ในระบบนิเวศลำไส้ ขณะที่ unweighted unifracs (Figure 4.25B) เน้นการเปรียบเทียบการมีอยู่หรือไม่มีอยู่ของชนิดจุลินทรีย์ (presence/absence) โดยไม่คำนึงถึงปริมาณ จึงให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบชนิดจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มทดลอง

ทั้งสองแผนภาพนี้ให้ภาพรวมของผลกระทบสูตรเสริม MPL และ MPLM ต่อการปรับโครงสร้างจุลินทรีย์ในลำไส้สุกรอย่างชัดเจน โดยแสดงให้เห็นถึงการ reshaping microbiome composition ที่ไม่เพียงแต่ส่งผลต่อความแตกต่างของชนิดจุลินทรีย์ แต่ยังรวมถึงการส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของ taxa ที่เป็นประโยชน์ เช่น โปรไบโอติกต่าง ๆ ผลการเปรียบเทียบค่าระยะทาง (distance) ระหว่างกลุ่มซึ่งแสดงในแถบเปรียบเทียบที่มีสัญลักษณ์ * (TukeyHSD test) ชี้ให้เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะในกลุ่ม MPLM ที่แตกต่างอย่างชัดเจนจากกลุ่มควบคุม CTR ผลวิเคราะห์ weighted unifracs (Figure 4.25A) ให้ข้อมูลที่สอดคล้องกับสมมติฐานว่า MPLM สามารถปรับเปลี่ยนและปรับสมดุลประชากรจุลินทรีย์ (reshaping microbiome) ได้อย่างเป็นระบบ ส่งผลทั้งต่อโครงสร้างชุมชนและความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์ในลำไส้อย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงนี้สะท้อนถึงการส่งเสริมเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์และลดเชื้อก่อโรค ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการเสริมสร้างสุขภาพลำไส้และเพิ่มประสิทธิภาพทางโภชนาการของสุกรในช่วงก่อนหย่านม โดยสรุป ดัชนี weighted และ unweighted unifracs มีความสำคัญในแง่การประเมินความหลากหลายรวมถึงการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ที่ตอบสนองต่อสูตรเสริมที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สนับสนุนการนำสูตร MPLM มาใช้เพื่อส่งเสริมสมดุลของชุมชนจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรช่วงช่วงดูนม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับปรุงทั้งโครงสร้างและความอุดมสมบูรณ์ของไมโครไบโอม ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี microbiome resilience และการฟื้นฟูหรือปรับสมดุลจุลินทรีย์ที่สูญเสียไป (dysbiosis restoration) ในระบบทางเดินอาหาร

การประเมินความแตกต่างขององค์ประกอบชุมชนจุลินทรีย์โดยรวมระหว่างกลุ่ม เราได้ทำการวิเคราะห์ PCoA โดยใช้ทั้ง weighted และ unweighted unifracs distance Figure 4.28 ผลการวิเคราะห์ PCoA โดยใช้ weighted unifracs distance (Figure 4.28A) แสดงให้เห็นแนวโน้มการแยกตัวของกลุ่มที่ได้รับโมโนลอรีน (MPLM) ออกจากกลุ่มควบคุม (CTR) และกลุ่ม MPL ตามแกน PC1 ซึ่งอธิบายความแปรปรวนได้ถึง 39.16% ในทางกลับกัน การแยกตัวของกลุ่มใน PCoA ที่ใช้ unweighted unifracs distance (Figure 4.28B) มีความชัดเจนน้อยกว่ามาก ผลลัพธ์ทั้งสองนี้เมื่อพิจารณาร่วมกัน ชี้ให้เห็นว่าผลกระทบหลักของโมโนลอรีนคือ การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณและความ

อุดมสมบูรณ์ (quantitative and abundance-based shift) ของจุลินทรีย์ มากกว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพ แม้ว่าจะยังคงมีความแปรปรวนระหว่างตัวสัตว์แต่ละตัวที่สูง แต่ความแตกต่างระหว่างกลุ่มนี้ได้รับการยืนยันว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ (PERMANOVA, $P < 0.05$)

การศึกษาความคล้ายคลึงกันระหว่างกลุ่มตัวอย่างของชุมชนจุลินทรีย์ในมูลสุกรหย่านม ได้ดำเนินการโดยใช้การวิเคราะห์การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น (hierarchical clustering analysis) เพื่อสร้างแผนผังกลุ่ม หรือ dendrogram ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม ในงานครั้งนี้ ได้ใช้วิธี unweighted pair-group method with arithmetic mean (UPGMA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมในการวิเคราะห์สายวิวัฒนาการของชุมชนจุลินทรีย์ สำหรับแนวคิดพื้นฐานของ UPGMA เป็นการจัดกลุ่มตัวอย่างที่มีระยะทางวิวัฒนาการ (phylogenetic distance) ใกล้เคียงกันมากที่สุดก่อน แล้วจึงค่อยๆ รวมกลุ่มแบบ stepwise โดยคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตของระยะทางระหว่างกลุ่มใหม่กับตัวอย่างอื่นๆ ที่ล้อมรอบ จนกระทั่งตัวอย่างทั้งหมดถูกจัดกลุ่มเข้าด้วยกันเป็น dendrogram ที่สมบูรณ์

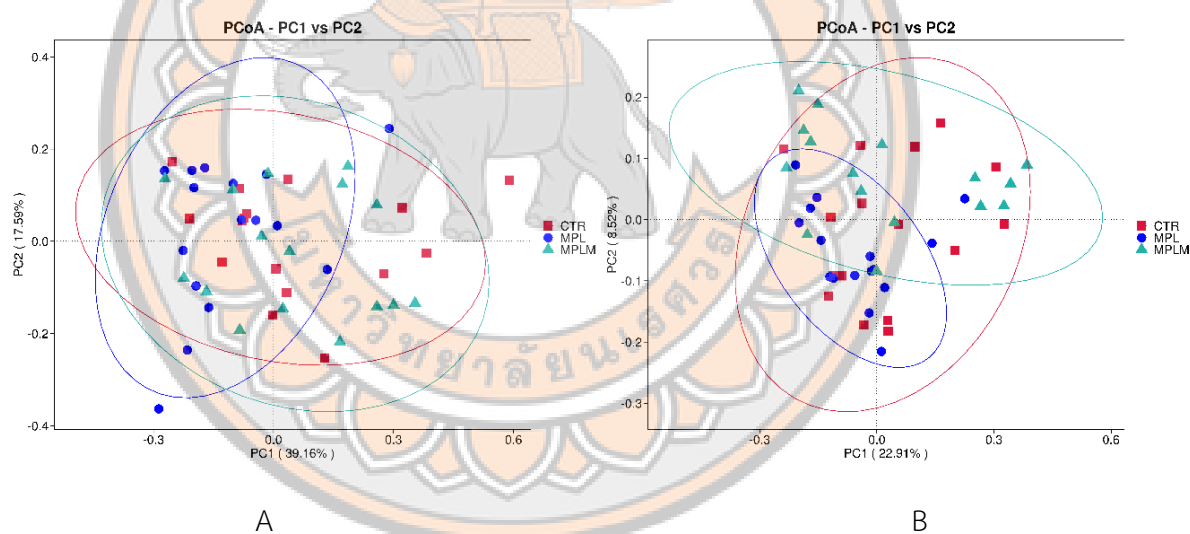


Figure 4.28 Principal coordinate analysis (PCoA) of fecal microbial communities based on weighted UniFrac distance (A) and unweighted UniFrac distance (B) among suckling piglets under different dietary treatments

จากการวิเคราะห์ผลใน **Figure 4.29** ซึ่งเป็นแผนภาพต้นไม้กลุ่มย่อยแบบ UPGMA ที่สร้างขึ้นโดยใช้ระยะ weighted UniFrac ในการเปรียบเทียบโครงสร้างเชิงสายวิวัฒนาการของชุมชนจุลินทรีย์ในตัวอย่างมูลสุกรหย่านมภายใต้ทดลองด้วยสูตรสารเสริมต่างชนิดกัน พบว่า กลุ่มควบคุม

(CTR) และกลุ่มที่เสริม MPLM มีความคล้ายคลึงกันสูง โดยถูกจัดกลุ่มเข้าด้วยกันก่อนที่ระยะห่างประมาณ 0.035 ขณะที่กลุ่มเสริมสูตรพื้นฐาน (MPL) มีลักษณะเป็นกลุ่มที่แยกตัวออกจากสองกลุ่มแรก มีค่าระยะห่างกับกลุ่ม CTR ร่วมกับ MPLM ที่มากกว่า (ประมาณ 0.05) แสดงถึงความแตกต่างของโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์ในกลุ่ม MPL มากที่สุดเมื่อเทียบกับสองกลุ่มแรก

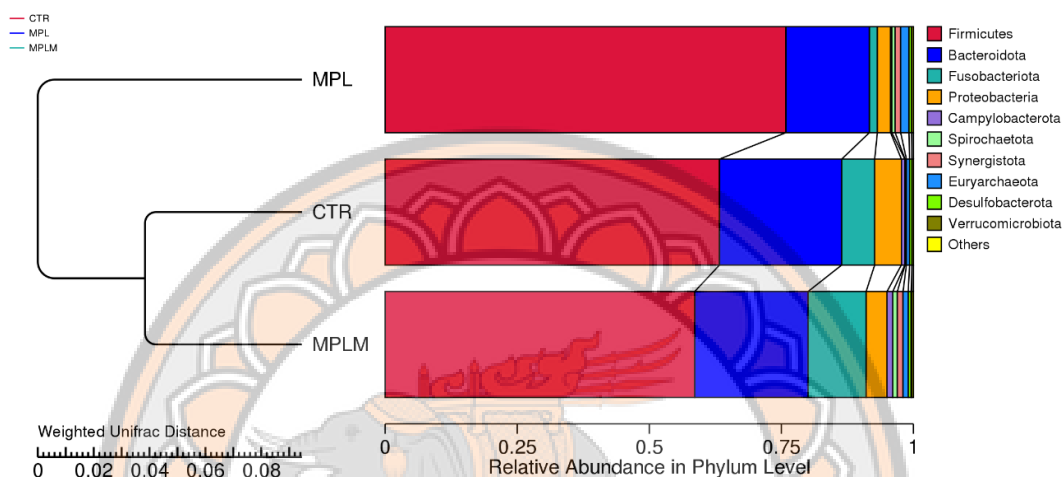


Figure 4.29 UPGMA cluster tree based on weighted unifracs distance depicting phylogenetic relationships and microbial community similarity among fecal samples of suckling piglets under different dietary treatments

อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์นี้มีความขัดแย้งกับผลการวิเคราะห์ PCoA และ Beta Diversity Heatmap ที่ได้เสนอมาก่อนหน้านี้ ซึ่งพบว่ากลุ่ม MPLM คือกลุ่มที่แตกต่างจากกลุ่มอื่นมากที่สุด โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาจากค่าการกระจายตัวในพื้นที่หลายมิติ (PCoA) และความแตกต่างเชิงองค์ประกอบ (dissimilarity) ระหว่างกลุ่ม (heatmap). ความขัดแย้งดังกล่าวอาจมีสาเหตุมาจากหลักการและวิธีการคำนวณของ UPGMA ที่อาศัยค่าเฉลี่ยเลขคณิตของระยะห่างทางวิวัฒนาการเป็นหลัก ซึ่ง UPGMA มีความอ่อนไหวต่อกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ในขณะที่ PCoA แสดงการกระจายตัวของทุกตัวอย่างในพื้นที่มิติสูงและสะท้อนแนวโน้มกลุ่มตัวอย่างโดยรวมอย่างละเอียดกว่า เมื่อตีความเพิ่มเติมพบว่า ภาพรวมของกลุ่ม MPLM ที่มีการเพิ่มขึ้นของ abundance ของ *Lactobacillus* อาจทำให้ community profile เชิงสายวิวัฒนาการ และความอุดมสมบูรณ์โดยรวมของ microbiome ในลำไส้สุกรย้อนกลับไปมีความคล้ายคลึงกับสภาวะแรกเริ่ม (CTR) มากกว่ากลุ่ม MPL ซึ่งอาจมีการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบจุลินทรีย์หลายกลุ่มแบบไร้ทิศทาง ส่งผลให้โครงสร้าง community ของ MPL เบี่ยงเบนไปจาก CTR และ MPLM อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่า phenomenon

นี้แสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนของ microbiome dynamics ที่อาจตอบสนองต่อสูตรอาหารเสริมในลักษณะไม่คาดคิด และผลการวิเคราะห์โดยแต่ละเครื่องมือ เช่น UPGMA กับ PCoA จะสื่อถึงมุมมองการเปลี่ยนแปลงที่ต่างกันไป ซึ่งควรแสดงในงานวิจัยเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่สมบูรณ์ตามบริบทของข้อมูล

จากแผนภาพ **Figure 4.30** พบว่า MPLM ซึ่งเป็นสูตรสารเสริมลูกสุกรที่มีส่วนผสมของโมโนลอรีน ถูกแยกออกเป็นกลุ่มที่มีระยะห่างทางวิวัฒนาการมากที่สุดจากกลุ่ม CTR และ MPL ซึ่งทั้งสองกลุ่มหลังมักจัดกลุ่มใกล้เคียงกันหรืออยู่ในกลุ่มเดียวกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์ (microbial shift) ภายหลังการเสริม ในบางกรณีอาจพบว่ากลุ่ม CTR แยกเด่นชัดออกมาแสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของจุลินทรีย์ที่แตกต่างจากกลุ่ม MPL ตามการตอบสนองต่อการแทรกแซงด้วยปัจจัยสูตรเสริมที่ต่างกัน โดยพบผลการจัดกลุ่มดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า สูตรสารเสริม MPLM ที่มีโมโนลอรีนเป็นส่วนผสม มีอิทธิพลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของชุมชนจุลินทรีย์ในลำไส้สุกร โดยสร้างโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ที่มีความแตกต่างจากกลุ่ม CTR และ MPL อย่างมีนัยสำคัญทางวิวัฒนาการ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการวิเคราะห์ความหลากหลายของจุลินทรีย์โดยใช้ PCoA ที่ระบุว่า MPLM ส่งผลต่อองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้ซึ่งชัดเจนที่สุดในกลุ่มทดลองนี้ และสรุปได้ว่าผลการจัดกลุ่มทางสายวิวัฒนาการโดย UPGMA (unweighted uniFrac) ยืนยันให้เห็นถึง microbial shift ที่เกิดจากสูตรเสริมอาหาร MPLM ซึ่งทำให้โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้สุกรหย่านมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม CTR และ MPL ที่มีโครงสร้างใกล้เคียงกันมากกว่า เน้นให้เห็นถึงอิทธิพลของโมโนลอรีนในการปรับสมดุลและสร้างประชากรจุลินทรีย์ที่เฉพาะเจาะจง

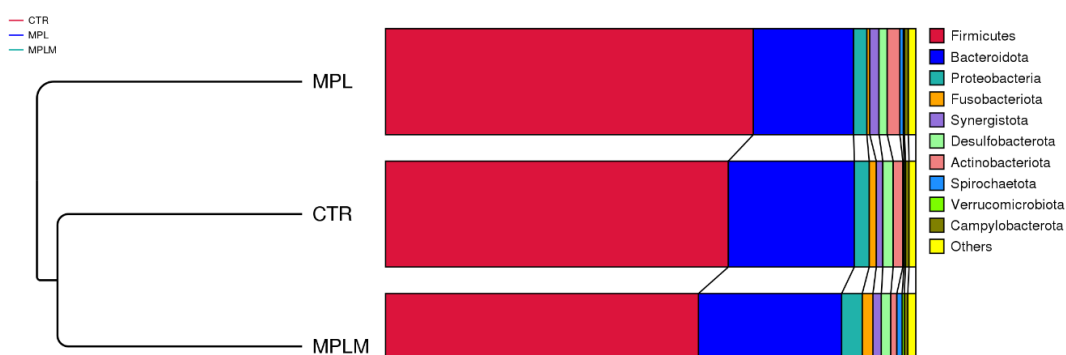


Figure 4.30 UPGMA cluster tree based on unweighted unifrac distance depicting phylogenetic relationships and microbial community dissimilarity among fecal samples of suckling piglets under different treatments

ผลการทดสอบทางสถิติพบว่ามีความสำคัญทางสถิติของความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่สังเกตได้จากแผนภาพ PCoA แล้วดำเนินการทดสอบ Analysis of similarities (ANOSIM) ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ใน **Table 4.26** เผยให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่ได้รับสารเสริมพื้นฐาน (MPL) และกลุ่มที่ได้รับสารเสริมโมโนลอรีน (MPLM) ($R=0.179$, $P=0.003$) ในทางกลับกัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มควบคุม (CTR) และกลุ่ม MPL ($P=0.238$) หรือระหว่างกลุ่ม CTR และกลุ่ม MPLM ($P=0.134$) ผลการทดสอบนี้ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่า โมโนลอรีนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชุมชนจุลินทรีย์ และผลกระทบนี้รุนแรงพอที่จะสร้างความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับโมโนลอรีน เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดสอบ ANOSIM ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Multi-response permutation procedure (MRPP) **Table 4.27** ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับ ANOSIM อย่างสมบูรณ์ โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม MPL และกลุ่ม MPLM ($A=0.023$, $P=0.004$) ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในคู่อื่นๆ การที่การทดสอบทางสถิติสองวิธีที่ต่างกันให้ข้อสรุปเดียวกันนี้ เป็นการให้ข้อมูลที่ช่วยยืนยันได้ว่า โมโนลอรีนคือองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชุมชนจุลินทรีย์ในลำไส้ลูกสุกร อย่างมีนัยสำคัญ โดยผลลัพธ์นี้ใช้เป็นข้อมูลยืนยันหลักการว่า โมโนลอรีนเป็นองค์ประกอบหลักที่ขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชุมชนจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญและสามารถวัดผลได้

Table 4.27 ANOSIM Test results showing R- values and statistical significance (P-values) for pairwise comparisons of fecal microbial communities across dietary

treatment groups.

Group	R-Value ^{1/}	P-Value ^{2/}
CTR-MPL	0.01956	0.238
CTR-MPLM	0.04162	0.134
MPL-MPLM	0.17899	0.003

Note ^{1/} R-value indicates the size of the effect or the degree of difference between groups. ^{2/} P-value indicates the statistical reliability of the obtained value, how unlikely it is to occur by chance. For gut microbiota analysis, such as ANOSIM or PERMANOVA, R-value is used to assess the effect size and P-value to determine the reliability of the result.

Table 4.28 Mult response permutation procedure (MRPP) results showing within-group agreement (A-values) and statistical significance (P-values) for pairwise comparisons of fecal microbial communities across treatment groups.

Group	A-Values ^{1/}	observed delta	expected delta	P-values ^{2/}
CTR-MPL	0.003	0.786	0.788	0.215
CTR-MPLM	0.007	0.789	0.795	0.070
MPL-MPLM	0.023	0.781	0.780	0.004

Note ^{1/} A-values are an index showing the “degree of within-group similarity” or within-group agreement of how similar samples in the same group have microbial structures (high A = the groups are very similar, low A or close to 0 = the groups have high diversity within the group). ^{2/} Significance (P-values) are “statistical significance” that tells whether the analyzed results occurred by chance or not ($P < 0.05$).

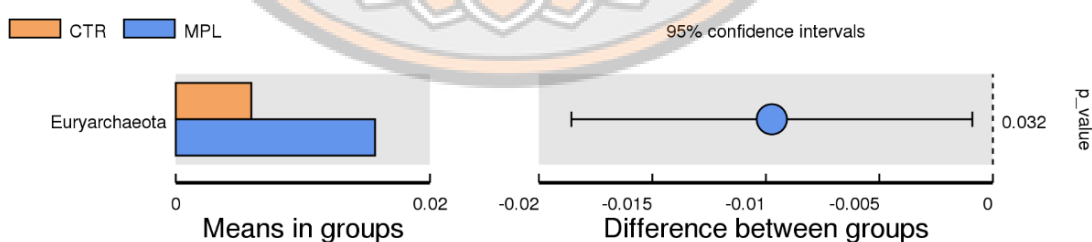


Figure 4.31 Phylum-level comparison of fecal microbial abundance between control (CTR) and MPL groups by T-test.

ผลการเปรียบเทียบระดับ Phylum ของความอุดมสมบูรณ์จุลินทรีย์ในมูลสุกรระหว่างชนิดสารเสริม MPL และ MPLM โดย T-test พบว่า Firmicutes พบเพิ่มสูงใน MPLM เมื่อเทียบกับ MPL

อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งเป็นกลุ่มหลักของแบคทีเรียที่ครองระบบนิเวศสุกรสุขภาพดี (ประกอบด้วย LAB, butyrate producer) Fusobacteriota ลดลงใน MPLM เมื่อเทียบกับ MPL ($P < 0.05$) ซึ่งสัมพันธ์กับการลดความเสี่ยงท้องเสียของลูกสุกรช่วงดูดนมได้ ส่วน Actinobacteriota พบว่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยใน MPLM (แต่มักเป็นเชื้อที่ปลอดภัยในลำไส้ของสุกร) ดังนั้น MPLM ช่วยส่งเสริมให้เกิดความสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ (Figure 4.31-4.32)

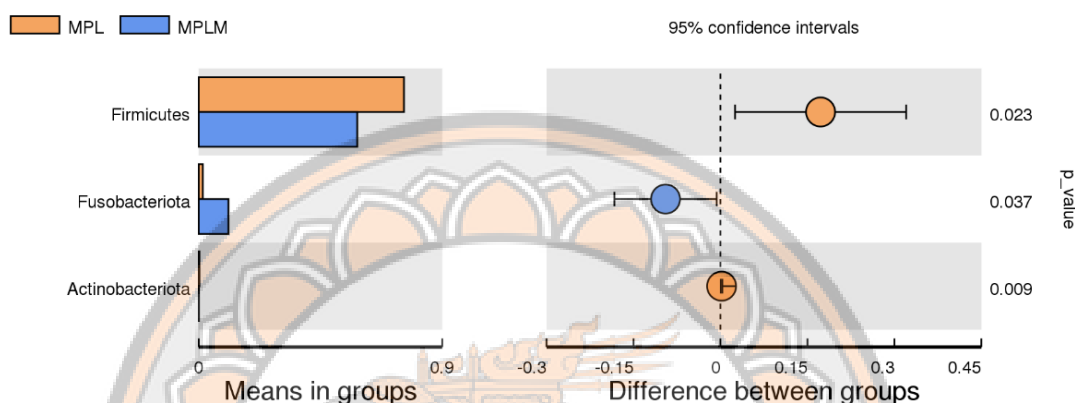


Figure 4.32 Phylum level comparison of fecal microbial abundance between MPL and MPLM groups by T-test.

ผลการเปรียบเทียบระดับ Genus ของความอุดมสมบูรณ์จุลินทรีย์ในมูลสุกรระหว่างกลุ่มควบคุม (CTR) และกลุ่มเสริมอาหาร MPLM โดย T-test พบว่า กลุ่ม CTR มีความชุกชุมของ *Clostridium_sensu_stricto_1* มากกว่ากลุ่ม MPLM อย่างมีนัยสำคัญ ($P = 0.021$) ขณะที่ *Epulopiscium* ไม่มีความแตกต่างชัดเจนระหว่างกลุ่ม (Figure 4.33) เมื่อวิเคราะห์ฟังก์ชันเชิงเส้น (การรวมเชิงเส้น) ของชุดสัมพันธ์และตัวแปรอิสระ (function prediction) ในจุลินทรีย์ของลำไส้สุกร โดยใช้ heatmap มักเกี่ยวข้องกับการทำแบบอัตโนมัติเชิงฟังก์ชันของยีน หรือลำดับจีโนมที่พบในชุมชน โดยใช้ฐานข้อมูลหลายประเภทที่แตกต่างกันดังแสดงในการวิเคราะห์การทำนายฟังก์ชัน (Function Prediction) โดยใช้ heatmap ใช้รูปแบบการทำนาย COG EC KO Pathways และ PFAM

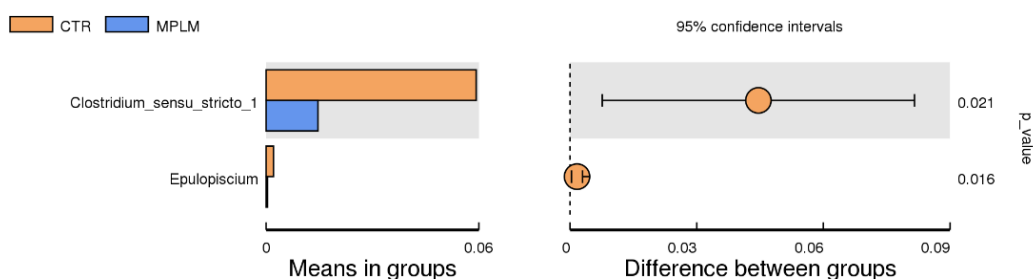
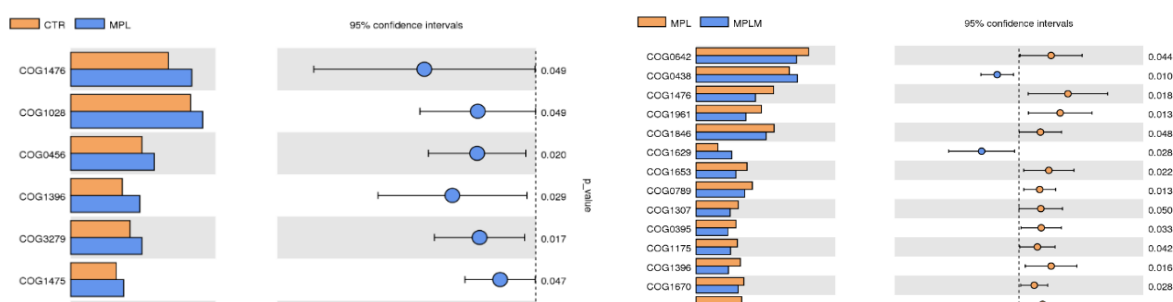


Figure 4.33 Genus level comparison of fecal microbial abundance between control (CTR) and MPLM groups by T-test.

4.4.7 การวิเคราะห์การทำนายฟังก์ชัน (Function Prediction) โดยใช้ heatmap ใช้รูปแบบการทำนาย COG EC KO Pathways และ PFAM

1) การใช้ Heatmap COG (Clusters of orthologous groups (COG) frequency heatmap) ผ่านการประเมินการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันจุลินทรีย์ในลำไส้ลูกสุกร และใช้รหัส COG ทำนายกระบวนการเมแทบอลิซึม การสังเคราะห์โปรตีน และสุขภาพทางเดินอาหาร จากการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม (CTR, MPL และ MPLM) พบว่าการเสริมอาหารด้วย MPL และ MPLM มีผลกระทบต่อประกอบและความหลากหลายของฟังก์ชันไมโครไบโอมจุลินทรีย์ในลำไส้ลูกสุกร COG ที่มีความแตกต่างทางสถิติ ได้แก่ COG1476, COG1028, COG5046, COG1396, COG3279, COG1475, COG1695 ในการเปรียบเทียบ CTR vs MPL และ COG5524, COG5564, COG0493 กลุ่ม CTR vs MPLM โดยมีความชัดเจนว่าการเสริม MPL vs MPLM เพิ่มหรือลดฟังก์ชันบางกลุ่มของจุลินทรีย์ได้ อีกทั้ง MPL vs MPLM พบ COG หลายรายการ เช่น COG3642, COG4328, COG1961, COG1864 ฯลฯ แสดงให้เห็นผลของโมโนลอริน (MPLM) ในการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์เมื่อเทียบกับ MPL ดังนั้นผลของการเสริมกรดไขมันสายกลาง (MPL) และสูตรโมโนลอริน (MPLM) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันทางชีวภาพของระบบไมโครไบโอมในลำไส้ลูกสุกร โดย COG หลายกลุ่มเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน การเผาผลาญสารอาหาร การตอบสนองความเครียด และกระบวนการป้องกันเชื้อโรค และฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงโดดเด่นในกลุ่มที่ได้รับ MPLM ได้แก่ การขนส่งและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต การเปลี่ยนแปลงพลังงาน และการควบคุมการแสดงออกของยีน ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพสุขภาพลำไส้และศักยภาพการต้านทานโรคของลูกสุกร ดังแสดงใน **Figure 4.34**



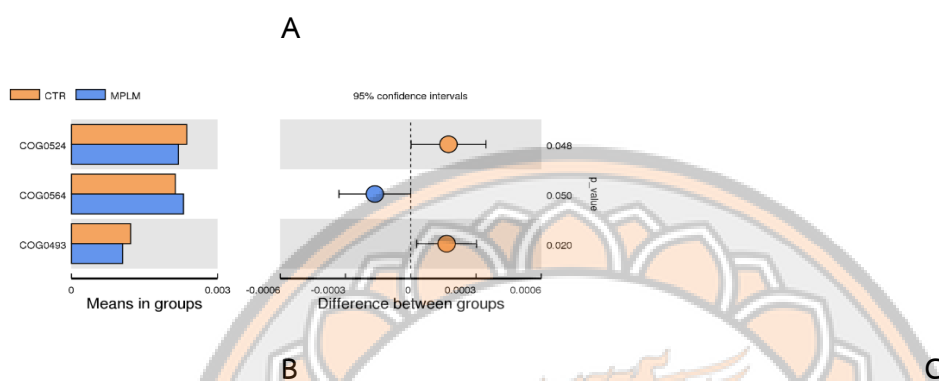


Figure 4.34 Microbial function prediction based on COG (clusters of orthologous groups) comparing CTR vs MPL (A), CTR vs MPLM (B), and MPL vs MPLM (C)

2) การใช้ Heatmap EC (Enzyme commission) ผ่านการประเมินการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันจุลินทรีย์ในลำไส้ลูกสุกร และใช้รหัส Heatmap EC ทำนาย และจำแนกเอนไซม์ตามชนิดปฏิกิริยาที่เร่งปฏิกิริยาในระบบทางอาหาร (Figure 4.35)

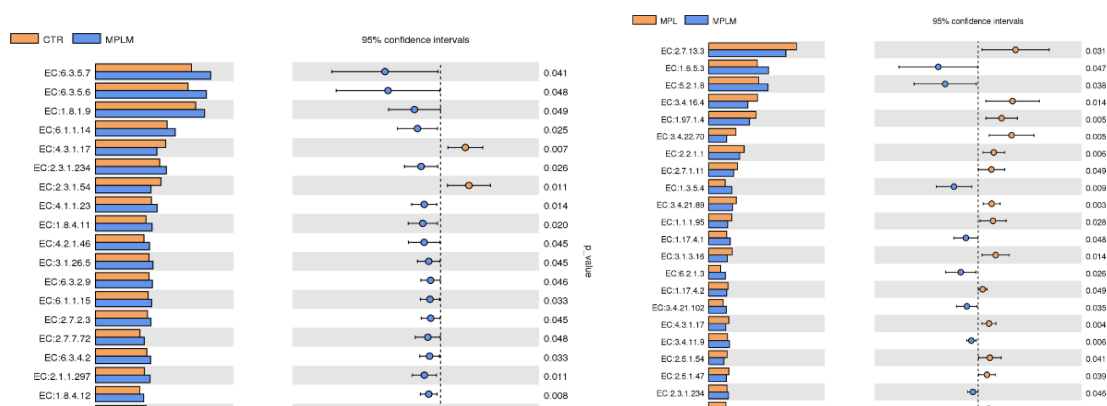
ผลการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบระหว่าง CTR, MPL และ MPLM โดยใช้ EC numbers พบว่าเอนไซม์หลายกลุ่มมีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ เช่น EC 3.6.4.7, EC 6.5.1.6, EC 4.1.3.18, EC 2.3.1.135 และ EC 5.2.1.8. โดยเฉพาะกลุ่มทดลองที่ได้รับ MPLM (สูตรโมโนลอรีน) มีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยฟังก์ชันของเอนไซม์หลายรายที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ oxidation-reduction การสังเคราะห์โมเลกุลชีวภาพ การย่อยสลายสารอาหาร และการใช้พลังงานจากสารเสริม เมื่อเทียบกับ CTR และ MPL โดยภาพรวมของ EC ที่แปรผันเด่น ได้แก่ เอนไซม์กลุ่ม Oxidoreductases (EC1) Transferases (EC2) Hydrolases (EC3) Lyases (EC4) และ Isomerases (EC5) สอดคล้องกับ **Table A7** ที่ระบุหน้าที่สำคัญในระบบเมแทบอลิซึมและปฏิกิริยาเคมีในลำไส้สุกร และเมื่อพิจารณาจากกราฟ confidence intervals ชี้ว่า EC หลายค่าในกลุ่มที่เสริม MPLM มีความแตกต่างทางสถิติ ในเชิงฟังก์ชันเฉพาะ เช่น กิจกรรมของของเหลวจำนวนเอนไซม์ต่างๆ การย่อยสลายสารอาหาร ช่วยสนับสนุนกระบวนการย่อย ดูดซึม และป้องกันความเครียดออกซิเดชัน ได้ พบว่าการเสริมโมโนลอรีน (MPLM) ส่งผลกระตุ้นและปรับเปลี่ยนฟังก์ชันเอนไซม์ในกลุ่มสำคัญที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเครียดออกซิเดชัน การสังเคราะห์และซ่อมแซมโมเลกุล และการเมแทบอลิซึมสารอาหาร

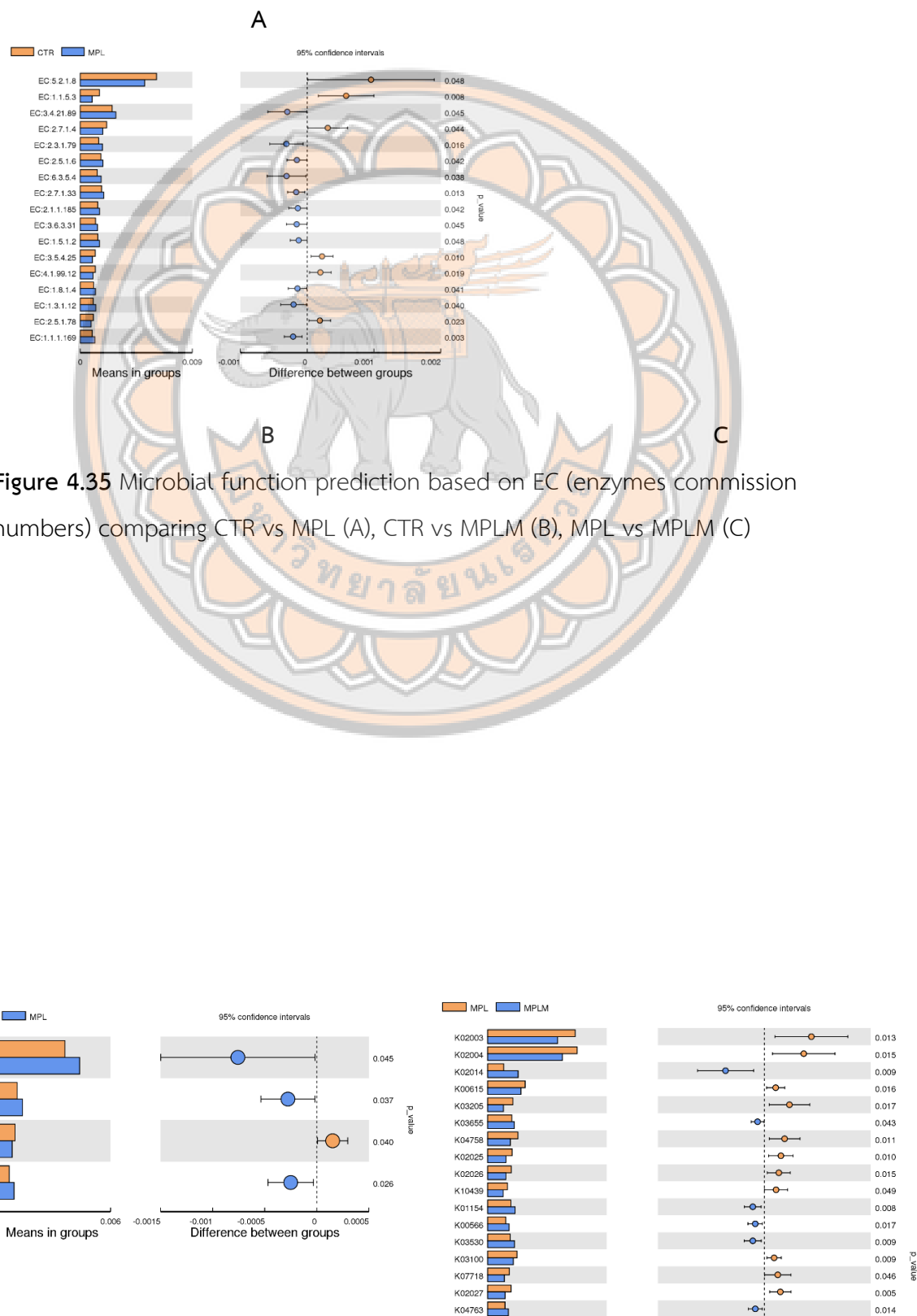
และผลของการวิเคราะห์นี้สะท้อนถึงศักยภาพของสูตรเสริม MPLM ในการปรับสมดุลและยกระดับสุขภาพลำไส้ ด้วยการเร่งฟังก์ชันเอนไซม์ที่มีบทบาทป้องกันโรค สร้างพลังงาน และสนับสนุนการเติบโตของลูกสุกร

3) การใช้ Heatmap KO (KEGG orthology) ผ่านการประเมินการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันจุลินทรีย์ในลำไส้ลูกสุกร และใช้รหัส KEGG orthology ทำนายการเปลี่ยนแปลงของการทำงานฟังก์ชันของระบบทางเดินอาหารของลูกสุกร (Figure 4.36)

การวิเคราะห์ Heatmap KO ในกลุ่ม CTR, MPL, และ MPLM โดยใช้รหัส KO ในตาราง Table A8 พบว่าในกลุ่ม CTR สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต การลำเลียงพื้นฐาน การย่อยโปรตีน และกิจกรรมดังต่อไปนี้ เช่น glycolysis การเผาผลาญกรดอะมิโน และการใช้ประโยชน์น้ำตาลธรรมดา ส่วนกลุ่ม MPL ตรวจพบการเผาผลาญไขมัน การย่อยเยื่อในอาหารเชิงซ้อน, การยืดตัวของกรดไขมัน (Fatty acid elongation) SCFA biosynthesis (การสังเคราะห์กรดไขมันสายสั้น) และการขนส่ง (transporter) รวมถึง กิจกรรมของ เมแทโนเจนเนซิส (methanogenesis) เป็นกิจกรรมของการผลิต และใช้ VFA ซึ่งเป็นใช้เป็นตัวชี้วัดการขาดหรือการรักษาระดับพลังงานภายในร่างกาย

ส่วนกลุ่ม MPLM ไม่ได้แตกต่างจากกลุ่ม MPL แต่พบการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมการผลิตแลคติกแอซิดแบคทีเรีย (Lactic acid bacteria) และ กรดไขมันสายสั้น (SCFA) ระบบต้านอนุมูลอิสระ การสังเคราะห์เปปไทด์ต้านจุลินทรีย์ก่อโรค สังเคราะห์ผนังเซลล์หรือลำไส้ กิจกรรมการฟื้นฟูฟังก์ชันเยื่อลำไส้ การปรับหรือรักษาระดับภูมิคุ้มกัน และการตอบสนองความเครียดในระดับเซลล์ ดังนั้น Heatmap KO สามารถสรุปได้ว่ากลุ่มลูกสุกรที่ได้รับ MPLM ช่วยส่งเสริม KO ที่เกี่ยวข้องกับสารต้านจุลินทรีย์ก่อโรค ต้านอนุมูลอิสระ การผลิต SCFA ปรับภูมิคุ้มกัน การฟื้นฟูผนังลำไส้ ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของลำไส้ และสุขภาพโดยรวมของสุกร ซึ่งพบ KO ในกลุ่ม MPLM สูงกว่า กลุ่ม MPL แต่กลุ่มนี้มีความโดดเด่นประเด็นการหมักย่อยเยื่อใยอาหาร การดูดซึมไขมัน และช่วยส่งเสริมระบบย่อยอาหาร ส่วนกลุ่ม CTR พบกิจกรรมข้างต้นน้อยกว่า





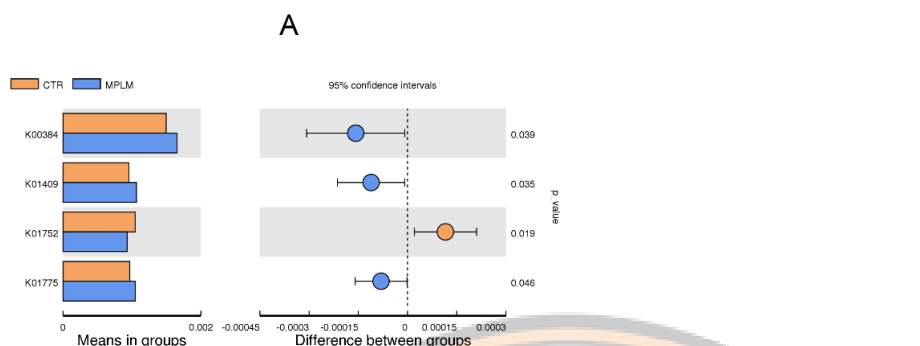


Figure 4.36 Microbial Function Prediction Based on KO (KEGG Orthology) Comparing CTR vs MPL (A), CTR vs MPLM (B), MPL vs MPLM (C)

4.) การใช้ KEGG Pathways ผ่านการประเมินการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันจุลินทรีย์ในลำไส้ลูกสุกร และใช้รหัส KEGG orthology ทำนาย และอธิบายการทำงานของระบบเมแทบอลิซึมหรือการเปลี่ยนแปลงของสารชีวเคมีที่แสดงการเชื่อมโยงของปฏิกิริยาและโปรตีนต่าง ๆ (Figure 4.37)

ลูกสุกรที่ได้รับการเสริม MPL และ MPLM ส่งผลชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมแทบอลิซึมที่สำคัญของจุลินทรีย์ในลำไส้ลูกสุกร โดยพบกระบวนการที่โดดเด่น เช่น PWY-5659, OLIGOSYN-PWY และ PWY-1296 เป็นอธิบายการขึ้นการย่อย และสกัดสารสำคัญจากเยื่อใยอาหารและพอลิแซ็กคาไรด์ ส่งเสริมการสร้างโครงสร้าง และสารอาหารที่จำเป็นของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร PPPGPPMET-PWY เพิ่มกิจกรรมการตอบสนองต่อความเครียดของจุลินทรีย์ ช่วยให้รอดจุลินทรีย์ทนต่อสภาวะเครียดของระบบทางเดินอาหาร และฟื้นฟูภาวะเครียดของเนื้อเยื่อในระบบทางเดินอาหาร NAGLIPASYN-PWY, PWY-421 และ RHAMCAT-PWY เพิ่มความสามารถในการใช้พลังงาน และเผาผลาญน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เพื่อเป็นสารตั้งต้นของกระบวนการหมักย่อยในระบบทางเดินอาหาร BIOTIN-BIOSYNTHESIS-PWY, DAPLYSINESYN-PWY กระตุ้นการสังเคราะห์วิตามิน (ไบโอติน) และกรดอะมิโนที่สำคัญ ช่วยเสริมระบบภูมิคุ้มกันและการเจริญเติบโต และFASYN-INITIAL-PWY สนับสนุนการสร้างกรดไขมัน และการสร้างเยื่อลำไส้ให้สมบูรณ์เร็วขึ้น อีกทั้งลูกสุกรที่ได้รับ MPLM พบพบบทบาทเด่นในกิจกรรมการสร้างสารต้านจุลชีพ (antimicrobial biosynthesis) การเสริมสร้างเยื่อและภูมิคุ้มกัน ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงของเยื่อลำไส้และเพิ่มความยืดหยุ่นของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร ส่วนกลุ่ม MPL พบว่าส่งเสริมศักยภาพหมักย่อยเยื่อใยอาหาร ความ

หลากหลายของเมแทบอลิซึม และการใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงาน และ CTR ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมพบเฉพาะกิจกรรมพื้นฐาน และกระบวนการพื้นฐานของสัตว์เท่านั้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของ pathway หลักเหล่านี้ที่เห็นใน heatmap สามารถสะท้อนถึงการปรับปรุงศักยภาพการย่อย การปกป้องระบบทางเดินอาหาร การสร้างพลังงาน และการฟื้นฟูสมดุลจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร เสริมสร้างสุขภาพ และการเจริญเติบโตของลูกสุกร ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการเจริญเติบโต

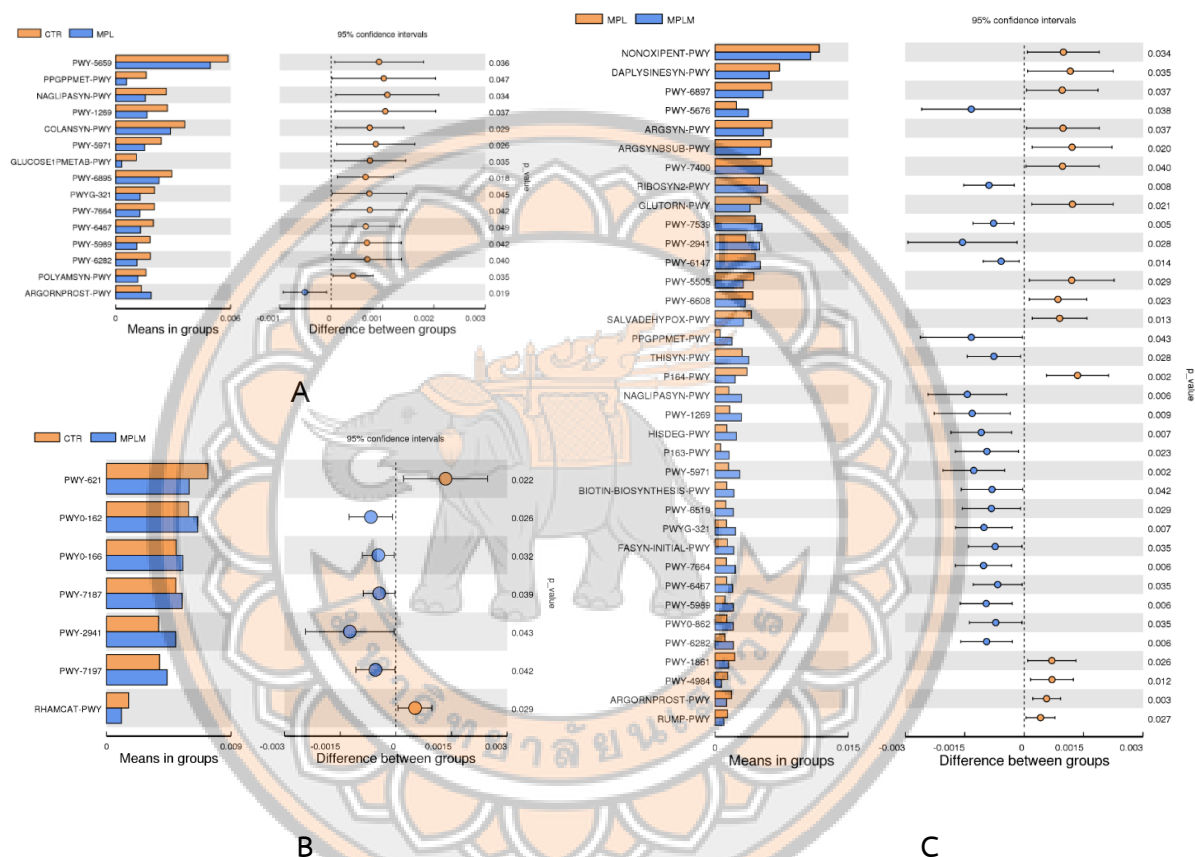
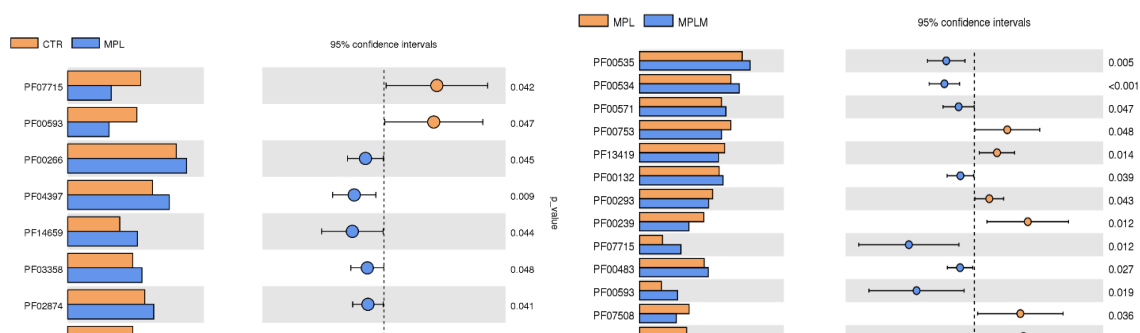


Figure 4.37 Microbial function prediction based on KEGG Pathways comparing CTR vs MPL (A), CTR vs MPLM (B), MPL vs MPLM (C)

5.) การใช้ Heatmap PFAM ผ่านการประเมินการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันจุลินทรีย์ในลำไส้สุกร และใช้รหัส protein ทำนาย และอธิบายบทบาทและการปรับตัวของระบบชีวภาพในระดับโมเลกุล เช่น การย่อยอาหาร การขนส่งโมเลกุล หรือการตอบสนองต่อความเครียด (Figure 4.38)

การเปรียบเทียบผลของ Heatmap PFAM ระหว่างกลุ่ม CTR และ MPL พบ pathways เช่น PWY-5659 (polysaccharide biosynthesis), NAGLIPASYN-PWY (N-acetylglucosamine lipid synthesis), PWY-1296 (oligosaccharide synthesis) และ PWY-421 (rhamnose catabolism) สูงใน MPL มากกว่า CTR ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเสริม MPL สามารถกระตุ้นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการหมักย่อยเยื่อใยอาหารในระบบทางเดินอาหาร จำนวนพอลิแซ็กคาไรด์ และโอลิโกแซ็กคาไรด์ เป็นต้น ช่วยสนับสนุนศักยภาพการหมัก การพัฒนาของโครงสร้างเยื่อลำไส้และเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดี อีกทั้งยังพบ Pathways guanosine tetraphosphate (ppGpp) และ pentaphosphate (pppGpp) สูงขึ้นใน MPL สะท้อนการตอบสนองต่อความเครียด และการปรับตัวของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารดีขึ้นหลังได้รับสารเสริมกลุ่ม MPL สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม CTR และ MPLM พบว่า กลุ่ม MPLM เพิ่ม pathways PWY-421 (rhamnose catabolism), PWY0-166 (L-fucose utilization), RHAMCAT-PWY (rhamnose degradation), PWY-7187 (beta-glucan degradation) ซึ่ง pathways เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการหมักคาร์โบไฮเดรตในหลายหลายรูปแบบ อีกทั้งยังเป็นการกระตุ้น หรือส่งเสริมศักยภาพการผลิต SCFA ในลำไส้ลูกสุกร เพิ่มกิจกรรมย่อยใยอาหาร ลดของเสียจากกระบวนการหมัก หรืออาหารที่ตกค้างในลำไส้ ซึ่ง Pathways เหล่านี้ตอบสนองต่อกลุ่ม MPLM เนื่องจากการเสริมโมโนลอรีน และสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม MPL และ MPLM พบว่า กลุ่ม MPLM มีความโดดเด่นใน pentose phosphate pathway (NONOXIPENT-PWY), diaminopimelate/lysine synthesis (DAPLYSINESYN-PWY), arginine succinyltransferase pathway (ARGSVIN-PWY), biotin biosynthesis (BIOTIN-BIOSYNTHESIS-PWY), fatty acid synthesis (FASYN-INITIAL-PWY) ซึ่งบ่งชี้ว่ากลุ่ม MPLM สามารถเพิ่ม กิจกรรมของ pathways ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างไนโตรเจน (amino acid, nucleotide synthesis) อีกทั้งการป้องกัน การตอบสนองต่อปฏิกิริยาความเครียด การสังเคราะห์วิตามิน (เช่น ไบโอดีน) และกรดไขมัน เพิ่มความยืดหยุ่นของจุลินทรีย์ และสนับสนุนการสร้างเซลล์เนื้อเยื่อในระบบทางเดินอาหาร ดังนั้นการใช้ PFAM เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของระบบทางเดินอาหารของลูกสุกร พบว่าสูตรสารเสริม MPLM ช่วยส่งเสริมโดเมนโปรตีนสำหรับป้องกันตัวเอง และการปรับสมดุลภูมิคุ้มกัน และสุขภาพลำไส้ ส่วนกลุ่ม MPL ช่วยเพิ่มความหลากหลายในการทำงาน (functional diversity) เชิงการย่อยอาหาร ย่อยเยื่อใยอาหาร และกรดไขมัน ส่วน CTR เป็นกิจกรรมพื้นฐาน และมีความเสถียรของโครงสร้างเล็กน้อย โดยผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่ากลไกการปรับตัวของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร เป็นประโยชน์ และปลอดภัยต่อสุขภาพของสุกร



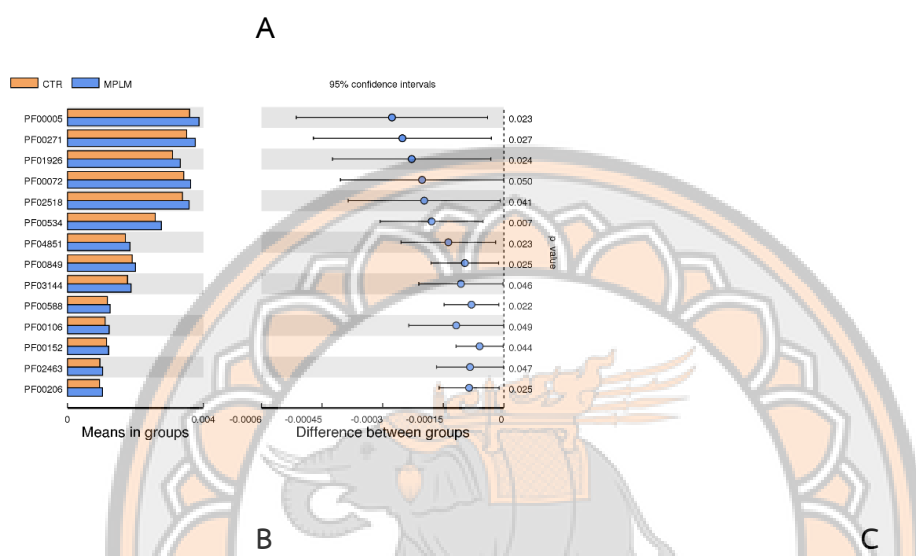


Figure 4.38 Microbial function prediction based on PFAM markers comparing CTR vs MPL (A), CTR vs MPLM (B), MPL vs MPLM (C)

เมื่อพิจารณาจากการศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารที่ระดับ Phylum ด้วย 16S Metagenome Sequencing พบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร สำหรับลูกสุกรก่อนหย่านม โดยการสวอปมูลจากทวารของลูกสุกร โดยได้รับอิทธิพลจากสารเสริม ประเภทสารเสริมพลังงาน ประเภทอิมัลชันกรดไขมันสายกลางเข้มข้น โดยกลุ่มที่มีส่วนผสมของโมโนลอรีน (MPLM) พบว่ามี Firmicutes เพิ่มขึ้นชัดเจน ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพลำไส้ ส่งเสริมการสร้างกรดไขมันสายสั้น ลดภาวะอักเสบ และช่วยฟื้นฟูเยื่อผนังลำไส้ของสุกร ส่วน Bacteroidota มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในกลุ่ม MPL และ MPLM เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ช่วยย่อยเยื่อใยอาหาร และผลิต SCFA ที่สำคัญต่อระบบลำไส้ ในขณะที่ *Proteobacteria* ซึ่งเกี่ยวข้องกับเชื้อก่อโรค พบสูงสุดในกลุ่มควบคุม (CTR) แต่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มใช้สารเสริม อีกทั้ง Fusobacteriota ที่สัมพันธ์กับภาวะอักเสบและท้องเสีย ก็พบว่าลดลงในกลุ่ม MPL และ MPLM เช่นเดียวกัน Actinobacteriota (เช่น *Bifidobacterium*) เพิ่มขึ้น MPLM ส่งผลดีต่อต้านเชื้อร้าย และเสริมภูมิคุ้มกัน สำหรับ methanogen (Euryarchaeota) พบว่าสูงขึ้นในกลุ่ม MPL อย่างไรก็ตามกลุ่มลูกสุกรที่ได้รับสูตรสารเสริม MPLM พบความเด่นชัดด้านการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร

เพิ่มเชื้อดี ลดเชื้อร้ายโดยไม่ก่อให้เกิดสภาวะ dysbiosis ส่วนกลุ่ม MPL ช่วยส่งเสริมการใช้ และหมักย่อยเยื่อใยอาหาร และรักษาสสมดุลพลังงาน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม CTR ซึ่งเสี่ยงท้องเสีย และสุขภาพต่ำกว่าโดยเห็นได้จากสัดส่วนเชื้อก่อโรคสูง **Figure 4.39**

การวิเคราะห์โครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์ระดับ genus จากการศึกษาด้วย 16S Metagenome Sequencing พบว่ามีความแตกต่างขององค์ประกอบไมโครไบโอมระหว่างกลุ่มควบคุม (CTR) และกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม MPL รวมถึง MPLM (**Figure 4.39-4.40**) กลุ่มที่ได้รับสูตรอาหารเสริม MPLM พบการเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดของ *Lactobacillus* ซึ่งเป็นโปรไบโอติกที่มีบทบาทสำคัญในการสร้างกรดไขมันสายสั้น (SCFA) การเสริมภูมิคุ้มกัน และการลดความเสี่ยงต่อการอักเสบ และท้องเสียในลูกสุกร ตรงตามหลักทฤษฎีโปรไบโอติกและโปรไบโอติกที่ส่งเสริมสุขภาพลำไส้ โดยที่การเสริม MPLM ยังช่วยเพิ่มความหลากหลายของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ ขณะเดียวกันลดประชากรของเชื้อก่อโรคเด่น เช่น *Escherichia-Shigella*, *Fusobacterium*, *Streptococcus* ซึ่งในกลุ่มควบคุมมีสูง และมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงโรคท้องเสียในสุกร ตรงตามหลักการ selective beneficial reshaping คือการปรับสมดุลจุลินทรีย์แบบจำเพาะเจาะจง ส่วนกลุ่ม MPL พบการเพิ่มขึ้นของสายพันธุ์เชื้อที่สนับสนุนการหมักและย่อยเยื่อใย เช่น *Prevotella*, *Ruminococcus* ซึ่งมีส่วนช่วยผลิต SCFA และเพิ่มการใช้ประโยชน์จากสารอาหารพืช ส่งเสริมการทำงานของระบบทางเดินอาหาร แต่ต้องเฝ้าระวังการเพิ่มขึ้นของ *Methanobrevibacter* ที่สัมพันธ์กับการผลิตมีเทน และอาจมีผลต่อสมดุลพลังงาน และการผลิตกรดไขมันสายสั้นในระบบทางเดินอาหารส่วนปลายระยะยาว

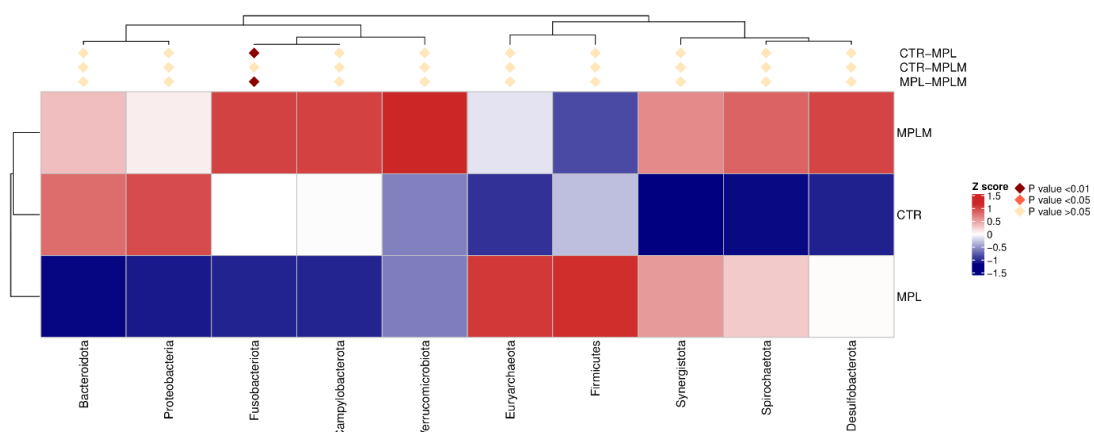


Figure 4.40 Phylum level microbial community profile based on metagenome sequencing

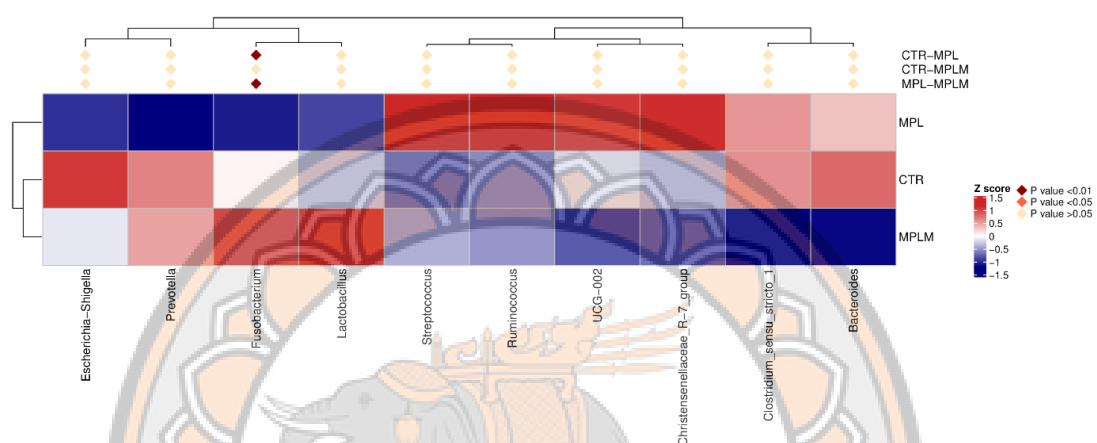


Figure 4.41 Genus's level microbial community profile based on metagenome sequencing

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 อภิปรายผล

5.1.1 ผลการสกัดและประโยชน์ของไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบและรากกัญชงเพื่อการใช้งานในปศุสัตว์

ใบและรากกัญชง ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการปลูกกัญชงนั้น อีกทั้งรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่แบบโบราณ ได้ถูกนำมาปรับประยุกต์ให้สอดคล้องกับยุคสมัย และนำไปสู่การใช้ประโยชน์สำหรับปศุสัตว์ ซึ่งกรอบแนวคิดของการทดลองนี้ สอดคล้องกับขั้นตอนแบบดั้งเดิมที่ถูกถ่ายทอดจากรุ่นสู่รุ่น ของคนจังหวัดตาก ดังนั้นการสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์โดยผ่านการให้ความร้อนด้วยตัวทำละลายที่เป็นน้ำมัน โดยน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นหรือน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT) มักถูกนำมาใช้เป็นตัวทำละลายเสมอ โดยอาศัยคุณสมบัติทางยาในการแพทย์แผนไทย (Narongvit et al., 2021) โดยการผสมผสานการสกัดกัญชงในรูปแบบน้ำมันในที่นี่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพอย่างมากในการใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์ โดยเฉพาะการส่งเสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน การลดการอักเสบ การส่งเสริมสุขภาพลำไส้ และการบรรเทาความเครียดในสัตว์เลี้ยง แนวทางนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเกษตรกรรมยั่งยืน ที่ต้องการลดการพึ่งพายาปฏิชีวนะและสารเคมี (Atalay et al. 2019; Iffland and Grotenhermen. 2017) ซึ่งไฟโตแคนนาบินอยด์ที่ได้จากกัญชง เช่น แคนนาบินโดล (CBD) มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา เช่น ด้านการอักเสบและปรับสมดุลภูมิคุ้มกัน สารเตตราไฮโดรแคนนาบินอล (THC) ที่อยู่ในปริมาณน้อยกว่า 0.3% มีความเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นความอยากอาหารและบรรเทาอาการปวด (Valizadehderakhshan et al., 2021) ส่วนแคนนาบินเกอรอล (CBG) มีฤทธิ์ด้านแบคทีเรียและปกป้องระบบประสาท ขณะที่แคนนาบินโครมิน (CBC) และแคนนาบินอล (CBN) มีสรรพคุณบรรเทาปวดและด้านการอักเสบ (Borrelli et al., 2021; Kornpointner et al., 2021) กลไกของกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันซึ่งรายงานโดย Fucak et al. (2023); Montero et al. (2023) พบว่า CBD เป็นสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงจาก CBDA ผ่านกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน โดยกระบวนการนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเส้นทางเบต้า-คีโตแอซิด มีการแตกพันธะ C-C และปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จึงเปลี่ยนสารแคนนาบินอยด์ให้อยู่ในรูปแบบที่ออกฤทธิ์

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและโภชนาการของใบและรากกัญชง พบว่ามีความสัมพันธ์ผกผันในความเข้มข้นของแคนนาบินอยด์ กล่าวคือ รากมีระดับ CBDA สูงกว่า ขณะที่

ใบมีโปรตีนและพลังงานสูงกว่า ส่วนองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและชีวภาพ ดังแสดงใน Table 4.1 ทั้งใบและรากกัญชงสามารถใช้ประโยชน์จากทุกส่วนของต้นกัญชงได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ Moreno et al. (2020) ได้สรุปผลของการใช้ตัวทำละลายที่เป็นแอลกอฮอล์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดรากกัญชงเมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) ตามที่แสดงในการทดลองที่ 1 ผลลัพธ์นี้สัมพันธ์กับคุณสมบัติการกระจายความร้อนของ CPKO ที่ช่วยรักษาความคงตัวของสารออกฤทธิ์สำหรับการสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ด้วยน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT) มีสองปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณา ประการแรก คือกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน ที่ความร้อนหรือความดันช่วยกำจัดกลุ่มคาร์บอกซิลและ CO₂ โดยปกติขั้นตอนการทำให้อุณหภูมิระหว่าง 110°C ถึง 130°C เป็นเวลา 4 ถึง 6 ชั่วโมง ประการที่สอง คือการใช้ความดันสูง 1.5 ถึง 2.0 เมกะปาสคัล ผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การนึ่งฆ่าเชื้อแบบอโอโตคลีฟ ซึ่งช่วยให้มั่นใจได้ว่าวัตถุดิบปลอดเชื้อและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันโดยการย่อยโครงสร้างเซลล์และส่งผลให้การสกัดสารออกฤทธิ์ดีขึ้น (Urvashi et al., 2024) อย่างไรก็ตาม ควรตระหนักว่าการใช้อุณหภูมิในกระบวนการสกัดที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้สารสำคัญบางชนิดเสื่อมสภาพได้ ดังนั้น การหาค่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อการเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการสกัด (Xue et al., 2024) อีกประเด็นสำคัญคือการใช้ MCT oil เป็นตัวทำละลายสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชง โดย MCT เป็นพาหะที่มีความคงตัว เพิ่มการดูดซึมและความสามารถในการนำส่งแคนนาบินอยด์เข้าสู่ร่างกาย เพื่อให้สารสกัดมีความบริสุทธิ์ ควรมีขั้นตอนกรองเศษกัญชงออก เช่น โดยการบรรจุวัตถุดิบสมุนไพรในถุงผ้าหรือผ้าตาข่ายไนลอนระหว่างกระบวนการสกัด (Nguyen et al. 2024; Reason et al. 2022) ดังนั้น น้ำมัน MCT จึงเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพและอำนวยความสะดวกในการสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์

แม้ว่ารากกัญชงจะมีปริมาณ CBDA อยู่จำนวนหนึ่ง แต่การเปลี่ยน CBDA ไปเป็น CBD ซึ่งเป็นรูปแบบที่ออกฤทธิ์แล้วนั้นบ่งชี้ว่าปริมาณและศักยภาพสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากใบกัญชงนั้นสูงกว่าสารสกัดจากรากอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าข้อสังเกตนี้สอดคล้องกับ (Urvashi et al., 2024; Visković et al., 2023) อย่างไรก็ตาม รากกัญชงมีสารประกอบจำเพาะ เช่น อัลคาลอยด์ และไตรเทอร์พีนอยด์ในปริมาณมากกว่าใบกัญชง โดยรากมีกลุ่มหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ต่ำกว่าและมีพันธะทางเคมีที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ศักยภาพต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่า ในทางกลับกัน ใบกัญชงมีหมู่ไฮดรอกซิลที่เชื่อมกับวงแหวนโรมาติกมากกว่า ส่งผลให้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สารเหล่านี้มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมี โดยเฉพาะช่วงกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่เสถียรของราก Kornpointner et al. (2021) รายงานว่าไฟโตแคนนาบินอยด์ในรากกัญชงมีปริมาณต่ำมากหรือไม่พบเลย นำไปสู่การใช้งานเฉพาะในเชิงอุตสาหกรรมและการแพทย์ และการใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายในการสกัดได้ผลดีที่สุดสำหรับสารไตรเทอร์พีนอยด์ เช่น friedelin และ epifriedelinol โดยพบปริมาณสูงสุดในช่วง 0.205-0.059

มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง (Jin et al., 2020) รายงานว่ารากกัญชงที่ผ่านการตากอากาศ 24 ชั่วโมงให้สัดส่วน CBD ต่อ epifriedelinol ประมาณ 1:2 ขณะที่รากที่ผ่านการฟรีซดรายมีปริมาณ epifriedelinol สูงกว่าวิธีการตากด้วยความร้อน นอกจากนี้ยังเสนอว่า การตากแห้งที่อุณหภูมิเกิน 45°C นานกว่า 30 นาที หรือการเก็บรักษาหลังเก็บเกี่ยวเป็นเวลานาน อาจลดปริมาณสารไตรเทอร์พีนอยด์เหล่านี้ได้ ถึงแม้ว่าการสกัดด้วยเอทานอล เฮกเซน หรือ CO₂ จะไม่มีความแตกต่างกันมากในเทคนิคการสกัดไตรเทอร์พีนอยด์ แต่เอทานอลถูกยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการสกัด friedelin และ epifriedelinol จากรากกัญชง นอกจากไฟโตแคนนาบินอยด์แล้ว ใบกัญชงยังมีสารออกฤทธิ์ชีวภาพชนิดอื่น ๆ เช่น เทอร์ปีน (myrcene, limonene, pinene, linalool) ซึ่งมีคุณสมบัติด้านการอักเสบและจุลชีพ ใบมีความเข้มข้นของเทอร์ปีนสูงกว่าราก เพราะทำหน้าที่ป้องกันศัตรูพืชและแมลง ขณะที่รากมีเทอร์ปีนในปริมาณต่ำกว่า เน้นการป้องกันเชื้อราและแบคทีเรียในดิน (Booth et al. 2017; Govindarajan et al. 2023) สารฟลาโวนอยด์ เช่น quercetin, kaempferol, apigenin ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ช่วยลดการอักเสบและปกป้องเซลล์จากความเครียดออกซิเดชัน ก็พบมากในใบ เนื่องจากบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งสนับสนุนผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางพฤกษเคมีเปรียบเทียบระหว่างใบและรากกัญชงที่แสดงใน Table 3

กระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการเปลี่ยนสารแคนนาบินอยด์ในรูปกรดซึ่งไม่ออกฤทธิ์ให้กลายเป็นสารออกฤทธิ์ เช่น CBD และ THC ซึ่งมีคุณค่าในการใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมพลังงานสำหรับสัตว์ โดยเฉพาะลูกสุกรที่ต้องการพลังงานสูงเพื่อการเจริญเติบโตและสุขภาพ Citti et al. (2018) พบว่าสารแคนนาบินอยด์ในรูปที่ถูกกระตุ้นแล้วสามารถสนับสนุนเมแทบอลิซึม ลดความเครียด และเพิ่มประสิทธิภาพของภูมิคุ้มกันในสัตว์ได้ การผสมไฟโตแคนนาบินอยด์กับไขมันหรือกรดไขมันสายกลางในอาหารเสริมพลังงานช่วยเพิ่มการดูดซึมพลังงาน ส่งเสริมการเจริญเติบโตและลดภาวะเครียดออกซิเดชันในลูกสุกร (Cortés et al., 2023) ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันของใบและรากกัญชงชี้ให้เห็นบทบาทของน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (CPKO) ในฐานะตัวทำละลาย ใบกัญชงมีค่าปริมาณสารฟีนอลิกรวม (TPC) และศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าราก เนื่องจากในกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันมีการกำจัดหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) จากกรดฟีนอลิกในใบ ทำให้เกิดไฟโตแคนนาบินอยด์ที่เป็นกลางและไวต่อปฏิกิริยา รวมถึงการเพิ่มปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่มีปฏิกิริยาสูง ซึ่งเพิ่มการเกิดพันธะไฮโดรเจนและศักยภาพต้านอนุมูลอิสระ ขณะที่รากกัญชงมีโครงสร้างโพลีฟีนอลิกที่เรียบง่ายกว่าและพันธะคู่คอนจูเกตน้อยกว่า จึงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยและคงความเสถียรของโครงสร้างเดิมไว้ (Moreno et al., 2020)

ผลการทดลองในครั้งนี้ได้ทำกิจกรรมทำแห้งวัตถุดิบใบกัญชงโดยวิธีการตากแห้งและบดให้ละเอียดก่อนเข้าสู่กระบวนการกระตุ้น ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ผล

การทดลองนี้สอดคล้องกับงานศึกษาของ Olmos et al. (2022) ที่ระบุว่าควรใช้วิธีการตากแห้งในช่วงเวลาที่เหมาะสม และลดขนาดอนุภาคของวัตถุดิบให้เล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร (Selvaraj et al., 2025) ก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลาย งานศึกษานี้พบว่าอัตราส่วนใบกัญชง 12% ต่อ CPKO เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Carcieri et al. (2018) ที่แนะนำอัตราส่วน 10% สำหรับการสกัดดอกกัญชงด้วยน้ำมันมะกอก ในขั้นตอนการสกัดมีความสำคัญกับวิธีการบรรจุใบกัญชง โดยเลือกใช้ถุงผ้าเพื่อช่วยกรองเศษวัสดุและอำนวยความสะดวกในการฆ่าเชื้อ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานของ (Olmos et al., 2022) ที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้ถุงผ้าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายวัตถุดิบและการฆ่าเชื้อ สำหรับขั้นตอนกระตุ้นวัตถุดิบ ใบกัญชงถูกนำเข้าสู่กระบวนการตีคาร์บอกซิเลชันด้วยการให้ความร้อนในอโตเคลฟที่อุณหภูมิ 121°C นาน 21 นาที ภายใต้การควบคุมความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม ทั้งนี้ วัตถุดิบและถุงผ้าจะผ่านการฆ่าเชื้อก่อนเข้าสู่ขั้นตอนกระตุ้นอีกด้วย ผลการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ระหว่างอัตราส่วนใบกัญชงต่อ CPKO กับช่วงเวลาให้ความร้อนต่อผลลัพธ์การสกัด โดยอัตราส่วนใบกัญชง 12% ต่อ CPKO ที่ใช้ความร้อน 110°C เป็นระยะเวลา 4-6 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารไฟโตแคนนาบินอยด์และศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสกัดอยู่ระหว่าง 110°C ถึง 120°C และระยะเวลากระตุ้นควรอยู่ในช่วง 2 ถึง 6 ชั่วโมงในตู้อบลมร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การให้ความร้อนที่ 110°C นาน 6 ชั่วโมง ช่วยเร่งกระบวนการตีคาร์บอกซิเลชัน ทำให้ปริมาณ CBD รวมในใบกัญชงเพิ่มขึ้นมากกว่า 38% เมื่อเทียบกับการให้ความร้อนในเวลา 4 ชั่วโมง ดังนั้น กระบวนการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์ที่มีประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการใช้ใบกัญชงในอัตราส่วน 12% ในน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบเป็นตัวทำละลาย โดยเริ่มจากขั้นตอนการฆ่าเชื้อวัตถุดิบและถุงผ้าในอโตเคลฟที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 21 นาที ภายใต้ความดัน 0.11 เมกะปาสคัล (MPa) เพื่อกระตุ้นวัตถุดิบก่อนจะนำวัตถุดิบเข้าสู่เตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง ซึ่งกระบวนการนี้ช่วยส่งเสริมกิจกรรมตีคาร์บอกซิเลชัน และเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารออกฤทธิ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.1.2 ผลของการป้อนอิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางร่วมสารไฟโตแคนนาบินอยด์และโมโนลอรินต่อการเจริญเติบโตและค่าทางโลหิตวิทยาของลูกสุกรระยะดูดนม

ผลของความเข้มข้นของกรดลอริกในอิมัลชันไขมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง และรูปแบบปริมาณการป้อนเข้าทางปากต่อประสิทธิภาพการผลิตของลูกสุกรแรกเกิด ผลการศึกษานี้สามารถชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้นของกรดลอริกในอิมัลชันไขมันไตรกลีเซอไรด์สายกลางเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกรแรกเกิด เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดลอริกจาก 30% (EML) เป็น 40% (EMPL) พร้อมทั้งเติมสารไฟโตแคนนาบินอยด์ พบว่ามีการปรับปรุงในหลายตัวชี้วัดด้านประสิทธิภาพการผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันเผยว่าสูตร EMPL มีกรดลอริก 41.42 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้น 22% เมื่อเทียบกับสูตร EML ที่มี 33.94

กรัมต่อ 100 กรัม การเพิ่มขึ้นนี้สอดคล้องกับผลของฤทธิ์การต้านจุลชีพ และการปรับสมดุลภูมิคุ้มกันของกรดไขมันสายกลาง (MCFAs) และสนับสนุนศักยภาพของ EMPL ในการใช้เชิงพาณิชย์และนวัตกรรมในอนาคต เช่น การพัฒนาผงน้ำมันเวชภัณฑ์แบบไมโครเอนแคปซูล นอกจากนี้ส่วนประกอบโดยประมาณของอิมัลชันเหล่านี้ยังแสดงถึงความแตกต่างในหน้าที่การทำงาน โดยสูตร EMPL ให้พลังงานสูงถึง 788.94 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ซึ่งสูงกว่า EML ที่ให้พลังงาน 661.59 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัมอย่างมาก อีกทั้งความหนาแน่นของพลังงานที่เพิ่มขึ้นนี้ โดยผ่านการเพิ่มกรดลอริกอย่างมีเป้าหมาย เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการตอบสนองความต้องการพลังงานและการควบคุมอุณหภูมิของลูกสุกรในช่วงพัฒนาการหลังคลอดแรกเริ่ม (Chiengsorn et al., 2025; Jackman et al., 2020; Zhang et al., 2022a)

การเพิ่มกรดลอริกในส่วนผสมอิมัลชันให้มีความเข้มข้นมากขึ้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของลูกสุกรได้ดียิ่งขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นใน 24 ชั่วโมงหลังคลอดของกลุ่ม EMPL มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (0.13 กก.ในกลุ่ม L-EMPL และ H-EMPL) เทียบกับสูตร EML (0.09-0.11 กก.) และกลุ่มควบคุมที่ได้รับยาโทลตราซูล (0.09 กก., $P=0.001$) พลังงานจากกรดลอริกถูกดูดซึมโดยตรงเข้าสู่กระแสเลือดผ่านเส้นเลือดประสาทพอร์ทัล และถูกเผาผลาญอย่างรวดเร็วในตับ จึงให้พลังงานทันทีสำหรับกระบวนการสำคัญ เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การพัฒนาเซลล์ลำไส้ และภูมิคุ้มกัน (Chiengsorn et al., 2025; Zhang et al., 2022) นอกจากนี้ โครงสร้างแอมฟิฟิลิกของกรดลอริกมีฤทธิ์ต้านจุลชีพแบบกว้างซึ่งช่วยลดการติดเชื้อก่อโรค พร้อมทั้งบรรเทาปฏิกิริยาการอักเสบ ทำให้การใช้โภชนะของอาหาร และประสิทธิภาพของระบบเมแทบอลิซึมในช่วงที่ลูกสุกรกำลังปรับตัวนี้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ผลการศึกษานี้ยืนยันบทบาทของอิมัลชัน MCT ที่เพิ่มกรดลอริกเป็นกลยุทธ์การให้พลังงานของลูกสุกรหลังคลอดใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมสนับสนุนสุขภาพระบบทางเดินอาหารและภูมิคุ้มกัน (Jackman et al. 2022; Wang et al. 2024)

การเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตโดยการป้อนสารเสริม รูปแบบเดียวกับการให้ยาเข้าทางปากแต่สารเสริมเหล่านั้นต้องมีความเข้มข้นของกรดลอริกที่สูงขึ้นจาก 30 เป็น 40 % สารเหล่านั้นต้องมีส่วนสกัดสมุนไพร เช่น สารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ โดยหวังผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และเพิ่มโอกาสรอดชีวิตของลูกสุกร ทำการศึกษารูปแบบ หรือปริมาณการป้อนต่อครั้งที่เหมาะสม จากการทดลองครั้งนี้พบว่า สูตร EMPL และ ระดับการป้อนสูงต่อครั้ง H-EMPL ให้ผลดีกว่าอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับระดับต่ำ L-EMPL และสูตรที่ไม่มีการเสริมโมโนลอรีน (EML) โดยยังพบอีกว่าสามารถส่งเสริมการได้รับนมแม่เหลืองได้เพิ่มขึ้น (colostrum intake) ที่เหมาะสมที่สุดที่ 334.63 มล.ต่อตัว ซึ่งมากกว่ากลุ่มควบคุม หรือกลุ่มที่ใช้ยาปฏิชีวนะ (287.69 มล.ต่อตัว) และกลุ่ม L-EML (310.51 มล.ต่อตัว; $P=0.003$) การเพิ่มขึ้นนี้แสดงถึงการเสริมสร้างการได้รับสารอาหารในช่วงต้นอย่างมีประสิทธิภาพ ผ่านการเพิ่มพลังงานให้ลูกสุกรเข้าหาเต้านม และกระตุ้นรวมนมเพื่อส่งเสริมให้แม่สุกร

ผลิตน้ำนมมากขึ้น ลูกก็จะได้รับนมน้ำเหลือง และน้ำนมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อการถ่ายโอนภูมิคุ้มกันจากแม่สู่อีกทั้งการได้รับนมน้ำเหลืองเพิ่มขึ้นในช่วงแรกยังช่วยส่งเสริมอัตราการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาก่อนหย่านม กลุ่มอิมัลชัน H-EMPL ช่วยส่งเสริมอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย ในวันที่ 14 ที่ 170.98 กรัมต่อวัน เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ 120.97 กรัมต่อวัน ($P=0.010$) พร้อมกันนี้ยังแสดงอัตราการตายน้อยที่สุดในช่วงก่อนหย่านมที่ 19.69% เมื่อเทียบกับกลุ่ม H-EMPL (22.65%) และกลุ่ม CON (29.44%; $P=0.016$) ผลการศึกษานี้สามารถช่วยอธิบายความสำคัญของทั้งองค์ประกอบสูตร และปริมาณการป้อนเข้าทางปาก เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับยาปฏิชีวนะ ซึ่งให้ผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพการผลิตของลูกสุกรในช่วงแรกคลอดซึ่งเป็นช่วงที่มีสภาวะเปราะบาง และความเสี่ยงต่อการตายหรือการติดเชื้อก่อโรค

ประสิทธิภาพการป้องกันที่ดีที่สุดของการให้กรดลอริกอย่างเหมาะสมนี้ แสดงให้เห็นชัดเจนประเด็นอัตราการตายจากอาการท้องเสีย ในกลุ่ม H-EMPL มีอัตราการตายจากอาการท้องเสียเพียง 3.17% เทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่ม L-EML มีอัตราการตายสูงกว่าถึง 8% ($P<0.05$) การลดอัตราการตายนี้อาจสะท้อนถึงกลไกของกรดลอริกที่มีสองทาง คือ การทำลายเยื่อหุ้มเชื้ออย่างตรงจุด และการเสริมสร้างความสมบูรณ์ของเยื่อบุลำไส้ ซึ่งรวมกันแล้วช่วยแก้ไขสาเหตุหลักของการตายในลูกสุกรแรกเกิด นอกจากนี้ สารไฟโตแคนนาบินอยด์ที่สกัดจากใบกัญชงยังมีกลไกเสริมฤทธิ์ด้านการอักเสบและการปรับสมดุลภูมิคุ้มกันผ่านทางเส้นทางตัวรับเอนโดแคนนาบินอยด์ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการรักษาเหล่านี้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่ามีกลยุทธ์ของการปรับให้ส่วนผสมอิมัลชันมีความเข้มข้นกรดลอริกที่สูงขึ้น (40% เทียบกับ 30%) กับยาปฏิชีวนะ ซึ่งจะเป็นทางเลือกใหม่ที่มีความเหมาะสมในการทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะแบบเดิมในระบบการผลิตสุกรที่ยั่งยืน (Chiengsorn et al. 2025; Kongkeaw et al. 2025; Pearodwong and Tummaruk 2022; Zhang et al. 2022)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและตัวชี้วัดทางโลหิตวิทยาในการทดลองที่ 2.1 สามารถอธิบายกลไกสนับสนุนการทำงานทางสรีรวิทยาที่ดีขึ้นในลูกสุกรที่ได้รับเสริมอิมัลชัน MCT ผ่านรูปแบบอิมัลชัน กลุ่ม H-EMPL ให้ผลลัพธ์ที่เหนือกว่าทุกตัวชี้วัด และยังพบอีกว่าลูกสุกรมีอัตราการตายต่ำที่สุดที่ 19.69% เทียบกับกลุ่มควบคุมยาปฏิชีวนะที่ 29.44% และกลุ่ม EMPL ปริมาณต่ำที่ 22.65% โดยเกี่ยวข้องกับตัวชี้วัดทางโลหิตวิทยา ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการปรับปรุงคุณภาพของเม็ดเลือดแดงและการปรับสมดุลภูมิคุ้มกันอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับอิมัลชัน MCT ที่เพิ่มสารไฟโตแคนนาบินอยด์ พบว่าดัชนีเม็ดเลือดแดงแสดงถึงความสามารถในการขนส่งออกซิเจนที่ดีขึ้น ด้วยค่า RDW ที่สูงขึ้นในกลุ่ม EMPL การเพิ่มขึ้นนี้บ่งชี้ถึงกิจกรรมการสร้างเม็ดเลือดแดง และการตอบสนองของไขกระดูกที่ดีขึ้น สะท้อนสถานะโภชนาการที่ดีขึ้นสอดคล้องกับประสิทธิภาพการเจริญเติบโตที่พัฒนาสูงขึ้น ค่า MCV สูงอย่างมีนัยสำคัญในลูกสุกรกลุ่ม EMPL แสดงถึงการผลิตเม็ดเลือดแดงเพิ่มมากขึ้น

และสมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะของกลไกแบบต่อเนื่องเมื่อสุกรดูดซึมธาตุเหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Cui et al., 2022; Knap et al., 2023)

สำหรับการปรับสมดุลภูมิคุ้มกันและฤทธิ์ด้านการอักเสบ ตัวชี้วัดที่สามารถบ่งบอกได้ชัดเจนที่สุด คือการลดลงอย่างมากของ% eosinophil ในกลุ่มลูกสุกรที่ได้รับการป้อนอิมัลชัน EMPL การลดลงเช่นนี้สามารถลดการกระตุ้นการอักเสบได้ ช่วยสนับสนุนฤทธิ์ด้านการอักเสบของสารไฟโตแคนนาบินอยด์ ซึ่งที่เกิดขึ้นผ่านตัวรับเอนโดแคนนาบินอยด์ ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับการเพิ่มความต้านทานต่อการติดเชื้อโรค และลดอัตราการเกิดท้องเสีย (Salvo et al., 2024) อีกทั้งการสังเคราะห์โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกัน ซึ่งสนับสนุนเชิงกลไกโดยตรงสำหรับการได้รับภูมิคุ้มกันที่ดีขึ้น ความเข้มข้นของโปรตีนรวมในซีรัมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่ม EMPL ทั้งสองกลุ่ม โดยการเพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการเพิ่มขึ้นของโกลบูลิน (Globulin) ในกลุ่มลูกสุกรที่ได้รับการป้อน H-EMPL ในขณะที่ความเข้มข้นของอัลบูมินไม่เปลี่ยนแปลง บ่งชี้ถึงการปรับสมดุลเฉพาะของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกันมากกว่าการเปลี่ยนแปลงทั่วไปในการเผาผลาญโปรตีน (Tóthová et al., 2021; Wang et al., 2024)

ปัญหาด้านพฤติกรรมของลูกสุกรช่วงดูดนม มักพบปัญหาการจัดการพฤติกรรมทางสังคม เช่น พฤติกรรมการกระตุ้นราวนมแม่สุกร พฤติกรรมการจับจองเต้านม และพฤติกรรมการต่อสู้เพื่อแย่งชิงการจับจองเต้านม มักส่งผลกระทบต่อเกิดการบาดเจ็บแผล ความเครียด และนำไปสู่อัตราการตายทั้งทางตรง และทางอ้อม เมื่อนำสูตรอิมัลชัน EMPL ไปเสริมอนุพันธ์ของกรดลอริก หรือ กลีเซอรอลโมโนลอรีน หรือ โมโนลอรีน (monolaurin) (Mono-EMPL และใช้แบบแผนการป้อนให้ลูกสุกร L-EMPL เนื่องจากเป็นแบบแผนที่เหมาะสมกับลูกสุกรตัวเล็กสามารถกลืนอิมัลชันหลังจากการป้อนนมหมด และไม่บ้วน หรือสำลักออกมา (3.0-3.50 ml ต่อโด้ส) อีกทั้งแบบแผนการป้อนสิ่งทลลอด L-EMPL พบว่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และตัวชี้วัดด้านสุขภาพใกล้เคียงกับแบบแผน H-EMPL และสูงกว่าสูตร EML และ กลุ่มที่ได้รับยาปฏิชีวนะ พบว่าการเสริมโมโนลอรีนช่วยเพิ่มอัตราการรอดชีวิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสามารถลดอัตราการตายก่อนหย่านมเหลือ 14.27% เทียบกับ 23.63% และ 29.40% ในกลุ่ม L-EMPL และกลุ่มควบคุมตามลำดับ ($P=0.012$) พร้อมทั้งลดอัตราการตายจากแม่ทับลงเหลือ 7.33% การปรับปรุงนี้เกิดจากการลดลงอย่างมากของการตายจากสาเหตุท้องเสียที่สัมพันธ์กับฤทธิ์ด้านเชื้อก่อโรคของโมโนลอรีน รวมทั้งฤทธิ์ด้านอักเสบของสารไฟโตแคนนาบินอยด์ผ่านระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ อีกทั้งเมื่อประเมินพฤติกรรมของลูกสุกรพบว่าสามารถลดการแข่งขัน และการต่อสู้เพื่อแย่งชิงเต้านม หรือพฤติกรรมการจำจองเต้านมได้ ทำให้ลูกสุกรได้รับนม น้ำเหลืองมากขึ้น ลูกสุกรที่ได้รับ Mono-EMPL มีพฤติกรรมการดูดนมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดความถี่การเข้าออกเต้านม และมีคะแนนบาดแผลบนใบหน้าลดลงอย่างมาก (0.56 คะแนน ในวันที่ 5 หลังจากคลอด) บ่งชี้ถึงการลดการต่อสู้ แต่พบว่าลูกสุกรนอนจับจองเต้านมเพิ่มมากขึ้นซึ่งอาจส่งผลเชิงลบต่ออัตราการตายในรูปแบบอื่นๆ ดังนั้นฟาร์มจะต้องหาแนวทางการจัดการเพื่อลดอัตราการตายด้วยสาเหตุอื่นๆ

ต่อไป (Ghany et al. 2024; Hassan et al. 2024; Tadijan et al. 2022; Wei et al. 2023) ซึ่งสอดคล้องกับกลุ่มลูกสุกรที่ได้รับ Mono-EMPL มีสัดส่วน eosinophil ลดลง ซึ่งบ่งชี้ถึงการลดภาระการอักเสบ และมีระดับโกลบูลิน เพิ่มขึ้นสะท้อนการได้รับภูมิคุ้มกัน การทำงานร่วมกันของโมโนลอรีนและสารไฟโตแคนนาบินอยด์ ส่งเสริมพฤติกรรมการดูดนมที่สงบลง ช่วยลดความรุนแรงของการต่อสู้ ซึ่งเป็นข้อดีอย่างยิ่งสำหรับระบบการผลิตของฟาร์มที่ไม่มีการกรอเชี้ยว หรือตัดเชี้ยวของลูกสุกร ซึ่งผลกระทบทางพฤติกรรมเมื่อสุกรได้รับการป้อนอิมัลชันกลุ่มนี้ จะช่วยสร้างสมดุลระหว่างลดสาเหตุการตาย ลดการอักเสบ พื้นฟูผลจากการต่อสู้ และลดพฤติกรรมต่อสู้ได้อย่างชัดเจน

งานศึกษานี้แสดงให้เห็นอีกว่าการเสริมด้วยอิมัลชัน Mono-EMPL ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน ปรับปรุงตัวชี้วัดทางโลหิตวิทยาและชีวเคมีในลูกสุกรแรกเกิด ลดสภาพปัญหาพฤติกรรมของลูกสุกร ลดอัตราการตาย และสามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันได้ ซึ่งสามารถลดการพึ่งพาการใช้ยาปฏิชีวนะได้ เมื่อแบ่งกลุ่มลูกสุกรตามช่วงน้ำหนักแรกเกิด สามารถใช้อิมัลชันนี้ในกลุ่มลูกสุกรที่มีน้ำหนักแรกคลอดน้อยจนถึงน้ำหนักช่วงกลาง หรือใช้กับลูกสุกรที่มีสภาวะเปราะบาง เช่น ตรวจพบว่าลูกสุกรช่วงดูดนมท้องเสีย อ่อนแอ หรืออดนม แต่การใช้งานจริงอิมัลชันดังกล่าวผู้ใช้จะต้องมีอุปกรณ์ และเตรียมส่วนผสมซึ่งมีความยุ่งยาก ดังนั้นการเปลี่ยนสภาพของอิมัลชันให้เป็นผงไมโครเอนแคปซูเลชัน ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี และสามารถใช้น้ำร้อน จะเป็นผลดีต่อการควบคุมอุณหภูมิของอิมัลชันให้ใกล้เคียงกับน้ำนมแม่สุกร อีกทั้งการใช้น้ำร้อนจะช่วยลดโอกาสการติดเชื้อจากน้ำได้ด้วย

5.1.3 การพัฒนาผงไมโครเอนแคปซูลดไขมันสายกลางเสริมสารสกัดกัญชง และโมโนลอรีนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมสารเสริมสำหรับลูกสุกร สำหรับแนวทางการผลิตผงไมโครเอนแคปซูลดไขมันสายกลางเข้มข้นโดยใช้สารสกัดกัญชงและโมโนลอรีนผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย แบบแผนการศึกษานี้เพื่อเปลี่ยนสภาพของอิมัลชันในการทดลองที่ 2 ให้อยู่ในสภาวะผงที่มีความเข้มข้นสูง และสามารถละลายน้ำกลับคืนเป็นสภาพของเหลวอิมัลชันได้ดังเดิม เพื่อให้การใช้งานเชิงอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องศึกษาคุณสมบัติของอิมัลชันจากส่วนผสม น้ำมันไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันสายกลางเข้มข้น เสริมสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอรีน พบว่าการวิเคราะห์ความเสถียรของอิมัลชันในกระบวนการเตรียมอิมัลชัน จากผลการทดลองพบว่ารอบการโฮโมจีไนซ์ที่ 12,000 rpm ให้ผลการกระจายอนุภาคอิมัลชันที่ดีและคงความเสถียร เช่น ค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับรอบ 15,000 rpm ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ที่ระบุว่าความเร็วโฮโมจีไนเซอร์ที่สูงเกินไปอาจทำให้อุณหภูมิในระบบสูงขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างอิมัลชันเสื่อมลงและประสิทธิภาพของฟิล์มห่อหุ้มลดลง (Xiao et al., 2025) ความสำคัญของการควบคุมความเร็วรอบนี้จึงไม่ใช่แค่การลดขนาดหยดน้ำมัน แต่ยังต้องรักษาอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการเสียสมดุลอิมัลชันที่เกิดจากความร้อนสะสม โดย

ระดับความเข้มข้นกรดลอริกส่วนผสมวัสดุแกนกลาง (core material) ที่ระดับความเข้มข้น 40% ให้ความเสถียรเชิงกลสูงกว่า 50% ผ่านการพิจารณาจากค่าความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม (SACS%) สูงกว่า และค่าความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่บ่งบอกถึงความต้านทานของของเหลวต่อการไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของของเหลวประเภทอิมัลชัน พบว่าความหนืดมีบทบาทสำคัญซึ่งแสดงถึงความหนืดของอิมัลชันของวัสดุแกนกลางมีความเข้มข้น 40% ค่าความหนืดสูงกว่า 50% อย่างไรก็ตามค่าปริมาณตะกอน (precipitation index) และ oiling off index ที่สูงของกลุ่ม 50% บ่งชี้ความไม่เสถียรในระดับสารแขวนลอย จุดนี้สะท้อนถึงความคงตัวของอิมัลชันที่มีวัสดุแกนกลางเป็นกรดไขมัน (Yang et al., 2020) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญของการห่อหุ้มและการกระจายตัวของหยดน้ำมันลดลง อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในกระบวนการทำแห้งตามมาด้วย ส่วนปัจจัย Total soluble solid (TSS) มีบทบาทสำคัญต่อความคงตัวของระบบอิมัลชัน พบว่า TSS ระดับ 35% ให้ค่าความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมดีกว่า 40% สอดคล้องกับข้อสังเกตทางเคมีประเด็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงเมื่อถูกผสมเป็นส่วนผสมอิมัลชัน ค่า TSS ที่เหมาะสมจะช่วยสร้างความหนืดที่พอเหมาะเสริมสร้างเสถียรภาพ แต่หากสูงเกินไปกลับส่งผลกระทบต่อกระบวนการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของอนุภาค (Akbari and Nour, 2018) ประเด็นนี้ควรคำนึงถึงสถานะอื่นๆ สำหรับการเตรียมอิมัลชันที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วย และสัดส่วนระหว่างวัสดุแกนกลาง ต่อ วัสดุห่อหุ้ม (core : wall material) ด้วยสัดส่วน 1:3 พบว่ามีความสมดุลที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาสถานะเสถียรและการคงตัวของอิมัลชัน ซึ่งสัดส่วนนี้ให้ผลการแยกชั้นครีมและค่าความหนืดอยู่ในระดับดี โดยสัดส่วนนี้สอดคล้องกับการสร้างฟิล์มห่อหุ้มที่ครอบคลุมแกนกลางได้ดี รวมถึงมีฤทธิ์ลดการแยกชั้นน้ำมัน ในขณะที่สัดส่วน 1:2 ถึงแม้จะมีค่าความหนืดสูงกว่า แต่พบการแยกชั้นน้ำมันเพิ่มขึ้น ที่อาจสะท้อนต่อการเคลื่อนที่ของน้ำมันที่ไม่ถูกห่อหุ้มอย่างเต็มที่

การประเมินชนิด และอัตราส่วนของการใช้อิมัลซิไฟเออร์ผลการศึกษาการใช้อิมัลซิไฟเออร์ Tween 80 และ Span 80 ที่อัตราส่วน 80:20 ให้ผลดีที่สุดในการรักษาความเสถียรภาพของอิมัลชันและค่าตัวชี้วัดต่าง ๆ เช่น creaming index และ zeta potential ผลนี้สอดคล้องกับหลักวิทยาศาสตร์พื้นฐานด้านศาสตร์อิมัลซ์ ซึ่งพบว่า Tween 80 เป็นสารที่มีความสามารถชอบน้ำสูง ช่วยสร้างฟิล์มห่อหุ้มที่เสถียร ในขณะที่ Span 80 มีความสามารถชอบน้ำมันช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของฟิล์ม (Baranauskaite et al., 2021) ความเข้ากันได้เชิงสมดุลนี้ช่วยลดโอกาสการรวมตัวของหยดน้ำมันและเพิ่มความเสถียรของอิมัลชันในระดับนาโน ทั้งนี้ สัดส่วน 50:50 ส่งผลให้ระบบไม่เสถียร ซึ่งน่าจะเนื่องจากความสมดุล HLB ถูกทำลาย ส่งผลให้เกิด การรวมกลุ่ม หรือ การเกาะกลุ่ม (agglomeration) และการแยกชั้นเกิดขึ้นง่ายขึ้น การวัดขนาดอนุภาคและค่า zeta potential เป็นตัวชี้วัดสำคัญที่ยืนยันผลทางสัณฐานวิทยาของอิมัลชันที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงนาโนเมตร 79-103 นาโนเมตร และค่า zeta potential ที่ค่าติดลบสูง (-42 ถึง -57 mV) สูงส่ง

สัญญาณบอกต่อความเสถียรไฟฟ้าสถิต และการป้องกันการรวมตัว (Souza et al., 2011) เมื่อใช้ภาพทางจุลทรรศน์ (Figure 4.6) ของสภาวะอิมัลชันที่มีอิทธิพลจากความเข้มข้นของกรดลอริก (40% และ 50%) ที่ใช้อัตราส่วน Tween 80 และ Span 80 ที่เหมาะสมที่สุด (80:20) จะพบว่าอนุภาคในอิมัลชันมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยและมีการรวมตัวมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Kori et al. (2021) ได้อธิบายความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ชีวภาพในวัสดุแกนกลางสามารถส่งผลต่อขนาดอนุภาคและความเสถียรภาพของอิมัลชัน ส่วนอัตราส่วน Tween 80 ที่สูงขึ้น บ่งบอกถึงความสามารถในการชอบน้ำที่สูงขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มห่อหุ้มมีความเสถียรและอนุภาคมีขนาดเล็กเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ ส่วนอัตราส่วน Span 80 ที่สูงขึ้นสะท้อนถึงความชอบน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการรวมตัวบางส่วน ส่งผลให้ความเสถียรลดลงและลักษณะพื้นผิวขรุขระมากขึ้น (Wang et al., 2023) อีกทั้งลักษณะพื้นผิวของอนุภาคในภาพจุลทรรศน์แสดงเป็นรูปทรงกลม ซึ่งเป็นสัญญาณของการห่อหุ้มที่มีประสิทธิภาพ และยังพบการกระจายตัวของสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ภายในอนุภาคอิมัลชันอย่างดี โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็กและสม่ำเสมอมากขึ้นพบในสภาวะที่มีกรดลอริก 40% และอัตราส่วน Tween80 ต่อ Span80 เท่ากับ 80:20 ซึ่งสอดคล้องกับตัวชี้วัดทางฟิสิกส์เคมี เช่น ขนาดอนุภาคและค่า zeta potential ที่มีความเสถียรมากกว่า การรวมตัวของอนุภาคและความไม่สม่ำเสมอที่เพิ่มขึ้นในสภาวะที่มีอัตราส่วน Span 80 สูงขึ้น อธิบายถึงการลดลงของความเสถียรภาพทั้งทางกลและทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นปัญหาที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปผงไมโครเอนแคปซูลในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) และประสิทธิภาพการห่อหุ้มในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (Estimé et al., 2024)

ผลกระทบของอุณหภูมิการทำแห้งแบบพ่นฝอยจากการความร้อน 220°C ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยให้ผลผลิตผง (yield) ที่สูงสุด 89.73% และประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (encapsulation efficiency) มากถึง 83.40% ซึ่งแสดงถึงการทำงานของกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการรักษาสารออกฤทธิ์ไว้ในรูปผง ในทางตรงกันข้าม หากอุณหภูมิต่ำเกินไป การระเหยน้ำทำได้ช้า อาจทำให้เกิดรูพรุนและผิวขรุขระสูง (Pudžiuvelyte et al., 2025) ทั้งนี้งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการแคปซูลชันน้ำมันด้วยเทคนิคเดียวกันชี้ว่าอุณหภูมิสูงช่วยเร่งการระเหยของน้ำ แต่ต้องปรับสมดุลกับความเสี่ยงต่อการสลายตัวของไขมันและปริมาณสารออกฤทธิ์ (Bagdat et al., 2024; Copado et al., 2021) สำหรับความเข้มข้นกรดลอริก พบว่าในระดับ 50% ให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มสูงและมีปริมาณไขมันที่ไม่ถูกห่อหุ้มต่ำกว่าในบางสภาวะ สอดคล้องกับหลักการที่ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแกนกลางช่วยสร้างผนังแคปซูลที่แข็งแรง อย่างไรก็ตาม กลุ่มที่มีความเข้มข้นกรดลอริกของวัสดุแกนกลางที่ระดับ 40% มีค่าดัชนีการอัดตัวสูง อาจบ่งชี้ถึงความหยาบของผง ซึ่งอาจส่งผลต่อการเก็บรักษาหรือความสามารถในการละลายเมื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ดังนั้น ช่วงสภาวะที่เหมาะสมคือ 50% lauric acid ภายใต้อุณหภูมิ 190-220°C เนื่องจากให้ทั้งคุณภาพและผลผลิตที่ดี โดยผลจากภาพ FESEM ยังยืนยันว่าอนุภาคที่ได้มีรูปร่างกลมสม่ำเสมอ แข็งแรง รูปร่าง และลักษณะพื้นผิวเม็ด

microcapsule พบว่าอุณหภูมิสูงช่วยสร้างผิวที่เรียบและรูพรุนลดลง ขณะที่อุณหภูมิต่ำก่อให้เกิดผิวที่พรุนและขรุขระมากขึ้น ทำให้มีความเสี่ยงต่อการดูดซับน้ำในสิ่งแวดล้อม และอาจเร่งการเสื่อมสภาพของไมโครเอนแคปซูล (Manglano et al., 2023) อีกทั้งการรักษาคุณสมบัติและเพิ่มความทนทานต่อปัจจัยแวดล้อม (López et al., 2024; Vasselabadi et al., 2025) สอดคล้องกับปัจจัยในการทดลองนี้ได้ผลเชิงบวกต่อห่อหุ้มส่วนผสมกรดไขมัน สารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอริน ซึ่งเอื้อต่อการเก็บรักษาสารออกฤทธิ์และการควบคุมการปลดปล่อยในระบบทางเดินอาหารของสุกร (Ribeiro et al., 2022) นอกจากนี้ การเลือกใช้อัตราส่วน Tween 80:Span 80 ที่ 80:20 มีบทบาทต่อความเสถียรของอิมัลชันก่อนการพ่นฝอย ส่งผลให้หยดมีขนาดเล็ก กระจายตัวดี และลดการเกิดการแยกชั้นหรือการรวมตัวของอนุภาค แนวโน้มนี้สอดคล้องกับรายงานของ Wang et al. (2024) ที่ยืนยันว่าการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีค่า HLB เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการห่อหุ้ม อย่างไรก็ตาม ความชื้นและกิจกรรมของน้ำ (water activity) ที่เพิ่มเล็กน้อยที่อุณหภูมิสูงและกรดลอริกเข้มข้นสูง อาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเสื่อมสภาพของสารสำคัญ ส่วนความหนาแน่น bulk และ tapped density ที่สูงขึ้นและค่า compressibility ratio ที่ลดลงในเงื่อนไขอุณหภูมิสูงบ่งชี้ถึงผงที่มีความชื้นไหลดี มีความแน่นและมีโครงสร้างฟิล์มห่อหุ้มที่แข็งแรงกว่า ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการจัดเก็บและขนส่งในเชิงพาณิชย์ สำหรับรูปแบบการใช้ผงไมโครเอนแคปซูลสำหรับการป้อนเข้าทางปากลูกสุกรจะต้องละลายน้ำ ดังนั้นการศึกษาอุณหภูมิของน้ำสำหรับการละลายในช่วง 70-80°C และอัตราส่วนผงต่อน้ำระหว่าง 1:1 ถึง 1:1.25 ให้ค่าการคั่นรูปอิมัลชัน (TER) และการละลายน้ำ (WSPR) สูง ซึ่งหมายถึงการคั่นสภาพอิมัลชันได้ดีซึ่งสำคัญต่อประสิทธิภาพการปลดปล่อยและการย่อยในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกร และไม่ควรใช้อุณหภูมิของน้ำที่เป็นสารละลายสูงกว่า 90°C จะส่งผลให้การกลับคืนสภาพลดลง อาจเพราะการก่อตัวของฟิล์มหนืด หรือการเปลี่ยนรูปองค์ประกอบภายในผง

ดังนั้นการวิจัยนี้ได้เชื่อมโยงแนวทางการใช้เทคโนโลยีไมโครแคปซูลในอาหารสัตว์ โดยเพิ่มเติมการศึกษาการคงสภาพของสารเสริม เช่น กรดไขมันสายกลาง และสารสกัดจากพืช ซึ่งเน้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในลูกสุกรที่ต้องการเสริมพลังงาน และสุขภาพภูมิคุ้มกันผ่านสารที่มีความไวสูง โดยที่การปรับสภาวะอุณหภูมิและความเข้มข้นกรดลอริกในกระบวนการการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสำคัญต่อคุณภาพและประสิทธิภาพของผงไมโครเอนแคปซูล โดยได้เงื่อนไขและสภาวะการผลิตผงไมโครเอนแคปซูลที่เหมาะสมสำหรับผลิตอิมัลชัน คือ ความเร็วโฮโมจีไนเซอร์ 12,000 rpm สัดส่วน core: wall 1:3 TSS ร้อยละ 35 และกรดลอริกในแกนกลางร้อยละ 40-50 ร่วมด้วยสัดส่วนของ emulsifier 80:20 (Tween 80 : Span 80) ให้ความเสถียรของอิมัลชันสูงสุดเพื่อการพ่นฝอย และอุณหภูมิลมร้อนเข้า 190-220°C ให้ผลผลิตผงไมโครเอนแคปซูลที่มีประสิทธิภาพห่อหุ้มสูงกว่าร้อยละ 85 และความชื้นต่ำร้อยละ 20 เมื่อพิจารณา

ประสิทธิภาพการละลายน้ำ ด้วยปัจจัยอุณหภูมิของน้ำสำหรับการละลายผงไมโครเอ็นแคปซูลชั้น และปัจจัยของผงต่อน้ำสำหรับการละลาย พบว่าเป็นปัจจัยหลักตามสมมติฐานในการละลายและความเป็นเสถียรของอิมัลชัน การเลือกอุณหภูมิ 70-80°C และสัดส่วน 1:1-1.25 เหมาะสมต่อการละลายและคืนรูปเนื่องจากสมดุลของพลังงานความร้อนในการทำให้ผงละลายโดยไม่ทำลายผิวผนังที่ห่อหุ้มสารออกฤทธิ์และรักษาโครงสร้างอิมัลชันได้ดี สอดคล้องกับผลการทดลองของการทดลองที่ 3.2-3.3 ทำให้เห็นภาพภาพรวมของกระบวนการผลิต และการใช้งานจริงของการละลายน้ำเพื่อทำการป้อนเข้าทางปาก ลูกสุกรแรกคลอด การเลือกวัสดุห่อหุ้มและอิมัลชันที่เสถียรช่วยให้ผงที่ได้ทั้งมีความคงตัวสูงและสามารถละลายน้ำง่าย สร้างความมั่นใจต่อการใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในลูกสุกรได้ โดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยทั่วไป พบว่าเป็นไปตามมาตรฐานของเทคโนโลยีไมโครแคปซูลชั้นด้วยการทำแห้งแบบสเปรย์ทราย ทั้งนี้ควรคำนึงถึงการปรับสภาวะเฉพาะของสารออกฤทธิ์แต่ละชนิดและการใช้งานจริงที่อุณหภูมิการละลายเหมาะสมจะช่วยรักษาประสิทธิภาพสูงสุดของผลิตภัณฑ์ได้ (Ahmed et al., 2010; Ren et al., 2020)

5.1.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร่างกายของลูกสุกรหลังจากเสริมผงไมโครเอ็นแคปซูลชั้นที่มีส่วนผสมกรดไขมันสายกลางและสารสกัดกัญชง

อุณหภูมิอินฟราเรดจากกล้อง FLIR C5 สามารถตรวจวัดอุณหภูมิความร้อนตามตำแหน่งของร่างกายลูกสุกรช่วงระหว่าง 12 ชั่วโมงหลังคลอด ถึง อายุ 21 วัน (ก่อนหย่านม) โดยกลุ่มที่ได้รับสารเสริม EPL และ EMPL แสดงผลลดอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เมื่อพิจารณาจากผลใน Table 4.23 พบว่า สาเหตุของการลดลงของอุณหภูมิร่างกายในกลุ่มทดลอง อาจเป็นผลจากคุณสมบัติของกรดไขมันสายกลางที่ดูดซึมและถูกนำไปใช้เป็นพลังงานได้รวดเร็วโดยไม่ผ่านกระบวนการย่อยสลายที่ซับซ้อนในทางเดินอาหาร จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงช่วยลดการเกิด ความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกิน การเคี้ยว การย่อยดูดซึม และการใช้สารอาหารที่ถูกดูดซึมหลังจากกินอาหาร ซึ่งรวมถึงความร้อนที่ร่างกายผลิตเพิ่มขึ้นระหว่างการย่อยและเมตาบอลิซึมของอาหาร โดยปกติอาจคิดเป็น 30% ของพลังงานที่รับเข้าสำหรับสัตว์บางชนิด (heat increment) ส่งผลให้การสะสมความร้อนในร่างกายน้อยลง (Takeuchi et al., 2018) นอกจากนี้ยังช่วยรักษาสมดุลพลังงานในร่างกาย ลดความแรงในกระบวนการเมตาบอลิซึมเมื่อเผชิญสภาวะเครียด ด้านผลของสารสกัดกัญชง ซึ่งประกอบด้วยโพลีฟีนอลและแคนนาบินอยด์ มีผลการศึกษาเพิ่มเติมว่าช่วยเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและลดการอักเสบ (Li et al., 2021) รวมถึงส่งผลดีต่อระบบไหลเวียนโลหิต เพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนผ่านผิวหนัง ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Zhang et al. (2022) ที่พบว่าการเสริมกรดไขมันสายกลางช่วยลดอุณหภูมิและอัตราการหายใจของสุกรในสภาวะอากาศร้อน และเมื่อสุกรเข้าสู่

สภาวะเครียดซึ่งอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมและการต่อสู้เมื่อแย่งเข้าหาเต้านมแม่สุกร อันเกิดจากพฤติกรรมทางสังคมของลูกสุกรในครอกเดียวกัน

5.1.5 ผลของอิมัลชันผงไมโครเอนแคปซูเลชันกรดไขมันสายกลางร่วมกับสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมนอลอรินต่อความหลากหลายจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรช่วงดูดนม

การศึกษาศักยภาพของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูเลชันกรดไขมันสายกลางที่ผสมสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์และโมนอลอริน เป็นการพัฒนานวัตกรรมนวัตกรรมสารเสริมพลังงานและสารสกัดเชิงฟังก์ชันเพื่อใช้ในลูกสุกรแรกเกิดที่มีน้ำหนักตัวน้อย โดยมุ่งเน้นการใช้กรดไขมันสายกลาง (MCFA) และไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (MCT) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ดูดซึมและเผาผลาญได้รวดเร็ว เหมาะสมกับระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรที่ยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ กรดลอริก และอนุพันธ์ เช่น กลีเซอรอลโมนอลอเรต (GML) มีคุณสมบัติด้านแบคทีเรียและไวรัสที่เป็นปัญหาสำคัญในสุกร การพัฒนานี้ได้ผสมกับสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์จากกัญชง ซึ่งมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ด้านอนุมูลอิสระ และกระตุ้นภูมิคุ้มกัน โดยทำงานร่วมกับระบบเอนโดแคนนาบินอยด์ของสุกร เพื่อส่งเสริมสุขภาพลำไส้และระบบภูมิคุ้มกัน เทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูเลชันแบบพ่นฝอยถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเสถียรของสารสำคัญให้ผงไมโครเอนแคปซูเลชันละลายน้ำได้ดี ใช้งานสะดวกในฟาร์มอุตสาหกรรม พร้อมทั้งช่วยปกป้องสารออกฤทธิ์จากสภาพแวดล้อม ควบคุมการปลดปล่อยในระบบทางเดินอาหาร และมีส่วนช่วยลดการพึ่งพายาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมสุกรอย่างยั่งยืน ผลการทดลองที่ 4 พบว่าระดับเอนไซม์ AST เพิ่มขึ้นในกลุ่ม MPLM โดย AST (Aspartate aminotransferase) เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนหมู่แอมิโนระหว่างกรดอะมิโนแอสปาร์เทตและกลูตามิเต เพื่อสร้างออกซาโลแอซิเตตและกลูตามิเต เอนไซม์ชนิดนี้พบได้มากในตับ หัวใจ กล้ามเนื้อ และไต แม้การเพิ่มขึ้นของค่า AST อาจบ่งชี้ถึงความเครียดของตับ แต่ค่าที่ตรวจวัดได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การประเมินพฤติกรรมและอุณหภูมิร่างกายด้วยกล้องอินฟราเรดยังช่วยยืนยันประสิทธิภาพของผงไมโครเอนแคปซูเล MPLM ในการเป็นสารเสริมพลังงานสำหรับลูกสุกร เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 2 (2.1 และ 2.2) ซึ่งใช้สูตรอิมัลชันน้ำมัน MCT ที่ปรับความเข้มข้นโดยปรับสัดส่วนด้วยผงกรดลอริก และเสริมสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ในรูปแบบของอิมัลชัน พบว่า EMPL ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและให้ผลด้านโลหิตวิทยาที่ดี อีกทั้งการเสริมโมนอลอรินยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตได้เช่นกัน การใช้เทคโนโลยีไมโครแคปซูเลชันซึ่งเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีเสถียรภาพสูงขึ้น ใช้งานง่าย และตอบสนองความต้องการในเชิงอุตสาหกรรมได้ดีกว่า โดยสรุป ผลการทดลองที่ 4 มีความสอดคล้องกับการทดลองที่ 2 โดยเฉพาะด้านการส่งเสริมการเจริญเติบโต การลดอุบัติการณ์ท้องเสีย และการเสริมสร้างภูมิคุ้มกันในลูกสุกร

อิมัลชันไตรกลีเซอไรด์สายกลางที่มีกรดลอริกเข้มข้นสูง ร่วมกับสารไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอรีน (EMPL และ Mono-EMPL) แสดงผลเชิงบวกต่อการเจริญเติบโต อัตราการตาย และระบบภูมิคุ้มกันของลูกสุกรแรกเกิดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับยาปฏิชีวนะ โดยเฉพาะ Mono-EMPL สามารถลดอัตราการตายก่อนหย่านมเหลือ 14.27% ลดการเสียชีวิตจากอาการท้องเสียและความอ่อนแอในลูกสุกรน้ำหนักต่ำได้อย่างชัดเจน ขณะที่กลุ่มควบคุมมีอัตราการตายสูงถึง 29.40% นอกจากนี้ EMPL และ Mono-EMPL ยังช่วยเสริมประสิทธิภาพการเจริญเติบโต เด็กสุกรที่ได้รับสูตรเหล่านี้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.13 กก./ใน 24 ชั่วโมงแรก และกลุ่ม Mono-EMPL (น้ำหนักแรกคลอดน้อย) มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยสูงสุดที่ 172.38 กรัม/วัน ปริมาณนมน้ำเหลืองและน้ำนมที่ได้รับมากขึ้นในกลุ่ม Mono-EMPL อยู่ที่ 336.56 มล./ต่อวัน ส่งผลให้ลูกสุกรแข็งแรงและได้รับภูมิคุ้มกันอย่างเพียงพอ ซึ่งสอดคล้องกับการเสริม MCT และโมโนลอรีน สามารถช่วยลดการติดเชื้อ ปรับสมดุลจุลินทรีย์ และเสริมการเจริญเติบโตของลูกสุกรอย่างมีนัยสำคัญ (Goh et al., 2022) ยังพบอีกว่า MCT สามารถลดอุบัติการณ์ท้องเสีย และเพิ่มความสามารถในการเจริญเติบโตในลูกสุกรหย่านม (Hu et al., 2025) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wang et al. (2024) ได้รายงานว่าโมโนลอรีนช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระและเพิ่มภูมิคุ้มกันในลูกสุกรที่ติดเชื้อ PEDv Zentek et al. (2011) ให้ข้อมูลว่าการเสริม MCFAs ส่งเสริมการสังเคราะห์พลังงานและระบบภูมิคุ้มกันในลูกสุกร ดังนั้นผลงานทดลองครั้งนี้ยังกระตุ้นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ มีประสิทธิภาพ และบทบาทเชิงชีวภาพของ MCT โมโนลอรีน และสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ในลูกสุกรช่วงแรกเกิด โดยผลสอดคล้องกับการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับผลระบบภูมิคุ้มกัน การเพิ่มขึ้นของโกลบูลิน (Globulin) และโปรตีนรวม (Total protein) ในเลือดลูกสุกรกลุ่ม EMPL และ Mono-EMPL (1.51--1.76 g/dL vs 0.61 g/dL ในกลุ่มควบคุม; $P < 0.001$) และการลดของอีโอซิโนฟิลในกลุ่ม Mono-EMPL (0.25%) สะท้อนถึงการลดภาวะการอักเสบทั่วร่างกายและสมดุลภูมิคุ้มกัน

ผลการศึกษาความหลากหลายจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกร พบว่าการป้อนผงไมโครเอนแคปซูลจากสูตร MPLM ซึ่งเป็นผงที่มีความเข้มข้นของกรดลอริกไม่ต่ำกว่า 50% เป็นส่วนผสมน้ำมันไตรกลีเซอไรด์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์ และโมโนลอรีน โดยใช้ความร้อนช่วงสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอย ระหว่าง 190-220°C ทำการป้อนอิมัลชันที่เกิดจากการละลายผงไมโครเอนแคปซูล ภายใต้สภาวะที่ยืนยันในการทดลองที่ 3.4 ใช้อัตราส่วนน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้ออุณหภูมิ 70-80°C โดยเปรียบเทียบกับผงไมโครเอนแคปซูลรูปแบบอิมัลชันซึ่งผ่านการละลายน้ำเป็นสูตรที่ไม่มีเพิ่มโมโนลอรีนเป็นส่วนผสม และกลุ่มควบคุมคือลูกสุกรที่ได้รับน้ำ RO ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ อีกทั้งลูกสุกรจะได้รับสิ่งทดลองทั้ง 3 รูปแบบจะต้องมีอุณหภูมิช่วงระหว่าง 28-30°C ซึ่งอุณหภูมินี้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิน้ำนมแม่สุกร หลังจากการป้อนสิ่งทดลองครั้งที่ 3 ภายใน 8-12 ชั่วโมง ดำเนินการสวอปมูลจากทวารของลูกสุกร เพื่อศึกษาความหลากหลายจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร

จากการวิเคราะห์ alpha diversity ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ระหว่างกลุ่มทดลอง แต่กลุ่ม MPLM แสดงแนวโน้มที่ดีที่สุดในทุกตัวชี้วัด โดยมีค่า Shannon diversity อยู่ที่ 6.09 เปรียบเทียบกับ 5.87 ในกลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Luo et al. (2022) พบว่าการเสริมสารออกฤทธิ์จากธรรมชาติสามารถส่งเสริมความหลากหลายของจุลินทรีย์ในลำไส้ได้ ถึงแม้จะไม่พบความแตกต่างทางสถิติในระดับ alpha diversity อาจเกิดจากความแปรปรวนระหว่างตัวสัตว์แต่ละตัวที่สูง (inter-individual variation) ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปในการศึกษาไมโครไบโอมของลูกสุกรช่วงดูตนม เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น น้ำหนักแรกคลอด ปริมาณนมที่ได้รับจากแม่สุกร และระดับภูมิคุ้มกันเริ่มต้นที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงผลกระทบเชิงบวกที่สำคัญของที่มีส่วนผสมของกรดไขมันสายกลางและสารออกฤทธิ์จากธรรมชาติต่อความหลากหลายและโครงสร้างของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรก่อนหย่านม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสูตร MPLM ที่มีการเติมโมโนลอรีนซึ่งแสดงประสิทธิภาพที่โดดเด่นที่สุด การที่กลุ่ม MPLM มีค่า Shannon diversity สูงกว่าแสดงถึงการมีประชากรจุลินทรีย์ที่มีความสมดุลและหลากหลายมากขึ้น ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญของสุขภาพลำไส้ที่ดี ตัวชี้วัด Chao1 และ Observed features ที่สูงขึ้นในกลุ่ม MPL (490.96 และ 478.56 ตามลำดับ) และ MPLM (475.40 และ 466.38 ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (460.41 และ 450.50 ตามลำดับ) บ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนชนิดจุลินทรีย์ที่ตรวจพบได้ ซึ่งสะท้อนถึงระบบนิเวศจุลินทรีย์ที่มีความซุกซมและเสถียรมากขึ้น สามารถแบ่งประเด็นที่เชื่อมโยงได้ดังนี้

1. ความเชื่อมโยงระหว่าง Beta Diversity และอิทธิพลของโมโนลอรีน จากการวิเคราะห์ beta diversity เผยให้เห็นภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้นเกี่ยวกับผลของการเสริมสารต่างๆ โดยพบว่ากลุ่ม MPLM มีความแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOSIM, $R = 0.179$, $P = 0.003$) เมื่อเปรียบเทียบกับ MPL ($A = 0.023$, $P = 0.004$) ผลนี้ยืนยันได้ว่า โมโนลอรีนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Subroto and Indarto. (2020) ที่แสดงให้เห็นถึงฤทธิ์การต้านจุลินทรีย์ก่อโรคแบบเฉพาะเจาะจงของโมโนลอรีน อีกทั้งการวิเคราะห์ weighted และ unweighted unifracs distance เผยให้เห็นว่าอิทธิพลหลักของการเปลี่ยนแปลงความหลากหลายจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารคือ ส่วนผสมโมโนลอรีน ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณ และความอุดมสมบูรณ์ (quantitative and abundance-based shift) ของจุลินทรีย์มากกว่าการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพ ซึ่งบ่งชี้ว่าการดลาริกและโมโนลอรีนทำงานผ่านการปรับสมดุลประชากรจุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมมากกว่าการกำจัดหรือเพิ่มชนิดใหม่เข้ามาใหม่

2. การปรับเปลี่ยนโครงสร้างจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร จากผลการวิเคราะห์ในระดับ phylum แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญทางชีวกรรมวิธี โดยกลุ่ม MPLM แสดงการเพิ่มขึ้นของ Firmicutes ที่สูงที่สุด (63%) พร้อมกับการลดลงของ Proteobacteria อย่างมี

นัยสำคัญ (เหลือ 4%) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (8%) การเปลี่ยนแปลงนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจาก Firmicutes ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หลายชนิด รวมถึง lactic acid bacteria และเชื้อที่ผลิต short-chain fatty acids (SCFA) ในขณะที่ *Proteobacteria* มักเกี่ยวข้องกับเชื้อก่อโรคและภาวะอักเสบในลำไส้ด้วย (Luo et al., 2022) และ ในขณะที่ Firmicutes สูงสุด (75%) ในกลุ่ม MPL แต่ยังคงมี *Proteobacteria* ในระดับที่สูงกว่า MPLM (6% เทียบกับ 4%) แสดงให้เห็นว่าการเติมการปรับให้สมดุลแกนกลางมีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 50% และโมโนลอรีนช่วยเสริมประสิทธิภาพของกรดไขมันสายกลางในการควบคุมเชื้อก่อโรค ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kwon et al. (2025) ที่พบว่า MCFA สามารถลดจำนวน *Escherichia coli* และ *Campylobacter* ในอุจจาระของสุกรได้ ส่วนอัตราส่วน Firmicutes/Bacteroidetes ที่เปลี่ยนแปลงไปในกลุ่มทดลองยังสะท้อนถึงการปรับปรุงสมดุลของระบบนิเวศจุลินทรีย์ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับสุขภาพและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสุกร การรักษาระดับ Bacteroidetes ในปริมาณที่เหมาะสม (19% ในกลุ่ม MPLM) ยังคงสำคัญต่อการย่อยเยื่อใยอาหารและการผลิต SCFA (Tan et al., 2020) ที่ระดับ Family และ Genus การลดลงของ Clostridiaceae ในกลุ่ม MPLM อย่างมีนัยสำคัญ (จาก 7.58% กลุ่มควบคุม เหลือ 1.78% ในกลุ่ม MPLM, $P < 0.05$) การเปลี่ยนแปลงนี้มีความสำคัญเนื่องจาก Clostridiaceae เป็นอย่างยิ่ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับเชื้อก่อโรค เช่น *Clostridium perfringens* และ *Clostridium difficile* ซึ่งสามารถทำให้เกิดโรคท้องเสีย และการอักเสบในลำไส้ได้ (Patil et al., 2020) แต่ในทางกลับกัน การเพิ่มขึ้นของ Lactobacillaceae ในกลุ่ม MPLM (20.88%) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (15.86%) แสดงถึงการเสริมประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ซึ่งพบว่า Lactobacillaceae เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกและ แบคทีริโอซิน (bacteriocin) โปรตีนขนาดเล็กที่สร้างจากแบคทีเรียเพื่อฆ่าหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรค กิจกรรมดังกล่าวบ่งบอกว่าการทำงานของโมโนลอรีนจำเพาะเจาะจงกับเชื้อก่อโรคเท่านั้น และนำไปสู่การส่งเสริมสุขภาพของลำไส้ และเยื่อบุผนังลำไส้ (intestinal barrier) และการปรับปรุงการย่อยและดูดซึมโภชนาได้เพิ่มขึ้น (Qi et al., 2021) ส่วนการลดลงของ Enterobacteriaceae ในกลุ่ม MPLM (1.34%) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (5.88%) ยังเป็นอีกหนึ่งตัวชี้วัดที่สำคัญ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ในตระกูลนี้ประกอบด้วยเชื้อก่อโรคสำคัญสำหรับลูกสุกรช่วงดูดนม ประกอบด้วย *E. coli* (ทั้ง ETEC และ EPEC), *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella* spp., *Yersinia enterocolitica*, และ *Citrobacter freundii* ที่เป็นสาเหตุหลักของโรคท้องเสียหลังหย่านม (Luo et al., 2022)

3. การทำนายฟังก์ชัน และแนวโน้มการการส่งเสริมระบบย่อยอาหารของลูกสุกร เนื่องจากการวิเคราะห์ functional prediction ผ่าน COG, KEGG Orthology, และ KEGG Pathways เผยให้เห็นภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของจุลินทรีย์ที่เป็นผลจากการเสริมสารต่างๆ โดยเฉพาะกลุ่ม MPLM แสดงการเพิ่มขึ้นของ COG categories ที่เกี่ยวข้องกับ 3.1)

การผลิตและการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (energy production and conversion) การเพิ่มขึ้นของการทำงานในหมวดนี้สะท้อนถึงความสามารถที่เพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ในการใช้ประโยชน์จากสารอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Kwon et al., 2025) ที่พบว่าการเสริม MCFA ช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยและดูดซึมสารอาหารมากขึ้น 3.2) กลไกการป้องกัน (defense mechanisms) การเพิ่มขึ้นของการทำงานในหมวดนี้ในกลุ่มนี้บ่งชี้ถึงการเสริมความแข็งแรงของระบบภูมิคุ้มกัน และการต้านทานต่อเชื้อก่อโรค ซึ่งสอดคล้องกับกลุ่ม MPLM และ mono-EMPL ซึ่งได้รับโมโนลอรีน (Subroto and Indianto. 2020) 3.3) การสังเคราะห์ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ การเปลี่ยนแปลงในกลุ่มนี้ MPLM อาจสะท้อนถึงการปรับตัวของจุลินทรีย์เพื่อรับมือกับผลกระทบของโมโนลอรีนต่อเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งเป็นกลไกหลักของฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ (Subroto and Indianto. 2020)

4. การวิเคราะห์ KEGG pathways เผยให้เห็นการเพิ่มขึ้นของกลไกการทำงานที่เชื่อมโยงกัน เช่น 4.1) การส่งเสริมประชากรด้วยกรดไขมันสายสั้นมักเกิดจากการหมักย่อยได้ ประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารมากเพียงพอจะส่งเสริมกลไกที่การผลิตบิวทิเรต ซึ่ง โดยนี้มีความสำคัญต่อการซ่อมแซมเยื่อบุลำไส้ การต้านอักเสบ และการควบคุมการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการยับยั้งการอักเสบ และกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Vasquez et al., 2022) 4.2) กระบวนการเมตาบอลิซึมของกรดอะมิโน การทำงานของกลไกกลุ่มนี้สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการใช้ประโยชน์จากโปรตีน และการผลิตเอนไซม์ย่อยโปรตีน ซึ่งสามารถโอกาสเกิดท้องเสียจากการได้รับอาหารเลี่ยนราง และไม่ถูกย่อยในทางเดินอาหาร 4.3) Immune system pathways พบว่าการเสริมสร้างกลไกการทำงานที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันสอดคล้องกับการปรับปรุงสุขภาพโดยรวมของลูกสุกร

5. การเปรียบเทียบสถานะความเสี่ยงของจุลินทรีย์ลำไส้ในกลุ่มทดลองลูกสุกร ต่อประสิทธิภาพของโมโนลอรีนในการปรับปรุงสุขภาพทางเดินอาหาร พบว่ากลุ่มควบคุม (CTR) เป็นกลุ่มลูกสุกรที่มีความเสี่ยงพบว่าประชากรจุลินทรีย์บ่งชี้ถึงความเสี่ยงต่อปัญหาด้านสุขภาพ เช่น สัดส่วนสูงของ Proteobacteria, Fusobacteriota, Clostridiaceae และ Enterobacteriaceae พร้อมทั้งค่า alpha diversity ต่ำลงมากที่สุด สถานะนี้มักเรียกว่า dysbiotic state ที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงต่อโรคท้องเสียและการติดเชื้อ (Luo et al., 2022) ส่วน MPL พบว่า Firmicutes (75%) เพิ่มขึ้นสูงสุดลดลงของเชื้อก่อโรค เพิ่มความหลากหลายจุลินทรีย์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกลุ่ม MPLM พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันความเสียหาย ซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก การลดลงของเชื้อก่อโรคอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มขึ้นสูงสุดของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ การปรับปรุง functional pathways ที่ครอบคลุม โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากกลไกการทำงานของโมโนลอรีนในระบบทางเดินอาหารส่งเสริมความหลากหลายจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร นอกจากผลโดยตรงต่อจุลินทรีย์แล้ว โมโนลอรีนยังมีผลในการเสริมสร้างการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันผ่านการปรับปรุง

ความสมบูรณ์ของกำแพงลำไส้ (intestinal barrier integrity) การเพิ่มระดับโปรตีน tight junction และการลดการซึมผ่านของลำไส้ การปรับปรุงเหล่านี้ช่วยป้องกันการเข้าสู่กระแสเลือดของเชื้อก่อโรคและสารพิษ ลดการอักเสบระบบ และเสริมสร้างความสามารถในการต่อสู้กับการติดเชื้อ (Dahmer et al., 2022) อีกทั้งยังมีหน้าที่ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์แบบเลือกจำเพาะ (gram-positive bacteria และ enveloped viruses) โดยไม่ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (He et al., 2022) ซึ่งอธิบายได้ว่า MPLM จึงสามารถลดเชื้อก่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะ *Fusobacterium*, *Escherichia-Shigella*, *Streptococcus* และ *Clostridium_sensu_stricto_1* ในขณะที่ยังคงรักษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ไว้ได้ (Zhang et al., 2022) อีกทั้งยังช่วยการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในลำไส้ เช่น ลด pH ในลำไส้ผ่านการส่งเสริมการผลิตกรดอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ สภาวะกรดนี้ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค (He et al., 2022)

6. การศึกษานี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเสริมผงโมโนโครเอนแคปซูลที่มีส่วนผสมของกรดไขมันสายกลาง สารสกัดใบกัญชง และโมโนลอริน (MPLM) สามารถปรับปรุงสมดุลและความหลากหลายของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรช่วงดูดนมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้สนับสนุนการใช้ MPLM เป็นทางเลือกในการส่งเสริมสุขภาพลำไส้และลดการพึ่งพายาปฏิชีวนะในการผลิตสุกร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการที่โมโนลอรินทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงเชิงบวกเหล่านี้ ทำให้เป็นสารเสริมที่มีศักยภาพสูงในอุตสาหกรรมเลี้ยงสุกรสมัยใหม่ที่มุ่งเน้นความยั่งยืนและการลดการใช้สารเคมี

จากผลการดำเนินการทดลองทั้ง 4 ส่วนได้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการสกัดสารไฟโตแคนนาบินอยด์ รวมถึงการผลิตอิมัลชันและเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้วัตถุดิบหรือส่วนผสมที่หาได้ภายในประเทศ พร้อมประยุกต์ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการสรรค์สร้างนวัตกรรมที่มีความคงตัวและศักยภาพสูง ส่งผลให้ได้สารสกัดไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชงโดยใช้น้ำมันเมล็ดในปาล์มเป็นตัวทำละลายหลัก ส่วนผสมน้ำมันไตรกลีเซอไรด์ที่มีน้ำมันเมล็ดในปาล์มเป็นองค์ประกอบหลัก รวมทั้งโมโนลอริน ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์เสริมประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ต้นแบบสูงขึ้น โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าส่วนผสมทั้งหมดสามารถช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิต ลดอัตราการตายและท้องเสียในลูกสุกร อีกทั้งยังส่งเสริมพฤติกรรมที่ดีของลูกสุกร สนับสนุนระบบภูมิคุ้มกัน และเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร ตลอดจนสนับสนุนการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และส่งเสริมกลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยในการหมักย่อยเยื่อใยอาหารจากอาหารเลี้ยงในลูกสุกรช่วงดูดนม ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตในภาพรวม

5.2 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มุ่งแก้ปัญหาการตายก่อนหย่านมของลูกสุกรพันธุ์สมัยใหม่ที่มีขนาดครอกใหญ่แต่น้ำหนักแรกเกิดต่ำกว่า 1.20 กก. โดยมุ่งพัฒนาอาหารเสริมจากธรรมชาติที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ เพื่อลดการพึ่งพายาปฏิชีวนะ สูตรเสริมประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (โดยเฉพาะกรดลอริก) กลีเซอรอลโมโนลอเรต และสารไฟโตแคนนาบินอยด์จากใบกัญชง ผ่านกระบวนการไมโครเอนแคปซูเลชันเพื่อเพิ่มเสถียรภาพและประสิทธิภาพการใช้ในลูกสุกรแรกเกิด

1) การสกัดใบกัญชงโดยใช้น้ำมันปาล์มใน (CPKO) ที่ระดับ 12% ให้สารฟีนอลิกสูงและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี การใช้ความร้อน 4-6 ชั่วโมงสามารถเพิ่มปริมาณ CBD และ CBDA นำไปพัฒนาสูตรอิมัลชันที่มีความเสถียรสูงสุดภายใต้สภาวะกรดลอริก 40-50% อัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์ Tween 80: Span 80 (80:20) และอัตราส่วน Core: Wall (1:3)

2) การทดลองป้อนอิมัลชัน EML (L-EML, H-EML) และ EMPL (L-EMPL, H-EMPL) รวมถึง Mono-EMPL ให้ลูกสุกรแรกเกิดใน 3 ระยะ คือภายใน 8-12 ชั่วโมง หลังคลอด ระหว่าง 3-5 วัน และระหว่าง 18-21 วันก่อนหย่านม เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับยาปฏิชีวนะ (CON) ผลการทดลองพบว่า EMPL และ Mono-EMPL ส่งเสริมการเพิ่มน้ำหนักภายใน 24 ชั่วโมงแรก เพิ่มโอกาสการได้รับน้ำเหลืองและน้ำนม ลดอัตราการตายก่อนหย่านมและการเกิดท้องเสีย ทั้งยังปรับปรุงค่าชีวเคมีเลือด ได้แก่ hemoglobin indices และภูมิคุ้มกัน ตลอดจนลดพฤติกรรมการแย่งเต้านมและพฤติกรรมก้าวร้าว

3) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำผงไมโครเอนแคปซูล โดยใช้กระบวนการสเปรย์ดราย ที่อุณหภูมิเข้า 200 องศาเซลเซียส (ปรับช่วง 190-220 °C) และความเข้มข้นกรดลอริกในแกนกลาง 50% ได้ผงไมโครเอนแคปซูลสองชนิด คือ MPL (ไม่เสริมโมโนลอรีน) และ MPLM (เสริมโมโนลอรีน) ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส

4) ผลการศึกษาเปรียบเทียบอิมัลชันจากผงไมโครเอนแคปซูล MPL และ MPLM กับกลุ่มควบคุมที่ได้รับน้ำ RO ฆ่าเชื้อ พบว่ากลุ่มที่ได้รับ MPL และ MPLM มีการเจริญเติบโตและอัตราการรอดชีวิตสูงขึ้น ระดับอิมมูโนโกลบูลินเพิ่มขึ้น การควบคุมสมดุลอนุมูลอิสระดีขึ้น สามารถรักษาอุณหภูมิร่างกายระหว่างระยะดูดนมได้ดีกว่า และมีพฤติกรรมแข่งขันเต้านมลดลง การวิเคราะห์ไมโครไบโอมของมูลแสดงให้เห็นว่า MPLM ช่วยสร้างสมดุลและเพิ่มความหลากหลายของจุลินทรีย์ในลำไส้แบบจำเพาะ โดยไม่รบกวนความสมดุลหลักของไมโครไบโอม ส่งเสริมสุขภาพลำไส้และลดความเสี่ยงโรคสอดคล้องกับทฤษฎีการจัดการความหลากหลายจุลินทรีย์เพื่อสุขภาพทางเดินอาหาร

5) การทำนายฟังก์ชันด้วย heatmap โดยใช้ COG EC KO pathways และ PFAM พบว่าลูกสุกรกลุ่ม MPLM ซึ่งมีไฟโตแคนนาบินอยด์และโมโนลอรีนเป็นองค์ประกอบ มีบทบาทเพิ่มการขนส่ง

และการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต การปรับเปลี่ยนพลังงาน และการควบคุมการแสดงออกของยีน ทำให้สุขภาพลำไส้และความสามารถต้านทานโรคดีขึ้น อีกทั้งยังเร่งการทำงานของเอนไซม์ที่ช่วยย่อยโภชนะ ปรับสมดุลพลังงาน และลดการสะสมความเครียดออกซิเดชัน รวมถึงส่งเสริมจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักย่อยใยอาหาร การดูดซึมไขมัน และการพัฒนาระบบย่อยอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในด้านการผลิต ภูมิคุ้มกัน และความหลากหลายจุลินทรีย์ของลูกสุกร แสดงให้เห็นว่า MPLM มีความเชื่อมโยงของกลไกหลายด้านที่ช่วยเพิ่มอัตราการรอด เจริญภูมิคุ้มกัน รักษาสุขภาพ และสร้างสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรทุกช่วงอายุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรศึกษาผลกระทบระยะยาวของสภาวะการเก็บรักษาผงไมโครเอนแคปซูลต่อความคงตัวของกรดไขมันและสารออกฤทธิ์ในสภาพแวดล้อมจริง

5.3.2 การใช้สารต้านอนุมูลอิสระร่วมในการผลิตเพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์และลดการเสื่อมสภาพจากออกซิเดชัน



บรรณานุกรม

- กานต์ธิดา, ใจดี, ภูมิโคกรักษ์ จงรัตน์, กรมรินทร์ ปภาวรรณ, และ อยู่เย็น สาธิต. 2565. “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการตายและสาเหตุการตายของลูกสุกรก่อนหย่านมในฝูงปรับปรุงพันธุ์.” *สัตวแพทยมหาวิทยาลัย 17(1):207–15*. www.tci-thaijo.org/index.php/jmvm/.
- เกศิน, ศรีรัตนโชติ, พันพิพัฒน์ วรธรรม, and ชัยจันทร มนัส. 2562. “ผลของชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเบต้าแคโรทีนนาโนอิมัลชัน.” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 8(6):620–32*. doi:10.14456/TJST.2019.65.
- นิศรา, ฮะเจริญ. 2554. “การเพิ่มความคงตัวต่อความร้อนในการแปรรูปและความคงตัวต่อความเย็นในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กะทิสเตอริไรส์.” Thesis, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วันดี, ทาตระกูล, คงแก้ว อติศักดิ์, ใจมาศรี รุ่งทิวา, วิชาสิทธิ์ นิทัศน์, สุภัตสรารโกสิน ญัฐปภัสร, และสาตุ้ม จักรพันธ์. 2565. “ประสิทธิภาพการผลิตการตอบสนองต่อความเครียดและสถานะภูมิคุ้มกันของสุกรอนุบาลที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมกากเมล็ดักัญชง.” *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 42(2):152–62*.
- อติศักดิ์, คงแก้ว, ใจมาศรี รุ่งทิวา, พุดสลัด ญัฐวุฒิ, หมอกมิต ปนิตาภรณ์, และทาตระกูล วันดี. 2565 “การประยุกต์ใช้รากักัญชงเป็นโยอาหารฟังก์ชัน เพื่อลดความเครียดในสุกรระยะขุน.” *แก่นเกษตร ฉบับพิเศษ(1):253–58*
- Ahmed, M., Akter, Mst. S., Lee, J.-C., & Eun, J.-B. (2010). Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. *LWT - Food Science and Technology*, 43(9), 1307–1312. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.014>
- Akbari, S., & Nour, A. H. (2018). Emulsion types, stability mechanisms and rheology: A review. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 1(1), 11–17. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v1i1.4>
- Atalay, S., Jarocka-Karpowicz, I., & Skrzydlewska, E. (2019). Antioxidative and Anti-Inflammatory Properties of Cannabidiol. *Antioxidants*, 9(1), 21. <https://doi.org/10.3390/antiox9010021>
- Bagdat, E. S., Akman, P. K., Kutlu, G., & Tornuk, F. (2024). Optimization of spray-drying process parameters for microencapsulation of three probiotic lactic acid bacteria selected by their high viability rate in sucrose and fructose levels and

- high temperatures. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 4(2), 687–698.
<https://doi.org/10.1007/s43393-023-00210-2>
- Ballesteros, L. F., Ramirez, M. J., Orrego, C. E., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2017). Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food Chemistry*, 237, 623–631.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.142>
- Baranauskaite, J., Ockun, M. A., Uner, B., Tas, C., & Ivanauskas, L. (2021). Effect of the Amount of Polysorbate 80 and Oregano Essential Oil on the Emulsion Stability and Characterization Properties of Sodium Alginate Microcapsules. *Molecules*, 26(20), 6304. <https://doi.org/10.3390/molecules26206304>
- Benkhaira, N., Koraichi, S. ibnsouda, & Fikri-Benbrahim, K. (2021). In vitro Methods to Study Antioxidant and Some Biological Activities of Essential Oils: A Review. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(3), 3332–3347.
<https://doi.org/10.33263/BRIAC123.33323347>
- Boonkum, W., Permthongchoochai, S., Chankitisakul, V., & Duangjinda, M. (2025). Genetic strategies for enhancing litter size and birth weight uniformity in piglets. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1512701.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1512701>
- Booth, J. K., Page, J. E., & Bohlmann, J. (2017). Terpene synthases from Cannabis sativa. *PLOS ONE*, 12(3), e0173911.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173911>
- Borrelli, L., Varriale, L., Dipineto, L., Pace, A., Menna, L. F., & Fioretti, A. (2021). Insect Derived Lauric Acid as Promising Alternative Strategy to Antibiotics in the Antimicrobial Resistance Scenario. *Frontiers in Microbiology*, 12, 620798.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.620798>
- Brown, K., Funk, K., Figueroa Barrientos, A., Bailey, A., Shrader, S., Feng, W., McClain, C. J., & Song, Z.-H. (2024). The Modulatory Effects and Therapeutic Potential of Cannabidiol in the Gut. *Cells*, 13(19), 1618.
<https://doi.org/10.3390/cells13191618>

- Buthelezi, N. L., Mtileni, B., Nephawe, K. A., Idowu, P. A., Modiba, M. C., Mpedi, H., & Mpofu, T. J. (2024). The impact of parity, litter size and birth weight variations within a litter on piglet pre-weaning performance. *Czech Journal of Animal Science*, 69(7), 255–268. <https://doi.org/10.17221/36/2024-CJAS>
- Cabral, G. A., Rogers, T. J., & Lichtman, A. H. (2015). Turning Over a New Leaf: Cannabinoid and Endocannabinoid Modulation of Immune Function. *Journal of Neuroimmune Pharmacology*, 10(2), 193–203. <https://doi.org/10.1007/s11481-015-9615-z>
- Cai, L., Zhao, Y., Chen, W., Li, Y., Han, Y., Zhang, B., Pineda, L., Li, X., & Jiang, X. (2024). Effect of an organic acid blend as an antibiotic alternative on growth performance, antioxidant capacity, intestinal barrier function, and fecal microbiota in weaned piglets. *Journal of Animal Science*, 102, skae149. <https://doi.org/10.1093/jas/skae149>
- Caldara, F. R., Santos, L. S. D., Machado, S. T., Moi, M., De Alencar Nääs, I., Foppa, L., Garcia, R. G., & De Kássia Silva Dos Santos, R. (2014). Piglets' Surface Temperature Change at Different Weights at Birth. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(3), 431–438. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13505>
- Cancino, B. A., Espinoza, A. H., Maldonado, G., VanDenBrink, A., & Villalón, C. M. (2014). Role of Pre-Junctional CB 1, But not CB 2, TRPV1 or GPR55 Receptors in Anandamide-Induced Inhibition of the Vasodepressor Sensory CGRPergic Outflow in Pithed Rats. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 114(3), 240–247. <https://doi.org/10.1111/bcpt.12152>
- Carcieri, C., Tomasello, C., Simiele, M., De Nicolò, A., Avataneo, V., Canzoneri, L., Cusato, J., Di Perri, G., & D'Avolio, A. (2018). Cannabinoids concentration variability in cannabis olive oil galenic preparations. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 70(1), 143–149. <https://doi.org/10.1111/jphp.12845>
- Cásedas, G., Moliner, C., Maggi, F., Mazzara, E., & López, V. (2022). Evaluation of two different Cannabis sativa L. extracts as antioxidant and neuroprotective agents. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 1009868. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1009868>

- Casellas, J., Casas, X., Piedrafita, J., & Manteca, X. (2005). Effect of medium- and long-chain triglyceride supplementation on small newborn-pig survival. *Preventive Veterinary Medicine*, 67(2–3), 213–221.
<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.10.007>
- Chang, H.-W., McNulty, N. P., Hibberd, M. C., O'Donnell, D., Cheng, J., Lombard, V., Henrissat, B., Ilkayeva, O., Muehlbauer, M. J., Newgard, C. B., Barratt, M. J., Lin, X., Odle, J., & Gordon, J. I. (2021). Gut microbiome contributions to altered metabolism in a pig model of undernutrition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(21), e2024446118.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2024446118>
- Chen, L.-H., Canibe, N., Curtasu, M. V., & Hedemann, M. S. (2025). Untargeted metabolomics as a tool to assess the impact of dietary approaches on pig gut health: A review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 16(1), 106.
<https://doi.org/10.1186/s40104-025-01238-1>
- Chiengsorn, K., Prasongsook, S., Bunchasak, C., Kayan, A., & Poeikhampha, T. (2025). Dietary MCFAs and Lauric Acid as Antibiotic Alternatives: Effects on Growth, Immunity and Gut Health in Weaned Pigs. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 13(8).
<https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2025/13.8.1856.1863>
- Citti, C., Braghiroli, D., Vandelli, M. A., & Cannazza, G. (2018). Pharmaceutical and biomedical analysis of cannabinoids: A critical review. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 147, 565–579.
<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.06.003>
- Cohen, G., Gover, O., & Schwartz, B. (2023). Phytocannabinoids Reduce Inflammation of Primed Macrophages and Enteric Glial Cells: An In Vitro Study. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(19), 14628.
<https://doi.org/10.3390/ijms241914628>
- Copado, C. N., Julio, L. M., Diehl, B. W. K., Ixtaina, V. Y., & Tomás, M. C. (2021). Multilayer microencapsulation of chia seed oil by spray-drying using electrostatic deposition technology. *LWT*, 152, 112206.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112206>

- Correia, B., Ahmad, S. M., & Quintas, A. (2023). Determination of phytocannabinoids in cannabis samples by ultrasound-assisted solid-liquid extraction and high-performance liquid chromatography with diode array detector analysis. *Journal of Chromatography A*, 1705, 464191.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2023.464191>
- Cortés, A., Mota-Rojas, D., Crosignani-Outeda, N., Casas-Alvarado, A., Martínez-Burnes, J., Olmos-Hernández, A., Mora-Medina, P., Verduzco-Mendoza, A., & Hernández-Ávalos, I. (2023). The role of cannabinoids in pain modulation in companion animals. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1050884.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1050884>
- Cui, Z., Wang, X., Liao, S., Qi, M., Zha, A., Zuo, G., Liao, P., Chen, Y., Guo, C., & Tan, B. (2022). Effects of Medium-Chain Fatty Acid Glycerides on Nutrient Metabolism and Energy Utilization in Weaned Piglets. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 938888. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.938888>
- Cunha, R., Grilli, E., Piva, A., Delprete, C., Franciosi, C., Caprini, M., & Chiocchetti, R. (2024). The Expression of Cannabinoid and Cannabinoid-Related Receptors on the Gustatory Cells of the Piglet Tongue. *Molecules*, 29(19), 4613.
<https://doi.org/10.3390/molecules29194613>
- Dahmer, P. L., Harrison, O. L., & Jones, C. K. (2022). Effects of formic acid and glycerol monolaurate on weanling pig growth performance, fecal consistency, fecal microbiota, and serum immunity. *Translational Animal Science*, 6(4), txac145.
<https://doi.org/10.1093/tas/txac145>
- De Brito Siqueira, A. L. G., Cremasco, P. V. V., Bahú, J. O., Pioli Da Silva, A., Melo De Andrade, L. R., González, P. G. A., Crivellin, S., Cárdenas Concha, V. O., Krambeck, K., Lodi, L., Severino, P., & Souto, E. B. (2023). Phytocannabinoids: Pharmacological effects, biomedical applications, and worldwide prospection. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 13(6), 575–587.
<https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2023.08.006>
- Domian, E., & Wąs, I. (2008). Microencapsulation of rapeseed oil based on the spray drying method. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 58(4), 477–483.

- Donvito, G., Nass, S. R., Wilkerson, J. L., Curry, Z. A., Schurman, L. D., Kinsey, S. G., & Lichtman, A. H. (2018). The Endogenous Cannabinoid System: A Budding Source of Targets for Treating Inflammatory and Neuropathic Pain. *Neuropsychopharmacology*, 43(1), 52–79. <https://doi.org/10.1038/npp.2017.204>
- Estimé, M., Schindler, M., Shahidzadeh, N., & Bonn, D. (2024). Droplet Size Distribution in Emulsions. *Langmuir*, 40(1), 275–281. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.3c02463>
- Ficagna, C. A., Galli, G. M., Zatti, E., Zago, I., Amaral, M. A. F. D. D., De Vitt, M. G., Paiano, D., & Da Silva, A. S. (2024). Addition of Butyric Acid and Lauric Acid Glycerides in Nursery Pig Feed to Replace Conventional Growth Promoters. *Animals*, 14(8), 1174. <https://doi.org/10.3390/ani14081174>
- Franco Ribeiro, E., Carregari Polachini, T., Dutra Alvim, I., Quiles, A., Hernando, I., & Nicoletti, V. R. (2022). Microencapsulation of roasted coffee oil Pickering emulsions using spray- and freeze-drying: Physical, structural and in vitro bioaccessibility studies. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(1), 145–153. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15378>
- Franzosa, E. A., McIver, L. J., Rahnavard, G., Thompson, L. R., Schirmer, M., Weingart, G., Lipson, K. S., Knight, R., Caporaso, J. G., Segata, N., & Huttenhower, C. (2018). Species-level functional profiling of metagenomes and metatranscriptomes. *Nature Methods*, 15(11), 962–968. <https://doi.org/10.1038/s41592-018-0176-y>
- Fučák, T., Kreft, S., Svedružić, Ž. M., & Tavčar, E. (2023). Mechanism and kinetics of CBDA decarboxylation into CBD in hemp. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 32(3), 608–621. <https://doi.org/10.1007/s13562-023-00847-z>
- Gebhardt, J. T., Thomson, K. A., Woodworth, J. C., Dritz, S. S., Tokach, M. D., DeRouchey, J. M., Goodband, R. D., Jones, C. K., Cochrane, R. A., Niederwerder, M. C., Fernando, S., Abbas, W., & Burkey, T. E. (2020). Effect of dietary medium-chain fatty acids on nursery pig growth performance, fecal microbial composition, and mitigation properties against porcine epidemic diarrhea virus following storage. *Journal of Animal Science*, 98(1), skz358. <https://doi.org/10.1093/jas/skz358>

- Ghany, S. S. H. A. E., Ibrahim, R. A., EL-Gendy, A. O., El-Baky, R. M. A., Mustafa, A., & Azmy, A. F. (2024). Novel synergistic interactions between monolaurin, a monoacyl glycerol and β lactam antibiotics against *Staphylococcus aureus*: An in vitro study. *BMC Infectious Diseases*, 24(1), 379.
<https://doi.org/10.1186/s12879-024-09261-9>
- Goh, T. W., Hong, J., You, D. H., Han, Y. G., Nam, S. O., & Kim, Y. Y. (2022). Effects of medium chain triglycerides with organic acids on growth performance, fecal score, blood profiles, intestinal morphology, and nutrient digestibility in weaning pigs. *Animal Bioscience*, 35(6), 916–926.
<https://doi.org/10.5713/ab.21.0469>
- Govindarajan, R. K., Mishra, A. K., Cho, K.-H., Kim, K.-H., Yoon, K. M., & Baek, K.-H. (2023). Biosynthesis of Phytocannabinoids and Structural Insights: A Review. *Metabolites*, 13(3), 442. <https://doi.org/10.3390/metabo13030442>
- GrzeŚkowiak, Ł., Vahjen, W., & Zentek, J. (2025). Dietary fibre fermentability quantitatively modulates faecal bacterial pathogens in sows and their offspring. *Livestock Science*, 292, 105636.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2024.105636>
- Hanczakowska, E. (2017). The Use of Medium-Chain Fatty Acids in Piglet Feeding – A Review. *Annals of Animal Science*, 17(4), 967–977.
<https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0099>
- Hassan Abd El-Ghany, S. S., Azmy, A. F., Osama EL-Gendy, A., Abd El-Baky, R. M., Mustafa, A., Abourehab, M. A. S., El-Beeh, M. E., & Ibrahim, R. A. (2024). Antimicrobial and Antibiofilm Activity of Monolaurin against Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Isolated from Wound Infections. *International Journal of Microbiology*, 2024(1), 7518368.
<https://doi.org/10.1155/2024/7518368>
- Hawe, S. J., Scollan, N., Gordon, A., & Magowan, E. (2020). What is the current significance of low birthweight pigs on commercial farms in Northern Ireland in terms of impaired growth and mortality? *Translational Animal Science*, 4(3), txaa147.
<https://doi.org/10.1093/tas/txaa147>

- He, Y., Jinno, C., Li, C., Johnston, S. L., Xue, H., Liu, Y., & Ji, P. (2022). Effects of a blend of essential oils, medium-chain fatty acids, and a toxin-adsorbing mineral on diarrhea and gut microbiome of weanling pigs experimentally infected with a pathogenic *Escherichia coli*. *Journal of Animal Science*, 100(1), skab365. <https://doi.org/10.1093/jas/skab365>
- Herve, L., Quesnel, H., Greuter, A., Hugonin, L., Merlot, E., & Le Floc'h, N. (2023). Effect of the supplementation with a combination of plant extracts on sow and piglet performance and physiology during lactation and around weaning. *Journal of Animal Science*, 101, skad282. <https://doi.org/10.1093/jas/skad282>
- Hess, D. J., Henry-Stanley, M. J., & Wells, C. L. (2014). Antibacterial Synergy of Glycerol Monolaurate and Aminoglycosides in *Staphylococcus aureus* Biofilms. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 58(11), 6970–6973. <https://doi.org/10.1128/AAC.03672-14>
- Hong, S. M., Hwang, J. H., & Kim, I. H. (2012). Effect of Medium-chain Triglyceride (MCT) on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Characteristics in Weanling Pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(7), 1003–1008. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11402>
- Hosseini, E., Alinejad, H., & Roustaei, E. (2023). Functional characterizations of sodium caseinate conjugated with water-soluble bitter almond gum exudate. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5, 100292. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100292>
- Hu, T., Liu, Y., Gao, S., Zhao, X., Cheng, H., Hu, Y., Tang, H., Xu, Z., & Fang, C. (2025). Complex Medium-Chain Triglycerides Mitigate Porcine Epidemic Diarrhea Virus Infection in Piglets by Enhancing Anti-Inflammation, Antioxidation, and Intestinal Barrier Function. *Viruses*, 17(7), 920. <https://doi.org/10.3390/v17070920>
- Hu, Y., Tu, J., Li, C., Peng, J., Xiao, Z., Wen, L., Chen, Y., Xie, S., Liu, S., & Xiao, J. (2024). Microencapsulation of camellia seed oil by spray drying with pea protein and maltodextrin. *LWT*, 203, 116348. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116348>

- Huang, T., Dong, J., Zhang, W., Hu, Z., Tan, X., Li, H., Sun, K., Zhao, A., & Huang, M. (2025). Comparison of fecal microbiota and metabolites in diarrheal piglets pre-and post-weaning. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1613054. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1613054>
- Iffland, K., & Grotenhermen, F. (2017). An Update on Safety and Side Effects of Cannabidiol: A Review of Clinical Data and Relevant Animal Studies. *Cannabis and Cannabinoid Research*, 2(1), 139–154. <https://doi.org/10.1089/can.2016.0034>
- Incharoen, T., Nopparatmaitree, M., Kongkeaw, A., Soisuwan, K., Likittrakulwong, W., Thongnum, A., Norbu, N., Tenzin, J., Supatsaraphokin, N., & Looor, J. J. (2025). Dietary micronized hemp fiber enhances in vitro nutrient digestibility and cecal fermentation, antioxidant enzyme, lysosomal activity, and productivity in finisher broilers reared under thermal stress. *Frontiers in Animal Science*, 6, 1553829. <https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1553829>
- Jackman, J. A., Boyd, R. D., & Elrod, C. C. (2020). Medium-chain fatty acids and monoglycerides as feed additives for pig production: Towards gut health improvement and feed pathogen mitigation. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00446-1>
- Jackman, J. A., Lavergne, T. A., & Elrod, C. C. (2022). Antimicrobial monoglycerides for swine and poultry applications. *Frontiers in Animal Science*, 3, 1019320. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.1019320>
- Jin, D., Dai, K., Xie, Z., & Chen, J. (2020). Secondary Metabolites Profiled in Cannabis Inflorescences, Leaves, Stem Barks, and Roots for Medicinal Purposes. *Scientific Reports*, 10(1), 3309. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60172-6>
- Kaeffer, B., Louveau, A., & Chen, C. (Eds.). (2023). *Non-coding RNA in immunotherapies and immune regulation*. Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/978-2-83251-036-0>
- Kanehisa, M., Sato, Y., Kawashima, M., Furumichi, M., & Tanabe, M. (2016). KEGG as a reference resource for gene and protein annotation. *Nucleic Acids Research*, 44(D1), D457–D462. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv1070>

- Kaushik, P., Dowling, K., Barrow, C. J., & Adhikari, B. (2015). Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods. *Journal of Functional Foods*, 19, 868–881.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.06.029>
- Kim, Y. Y., Kil, D. Y., Oh, H. K., & Han, I. K. (2005). Acidifier as an Alternative Material to Antibiotics in Animal Feed. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18(7), 1048–1060. <https://doi.org/10.5713/ajas.2005.1048>
- Kitkha, S., Boonsoongnern, A., Ratanavanichrojn, N., Jirawattanapong, P., & Pinyopummin, A. (2017). Effects of the higher parity and litter size on piglet birth weight and survival rate of later born piglets. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*, 47(1), 79–86. <https://doi.org/10.56808/2985-1130.2815>
- Knap, P. W., Knol, E. F., Sørensen, A. C., Huisman, A. E., Van Der Spek, D., Zak, L. J., Granados Chapatte, A., & Lewis, C. R. G. (2023). Genetic and phenotypic time trends of litter size, piglet mortality, and birth weight in pigs. *Frontiers in Animal Science*, 4, 1218175. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1218175>
- Kongkeaw, A., Charoensook, R., Incharoen, T., Hwanhlem, N., & Tartrakoon, W. (2025). Optimization of phytocannabinoid extraction from hemp (*Cannabis sativa* L.) with decarboxylation-based crude palm kernel oil and its potential as an energy supplement product for suckling piglets. *International Journal of Agricultural Technology*, 21(3), 903–926.
<https://doi.org/10.63369/ijat.2025.21.3.903-926>
- Kori, A. H., Mahesar, S. A., Sherazi, S. T. H., Khatri, U. A., Laghari, Z. H., & Panhwar, T. (2021). Effect of process parameters on emulsion stability and droplet size of pomegranate oil-in-water. *Grasas y Aceites*, 72(2), e410.
<https://doi.org/10.3989/gya.0219201>
- Kornpointner, C., Sainz Martinez, A., Marinovic, S., Haselmair-Gosch, C., Jamnik, P., Schröder, K., Löfke, C., & Halbwirth, H. (2021). Chemical composition and antioxidant potential of *Cannabis sativa* L. roots. *Industrial Crops and Products*, 165, 113422. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113422>
- Kwon, C. H., Torres, J. A., Mejia, M. J., Safaie, E. S., Usack, J. G., & Jang, Y. D. (2025). Effects of dietary medium-chain fatty acid supplementation levels on growth

- performance, blood parameters, fecal score and metabolites in nursery pigs. *Animal Bioscience*, 38(10), 2173–2184. <https://doi.org/10.5713/ab.25.0099>
- Langille, M. G. I., Zaneveld, J., Caporaso, J. G., McDonald, D., Knights, D., Reyes, J. A., Clemente, J. C., Burkepile, D. E., Vega Thurber, R. L., Knight, R., Beiko, R. G., & Huttenhower, C. (2013). Predictive functional profiling of microbial communities using 16S rRNA marker gene sequences. *Nature Biotechnology*, 31(9), 814–821. <https://doi.org/10.1038/nbt.2676>
- Le Dividich, J., Charneca, R., & Thomas, F. (2017). Relationship between birth order, birth weight, colostrum intake, acquisition of passive immunity and pre-weaning mortality of piglets. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(2), e0603. <https://doi.org/10.5424/sjar/2017152-9921>
- Li, L., Sun, X., Zhao, D., & Dai, H. (2021). Pharmacological Applications and Action Mechanisms of Phytochemicals as Alternatives to Antibiotics in Pig Production. *Frontiers in Immunology*, 12, 798553. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.798553>
- Li, L., Wang, H., Zhang, N., Zhang, T., & Ma, Y. (2022). Effects of α -glycerol monolaurate on intestinal morphology, nutrient digestibility, serum profiles, and gut microbiota in weaned piglets. *Journal of Animal Science*, 100(3), skac046. <https://doi.org/10.1093/jas/skac046>
- Liu, H.-Y., Zhu, C., Zhu, M., Yuan, L., Li, S., Gu, F., Hu, P., Chen, S., & Cai, D. (2024). Alternatives to antibiotics in pig production: Looking through the lens of immunophysiology. *Stress Biology*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s44154-023-00134-w>
- Liu, Y., Azad, Md. A. K., Zhao, X., Zhu, Q., & Kong, X. (2023). Dietary Protein Levels Modulate the Antioxidant Capacity during Different Growth Stages in Huanjiang Mini-Pigs. *Antioxidants*, 12(1), 148. <https://doi.org/10.3390/antiox12010148>
- López, G., Carrillo-López, L. M., Vargas-Bello-Pérez, E., & García-Galicia, I. A. (2024). Microencapsulation of feed additives with potential in livestock and poultry production: A systematic review. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 40(2), 229–249. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS40-21MFGI40021>

- López-Olmos, C., García-Valverde, M. T., Hidalgo, J., Ferrerio-Vera, C., & Sánchez De Medina, V. (2022). Comprehensive comparison of industrial cannabinoid extraction techniques: Evaluation of the most relevant patents and studies at pilot scale. *Frontiers in Natural Products*, 1, 1043147.
<https://doi.org/10.3389/fntpr.2022.1043147>
- Luo, Y., Ren, W., Smidt, H., Wright, A.-D. G., Yu, B., Schyns, G., McCormack, U. M., Cowieson, A. J., Yu, J., He, J., Yan, H., Wu, J., Mackie, R. I., & Chen, D. (2022). Dynamic Distribution of Gut Microbiota in Pigs at Different Growth Stages: Composition and Contribution. *Microbiology Spectrum*, 10(3), e00688-21.
<https://doi.org/10.1128/spectrum.00688-21>
- Ma, X., & Chatterton, D. E. W. (2021). Strategies to improve the physical stability of sodium caseinate stabilized emulsions: A literature review. *Food Hydrocolloids*, 119, 106853. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106853>
- Manglano, N. E., García-Moreno, P. J., Pérez-Gálvez, R., & Guadix, E. M. (2023). Antioxidants location affects the oxidative stability of spray-dried microcapsules loaded with fish oil. *Food Bioscience*, 56, 103074.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103074>
- Matsue, M., Mori, Y., Nagase, S., Sugiyama, Y., Hirano, R., Ogai, K., Ogura, K., Kurihara, S., & Okamoto, S. (2019). Measuring the Antimicrobial Activity of Lauric Acid against Various Bacteria in Human Gut Microbiota Using a New Method. *Cell Transplantation*, 28(12), 1528–1541.
<https://doi.org/10.1177/0963689719881366>
- Metzler-Zebeli, B. U. (2021). The Role of Dietary and Microbial Fatty Acids in the Control of Inflammation in Neonatal Piglets. *Animals*, 11(10), 2781.
<https://doi.org/10.3390/ani11102781>
- Miguel, J., Mitjana, O., Tejedor, M. T., Martínez, A., & Falceto, M. V. (2021). Supplementing Colostrum from Multiparous Sows: Effects on Performance and Health in Piglets from Gilts in Farm Conditions. *Animals*, 11(9), 2563.
<https://doi.org/10.3390/ani11092563>
- Minarti, M., Ariani, N., Megawati, M., Hidayat, A., Hendra, M., Primahana, G., & Darmawan, A. (2024). Potential Antioxidant Activity Methods DPPH, ABTS, FRAP, Total

- Phenol and Total Flavonoid Levels of *Macaranga hypoleuca* (Reichb. F. & Zoll.) Leaves Extract and Fractions. *E3S Web of Conferences*, 503, 07005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450307005>
- Montero, L., Ballesteros-Vivas, D., Gonzalez-Barrios, A. F., & Sánchez-Camargo, A. D. P. (2023). Hemp seeds: Nutritional value, associated bioactivities and the potential food applications in the Colombian context. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1039180. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1039180>
- Moreno, T., Dyer, P., & Tallon, S. (2020). Cannabinoid Decarboxylation: A Comparative Kinetic Study. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(46), 20307–20315. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c03791>
- Muns, R., Nuntapaitoon, M., & Tummaruk, P. (2016). Non-infectious causes of pre-weaning mortality in piglets. *Livestock Science*, 184, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.11.025>
- Narongvit, T., Techapichok, S., & Maranet, A. (2021). The Effectiveness of Cannabis used in Thai Traditional way on The Palliative Care Patients in Thailand. *Journal of the Association of Researchers*, 26(2), 219–232.
- Nguyen, N. A., Forstater, J. H., & McIntosh, J. A. (2024). Decarboxylation in Natural Products Biosynthesis. *JACS Au*, 4(8), 2715–2745. <https://doi.org/10.1021/jacsau.4c00425>
- Nimse, S. B., & Pal, D. (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances*, 5(35), 27986–28006. <https://doi.org/10.1039/C4RA13315C>
- Nuntapaitoon, M., Muns, R., & Tummaruk, P. (2018). Newborn traits associated with pre-weaning growth and survival in piglets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(2), 237–244. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0962>
- Nuntapaitoon, M., & Tummaruk, P. (2015). Piglet preweaning mortality in a commercial swine herd in Thailand. *Tropical Animal Health and Production*, 47(8), 1539–1546. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0895-3>
- Oliveira, L. R., Simionatto, M., Cruz, B. R., Bittencourt, J. I. M., Krum, E. A., Moss, M. F., & Borato, D. C. K. (2018). Stability of complete blood count in different storage

- conditions using the ABX PENTRA 60 analyzer. *International Journal of Laboratory Hematology*, 40(3), 359–365. <https://doi.org/10.1111/ijlh.12797>
- Opyd, P. (2024). Mechanisms of action of cannabidiol (CBD) in anxiety disorders in animals. *Journal of Elementology*, 2/2025. <https://doi.org/10.5601/jelem.2024.29.4.3475>
- Pangprasit, N., Srithanasuwan, A., Suriyasathaporn, W., & Chaisri, W. (2020). Antibacterial properties of lauric acid in combination with organic acids against major pathogens causing dairy mastitis. *Veterinary Integrative Sciences*, 19(1), 37–44. <https://doi.org/10.12982/VIS.2021.003>
- Patil, S., Bajaj, R., Sharma, R., & Sharma. (2021). Preparation and characterization of Sodium caseinate—Maltodextrin conjugate by dry heating method. *International Journal of Chemical Studies*, 9(4), 31–38.
- Patil, Y., Gooneratne, R., & Ju, X.-H. (2020). Interactions between host and gut microbiota in domestic pigs: A review. *Gut Microbes*, 11(3), 310–334. <https://doi.org/10.1080/19490976.2019.1690363>
- Pearodwong, P., & Tummaruk, P. (2022). Oral administration of iron and toltrazuril in combination improves survival rate and growth rate and reduces anaemia in piglets. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*, 52(3), 465–471. <https://doi.org/10.56808/2985-1130.3238>
- Pinto, J. M., Nogueira, L. S., & Rios, D. R. A. (2023). Hematological parameters: Is there a difference between those released by the hematological analyzer and to the customer? *Einstein (São Paulo)*, 21, eAO0501. https://doi.org/10.31744/einstein_journal/2023AO0501
- Pluske, P. J., Turpin, D., Abraham, S., Collins, A., & Dunshea, F. (2018). *Report prepared for the Co-operative Research Centre for High Integrity Australian Pork*. University of Melbourne.
- Prado, J., Pereira, A. M. F., Wang, D., Villanueva-García, D., Domínguez-Oliva, A., Mora-Medina, P., Hernández-Avalos, I., Martínez-Burnes, J., Casas-Alvarado, A., Olmos-Hernández, A., Ramírez-Necoechea, R., Verduzco-Mendoza, A., Hernández, A., Torres, F., & Mota-Rojas, D. (2022). Thermoregulation mechanisms and perspectives for validating thermal windows in pigs with hypothermia and

- hyperthermia: An overview. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1023294. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1023294>
- Pudžiuvėlytė, L., Petrauskaitė, E., Stabrauskienė, J., & Bernatoniene, J. (2025). Spray-Drying Microencapsulation of Natural Bioactives: Advances in Sustainable Wall Materials. *Pharmaceuticals*, 18(7), 963. <https://doi.org/10.3390/ph18070963>
- Pui, L. P., & Lejaniya, A. K. S. (2022). Effects of spray-drying parameters on physicochemical properties of powdered fruits. *Foods and Raw Materials*, 235–251. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-533>
- Puppe, B., & Tuchscherer, A. (2000). The development of suckling frequency in pigs from birth to weaning of their piglets: A sociobiological approach. *Animal Science*, 71(2), 273–279. <https://doi.org/10.1017/S1357729800055119>
- Qi, R., Qiu, X., Du, L., Wang, J., Wang, Q., Huang, J., & Liu, Z. (2021). Changes of Gut Microbiota and Its Correlation With Short Chain Fatty Acids and Bioamine in Piglets at the Early Growth Stage. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 617259. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.617259>
- Reason, D. A., Grainger, M. N. C., & Lane, J. R. (2022). Optimization of the Decarboxylation of Cannabis for Commercial Applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61(23), 7823–7832. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.2c00826>
- Rebucci, R., Comi, M., Ghiringhelli, M., Giorgi, S., Cheli, F., & Bontempo, V. (2021). Lauric acid saponified with calcium ameliorates indices of intestinal function and gut health in weaned piglets. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 1479–1490. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1944338>
- Ren, W., Tian, G., Zhao, S., Yang, Y., Gao, W., Zhao, C., Zhang, H., Lian, Y., Wang, F., Du, H., Xiao, H., & Zheng, J. (2020). Effects of spray-drying temperature on the physicochemical properties and polymethoxyflavone loading efficiency of citrus oil microcapsules. *LWT*, 133, 109954. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109954>

- Riadini, A. (2020). *Effect of dietary microencapsulated organic acid and essential oil on sow performance and nursery piglet growth performance and fecal bacteria* [Master's Degree, Chulalongkorn University].
<https://doi.org/10.58837/CHULA.THE.2020.470>
- Rocca, G., & Salvo, A. (2020). Hemp in Veterinary Medicine: From Feed to Drug. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 387.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00387>
- Rolinec, M., Medo, J., Gábor, M., Miluchová, M., Bíro, D., Šimko, M., Juráček, M., Hanušovský, O., Schubertová, Z., & Gálik, B. (2020). The Effect of Coconut Oil Addition to Feed of Pigs on Rectal Microbial Diversity and Bacterial Abundance. *Animals*, 10(10), 1764. <https://doi.org/10.3390/ani10101764>
- Ryu, B. R., Islam, Md. J., Azad, Md. O. K., Go, E.-J., Rahman, Md. H., Rana, Md. S., Lim, Y.-S., & Lim, J.-D. (2021). Conversion Characteristics of Some Major Cannabinoids from Hemp (*Cannabis sativa* L.) Raw Materials by New Rapid Simultaneous Analysis Method. *Molecules*, 26(14), 4113.
<https://doi.org/10.3390/molecules26144113>
- Sari, N. P. Y. P., Amril, A., & Muttaminnah, M. (2024). Total Protein Examination Using the Biuret Method. *International Journal Of Scientific Advances*, 5(6).
<https://doi.org/10.51542/ijscia.v5i6.9>
- Schmitt, O., & O'Driscoll, K. (2021). Use of infrared thermography to noninvasively assess neonatal piglet temperature. *Translational Animal Science*, 5(1), txaa208.
<https://doi.org/10.1093/tas/txaa208>
- Schoos, A., Muro, B. B. D., Carnevale, R. F., Chantziaras, I., Biebaut, E., Janssens, G. P. J., & Maes, D. (2023). Relationship between piglets' survivability and farrowing kinetics in hyper-prolific sows. *Porcine Health Management*, 9(1), 37.
<https://doi.org/10.1186/s40813-023-00332-y>
- Selvaraj, S., Nawfer, N., Dharmawansa, K. V. S., Ali Redha, A., & Rupasinghe, H. P. V. (2025). Recent advances in cannabidiol (CBD) extraction: A review of potential eco-friendly solvents and advanced technologies. *Green Analytical Chemistry*, 13, 100270. <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2025.100270>

- Silver, R. J. (2019). The Endocannabinoid System of Animals. *Animals*, 9(9), 686. <https://doi.org/10.3390/ani9090686>
- Simard, M., Rakotoarivelo, V., Di Marzo, V., & Flamand, N. (2022). Expression and Functions of the CB2 Receptor in Human Leukocytes. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 826400. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.826400>
- Singpanna, K., & Charnvanich, D. (2021). Effect of the hydrophilic-lipophilic balance values of non-ionic surfactants on size and size distribution and stability of oil/water soybean oil nanoemulsions. *The Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, 45(6), 487–491. <https://doi.org/10.56808/3027-7922.2530>
- Skok, J., Prevolnik, M., Urek, T., Mesarec, N., & Škorjanc, D. (2014). Behavioural patterns established during suckling reappear when piglets are forced to form a new dominance hierarchy. *Applied Animal Behaviour Science*, 161, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.09.005>
- Somrup, S., & Saracharoen, P. (2022). Efficacy of Oral Toltrazuril in Newborn Piglet. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 25(1), 36–40. <https://doi.org/10.55164/ajstr.v25i1.244250>
- Song, X., Li, S., He, S., Zheng, H., Li, R., Liu, L., Geng, T., Zhao, M., & Gong, D. (2024). Integration of Whole-Genome Resequencing and Transcriptome Sequencing Reveals Candidate Genes in High Glossiness of Eggshell. *Animals*, 14(8), 1141. <https://doi.org/10.3390/ani14081141>
- Souza, A. S., Rocha-Leão, M. H., Borges, S. V., Cirillo, M. Â., Cornejo, F. E. P., & Couri, S. (2011). Retention of short chain fatty acids under drying and storage conditions. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31(3), 801–805. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000300039>
- Srivastava, R. K., Lutz, B., & Ruiz De Azua, I. (2022). The Microbiome and Gut Endocannabinoid System in the Regulation of Stress Responses and Metabolism. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 16, 867267. <https://doi.org/10.3389/fncel.2022.867267>
- Subroto, E., & Indarto, R. (2020). Bioactive monolaurin as an antimicrobial and its potential to improve the immune system and against COVID-19: A review. *Food Research*, 4(6), 2355–2365. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(6\).324](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(6).324)

Sunagawa, S., Coelho, L. P., Chaffron, S., Kultima, J. R., Labadie, K., Salazar, G., Djahanschiri, B., Zeller, G., Mende, D. R., Alberti, A., Cornejo-Castillo, F. M., Costea, P. I., Cruaud, C., d'Ovidio, F., Engelen, S., Ferrera, I., Gasol, J. M., Guidi, L., Hildebrand, F., ... Velayoudon, D. (2015). Structure and function of the global ocean microbiome. *Science*, *348*(6237), 1261359.

<https://doi.org/10.1126/science.1261359>

Świątkiewicz, M., Hanczakowska, E., Okoń, K., Kowalczyk, P., & Grela, E. R. (2020). Effect of Maternal Diet and Medium Chain Fatty Acids Supplementation for Piglets on Their Digestive Tract Development, Structure, and Chyme Acidity as Well as Performance and Health Status. *Animals*, *10*(5), 834. <https://doi.org/10.3390/ani10050834>

Tadijan, A., Vlašić, I., Vlaineć, J., Đikić, D., Oršolić, N., & Jazvinščak Jembrek, M. (2022). Intracellular Molecular Targets and Signaling Pathways Involved in Antioxidative and Neuroprotective Effects of Cannabinoids in Neurodegenerative Conditions. *Antioxidants*, *11*(10), 2049. <https://doi.org/10.3390/antiox11102049>

Tan, S. C., Chong, C. W., Yap, I. K. S., Thong, K. L., & Teh, C. S. J. (2020). Comparative assessment of faecal microbial composition and metabonome of swine, farmers and human control. *Scientific Reports*, *10*(1), 8997. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65891-4>

Tanasescu, R., & Constantinescu, C. S. (2010). Cannabinoids and the immune system: An overview. *Immunobiology*, *215*(8), 588–597. <https://doi.org/10.1016/j.imbio.2009.12.005>

Tatrakoon, W., Kongkeaw, A., Jaimasri, R., Wichasit, N., Suphatsaraphokin, N., & Satum, J. (2024). Productive Performance, Stress Response, and Immune Status of Nursery Pigs Fed a Diet Containing Hemp Seed Meal. *King Mongkut's Agricultural Journal*, *42*(2). <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.08.16.003>

Tatusov, R. L., Fedorova, N. D., Jackson, J. D., Jacobs, A. R., Kiryutin, B., Koonin, E. V., Krylov, D. M., Mazumder, R., Mekhedov, S. L., Nikolskaya, A. N., Rao, B. S., Smirnov, S., Sverdlov, A. V., Vasudevan, S., Wolf, Y. I., Yin, J. J., & Natale, D. A.

- (2003). The COG database: An updated version includes eukaryotes. *BMC Bioinformatics*, 4(1), 41. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-4-41>
- Thongkhuy, S., Chuaychu, Sh. B., Buranrak, P., Ruangjoy, P., Juthamanee, P., Nuntapaitoon, M., & Tummaruk, P. (2020). Effect of backfat thickness during late gestation on farrowing duration, piglet birth weight, colostrum yield, milk yield and reproductive performance of sows. *Livestock Science*, 234, 103983. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.103983>
- Thrall, M. A., Weiser, G., Campbell, T. W., & Wiley, J. (2022). *Veterinary Hematology, Clinical Chemistry, and Cytology: Vol. NJ* (3rd ed., p. 1056). Wiley-Blackwell: Hoboken.
- Tonon, R. V., Grosso, C. R. F., & Hubinger, M. D. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, 44(1), 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.018>
- Tóthová, C., Link, R., Kyzeková, P., & Nagy, O. (2021). Serum protein electrophoretic pattern in piglets during the early postnatal period. *Scientific Reports*, 11(1), 17539. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96957-6>
- Tymoszczyk, M. (2013). The effect of oil-soluble rosemary extract, sodium erythorbate, their mixture, and packaging method on the quality of Turkey meatballs. *Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 443–454. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0359-3>
- Upadhaya, S. D., & Kim, I. H. (2022). Maintenance of gut microbiome stability for optimum intestinal health in pigs – a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13(1), 140. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00790-4>
- Urvashi, Han, J.-H., Hong, M., Kwon, T.-H., Druelinger, M., Park, S.-H., Kinney, C. A., & Olejar, K. J. (2024). Thermo-chemical conversion kinetics of cannabinoid acids in hemp (*Cannabis sativa* L.) using pressurized liquid extraction. *Journal of Cannabis Research*, 6(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s42238-024-00243-x>
- Valizadehderakhshan, M., Shahbazi, A., Kazem-Rostami, M., Todd, M. S., Bhowmik, A., & Wang, L. (2021). Extraction of Cannabinoids from *Cannabis sativa* L.

- (Hemp)—Review. *Agriculture*, 11(5), 384.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11050384>
- Vaselabadi, S., Gharibzahedi, S. M. T., Greiner, R., Vale, J. M., Ovenseri, A. C., Rashidinejad, A., & Roohinejad, S. (2025). Advancements in Spray-Drying for the Microencapsulation of Fat-Soluble Vitamins: Stability, Bioavailability, and Applications. *Journal of Food Biochemistry*, 2025(1), 9974476.
<https://doi.org/10.1155/jfbc/9974476>
- Vasquez, R., Oh, J. K., Song, J. H., & Kang, D.-K. (2022). Gut microbiome-produced metabolites in pigs: A review on their biological functions and the influence of probiotics. *Journal of Animal Science and Technology*, 64(4), 671–695.
<https://doi.org/10.5187/jast.2022.e58>
- Villagómez-Estrada, S., Melo-Durán, D., Van Kuijk, S., Pérez, J. F., & Solà-Oriol, D. (2024). Specialized Feed-Additive Blends of Short- and Medium-Chain Fatty Acids Improve Sow and Pig Performance During Nursery and Post-Weaning Phase. *Animals*, 14(24), 3692. <https://doi.org/10.3390/ani14243692>
- Visković, J., Zheljaskov, V. D., Sikora, V., Noller, J., Latković, D., Ocamb, C. M., & Koren, A. (2023). Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Agronomy and Utilization: A Review. *Agronomy*, 13(3), 931.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13030931>
- Vondruskova, H., Slamova, R., Trckova, M., Zraly, Z., & Pavlik, I. (2010). Alternatives to antibiotic growth promoters in prevention of diarrhoea in weaned piglets: A review. *Veterinární Medicina*, 55(5), 199–224. <https://doi.org/10.17221/2998-VETMED>
- Walugembe, M., Nadiope, G., Stock, J. D., Stalder, K. J., Pezo, D., & Rothschild, M. F. (2014). Prediction of live body weight using various body measurements in Ugandan village pigs. *Livestock Research for Rural Development*, 25(5).
- Wang, C., Zhang, Q., Ji, C., Hu, Y., Yi, D., Wu, T., Wang, L., Zhao, D., & Hou, Y. (2024). Effects of monolaurin on intestinal barrier, blood biochemical profile, immunity and antioxidant function in porcine epidemic diarrhoea virus-infected piglets. *British Journal of Nutrition*, 131(2), 185–192.
<https://doi.org/10.1017/S0007114523001721>

- Wang, L., Madera, R., Li, Y., McVey, D. S., Drolet, B. S., & Shi, J. (2020). Recent Advances in the Diagnosis of Classical Swine Fever and Future Perspectives. *Pathogens*, 9(8), 658. <https://doi.org/10.3390/pathogens9080658>
- Wang, Q., Li, C., Qiao, Y., Hao, Y., Gong, Z., Wu, Y., Guo, X., & Liu, X. (2024). Improving physical stability of microalgae protein-based emulsions under acidic and neutral conditions via carboxymethyl chitosan complexation. *Food Chemistry: X*, 23, 101690. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101690>
- Wang, Q., Zhang, H., Han, Y., Cui, Y., & Han, X. (2023). Study on the relationships between the oil HLB value and emulsion stabilization. *RSC Advances*, 13(35), 24692–24698. <https://doi.org/10.1039/D3RA04592G>
- Wei, K., Yang, X., Zhao, H., Chen, H., & Bei, W. (2023). Effects of combined application of benzoic acid and 1-monolaurin on growth performance, nutrient digestibility, gut microbiome and inflammatory factor levels in weaned piglets. *Porcine Health Management*, 9(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s40813-023-00339-5>
- Wilk, I., Kernberger-Fischer, I., Gerritzen, M. A., Kongsted, H., & Schrader, L. (2021). *Review on euthanasia of suckling piglets on farm.*
- Wu, T., Lyu, Y., Li, X., Wu, M., Yu, K., Li, S., Ji, C., Zhang, Q., Zhang, Y., Zhao, D., Yi, D., & Hou, Y. (2021). Impact of N-Acetylcysteine on the Gut Microbiota in the Piglets Infected With Porcine Epidemic Diarrhea Virus. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 582338. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.582338>
- Xiao, T., Ma, X., Hu, H., Xiang, F., Zhang, X., Zheng, Y., Dong, H., Adhikari, B., Wang, Q., & Shi, A. (2025). Advances in emulsion stability: A review on mechanisms, role of emulsifiers, and applications in food. *Food Chemistry: X*, 29, 102792. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102792>
- Xue, W., Shen, X., & Wu, L. (2024). Microwave pretreatment of hemp seeds changes the flavor and quality of hemp seed oil. *Industrial Crops and Products*, 213, 118396. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118396>
- Yang, X., Li, S., Yan, J., Xia, J., Huang, L., Li, M., Ding, H., & Xu, L. (2020). Effect of different combinations of emulsifier and wall materials on physical properties of spray-

dried microencapsulated swida wilsoniana oil. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5(1), 44–50.

<https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.03.005>

Zakaria, Z., Muhamad, N. A. N., Rasdi, F. S., Bakar, C. A. A., & Anwar, N. Z. R. (2022). Microencapsulation of Sacha Inchi Oil using Spray Drying Method. *Bioscience Research*, 19(SI-1), 165–185.

Zentek, J., Buchheit-Renko, S., Ferrara, F., Vahjen, W., Van Kessel, A. G., & Pieper, R. (2011). Nutritional and physiological role of medium-chain triglycerides and medium-chain fatty acids in piglets. *Animal Health Research Reviews*, 12(1), 83–93. <https://doi.org/10.1017/S1466252311000089>

Zhang, Q., Yi, D., Ji, C., Wu, T., Wang, M., Guo, S., Wang, L., Zhao, D., & Hou, Y. (2022a). Monolaurin Confers a Protective Effect Against Porcine Epidemic Diarrhea Virus Infection in Piglets by Regulating the Interferon Pathway. *Frontiers in Immunology*, 12, 797476.

<https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.797476>

Zhang, Q., Yi, D., Ji, C., Wu, T., Wang, M., Guo, S., Wang, L., Zhao, D., & Hou, Y. (2022b). Monolaurin Confers a Protective Effect Against Porcine Epidemic Diarrhea Virus Infection in Piglets by Regulating the Interferon Pathway. *Frontiers in Immunology*, 12, 797476.

<https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.797476>

Zheng, Z., Tang, J., Hu, Y., & Zhang, W. (2022). Role of gut microbiota-derived signals in the regulation of gastrointestinal motility. *Frontiers in Medicine*, 9, 961703.

<https://doi.org/10.3389/fmed.2022.961703>



Table A1. Effects of birth weight stratification and oral administration of lauric acid-based medium-chain triglyceride emulsions, with or without phyto-cannabinoids, on growth performance, colostrum intake, and milk intake in suckling piglets. (Experiments 2.1)

Parameter	CON	EML ^A			EMPL ^A			Orthogonal contrast			
		L-EML ^B	H-EML ^B	L-EMPL ^B	H-EMPL ^B	SEM	CON vs EML vs EML	A	B	AxB	
Overall (<0.9 - > 1.36 kg)	109	160	166	164	181						
Birth weight (kg)	1.44 ^A	1.37AB	1.38 ^{AB}	1.28 ^{BC}	1.32 ^{BC}	0.011	0.002	0.001	0.003	0.376	0.587
Live born weight (kg)	1.55 ^A	1.48AB	1.47 ^{AB}	1.40 ^{BC}	1.45 ^{BC}	0.012	0.004	0.005	0.030	0.336	0.310
Colostrum intake (mL/piglet)	313.28 ^{AB}	309.24 ^{AB}	289.68 ^B	313.59 ^{AB}	334.53 ^A	4.014	0.932	0.007	0.005	0.928	0.021
Piglet weight at 5 days (kg)	1.99 ^A	1.85 ^{BC}	1.95 ^{AB}	1.76 ^C	1.95 ^{AB}	0.017	0.028	0.000	0.208	0.000	0.202
ADG at 5 days (g/day/piglet)	110.55 ^B	101.49 ^B	140.39 ^A	99.70 ^B	111.20 ^B	2.786	0.733	0.000	0.010	0.000	0.023
Milk intake at 5 days (mL/piglet)	517.48 ^B	495.58 ^B	603.14 ^A	468.26 ^B	516.46B	7.814	0.871	0.000	0.001	0.000	0.082

Note: Different superscript letters (a, b, c) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM, standard error of the mean; Factor A, comparison between fatty acid formulations (EML vs. EMLP); Factor B, comparison between dosage levels of oral administration of fatty acid emulsions in piglets; Factor A × B, interaction between fatty acid formulation and dosage level; EMF, fatty acid emulsion formula containing EML and EMLP; CON, control group; EML, emulsion of medium-chain fatty acids containing 40% lauric acid (Em-MCFA-L40); EMLP, emulsion of medium-chain fatty acids containing 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids (Em-MCFA-Phyto-L40).

Table A2. Effects of birth weight stratification and oral administration of lauric acid-based medium-chain triglyceride emulsions and phyto-cannabinoids, with or without monolaurin, on growth performance, colostrum intake, and milk intake in suckling piglets. (Experiment 2.2)

Parameter	CON	EMPL	Mono-EMPL	SEM	P-Value
Number of piglets (<0.9 kg)	5	14	12		
Birth weight (kg)	0.85	0.80	0.79	0.01	0.281
Live born weight (kg)	0.93	0.89	0.91	0.01	0.493
Colostrum intake (ml./piglet)	245.79	250.52	287.01	6.93	0.103
Piglet weight at 5 days (kg)	1.53 ^{ab}	1.30 ^b	1.59 ^a	0.05	0.015
ADG at 5 days (g/day/piglet)	72.50	88.43	113.75	7.40	0.279
Milk intake at 5 days (ml/piglet)	429.01	434.46	558.14	26.63	0.186
Number of piglets (0.91-1.05 kg)	6	16	18		
Birth weight (kg)	1.00	0.99	0.99	0.01	0.115
Live born weight (kg)	1.10	1.13	1.11	0.01	0.488
Colostrum intake (ml./piglet)	280.05	328.05	303.02	11.92	0.445
Piglet weight at 5 days (kg)	1.41 ^B	1.58 ^{AB}	1.80 ^A	0.06	0.001
ADG at 5 days (g/day/piglet)	95.83	100.40	111.66	7.12	0.764
Milk intake at 5 days (ml/piglet)	472.38	465.87	531.30	20.18	0.424
Number of piglets (1.06-1.20 kg)	13	29	28		
Birth weight (kg)	1.13	1.13	1.14	0.01	0.273
Live born weight (kg)	1.21 ^A	1.26 ^B	1.28 ^A	0.01	0.001
Colostrum intake (ml./piglet)	260.05 ^b	337.16 ^a	360.26 ^a	14.16	0.036
Piglet weight at 5 days (kg)	1.81	1.79	1.83	0.04	0.919
ADG at 5 days (g/day/piglet)	96.15	102.74	128.35	6.16	0.196
Milk intake at 5 days (ml/piglet)	479.75b	496.06 ^{ab}	625.79 ^a	22.59	0.048

Note: Different superscript letters (^{a, b, c}) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM, standard error of the mean; CTR, control group; EMPL, emulsion of medium fatty acids containing 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids (Em MCFA Phyto L40); Mono EMPL, emulsion of medium chain fatty acids containing 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids and monolaurin (Em MCFA Phyto Mono L40).

Table A2. (Continue)

Parameter	CON	EMPL	Mono-EMPL	SEM	P-Value
Number of piglets (1.21-1.35 kg)	14	22	23		
Birth weight (kg)	1.26 ^B	1.28 ^B	1.29 ^A	0.01	0.002
Live born weight (kg)	1.40 ^B	1.39 ^B	1.45 ^A	0.01	0.002
Colostrum intake (ml./piglet)	339.81	308.21	389.57	17.50	0.103
Piglet weight at 5 days (kg)	1.65	1.85	2.00	0.05	0.057
ADG at 5 days (g/day/piglet)	86.79	113.30	116.08	7.36	0.351
Milk intake at 5 days (ml/piglet)	460.08	521.84	550.59	19.29	0.257
Number of piglets (>1.36 kg)	52	37	66		
Birth weight (kg)	1.68 ^A	1.59 ^B	1.62 ^B	0.01	0.002
Live born weight (kg)	1.80 ^A	1.69 ^B	1.76 ^A	0.01	0.003
Colostrum intake (ml./piglet)	341.04 ^{ab}	315.20 ^b	367.04 ^a	6.39	0.013
Piglet weight at 5 days (kg)	2.10	2.08	2.18	0.03	0.123
ADG at 5 days (g/day/piglet)	99.95 ^B	137.72 ^A	136.59 ^A	4.45	0.002
Milk intake at 5 days (ml/piglet)	490.79 ^A	572.14 ^B	594.32 ^A	12.48	0.004
Overall piglet weight (<0.9 - >1.36 kg)	90	118	147		
Birth weight (kg)	1.18	1.16	1.17	0.07	0.569
Live born weight (kg)	1.29	1.27	1.30	0.08	0.484
Colostrum intake (ml./piglet)	293.35	307.83	336.56	10.72	0.064
Piglet weight at 5 days (kg)	1.70 ^B	1.72 ^B	1.88 ^A	0.07	0.046
ADG at 5 days (g/day/piglet)	90.24 ^C	108.52 ^B	121.29 ^A	4.76	0.001
Milk intake at 5 days (ml/piglet)	466.40 ^B	498.07 ^B	572.03 ^A	15.19	0.001

Note: Different superscript letters (^{a, b, c}) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM, standard error of the mean; CTR, control group; EMPL, emulsion of medium fatty acids containing 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids (Em MCFA Phyto L40); Mono EMPL, emulsion of medium chain fatty acids containing 40% lauric acid plus Phyto cannabinoids and monolaurin (Em MCFA Phyto Mono L40).

Table A3. Comparative growth performance, colostrum and milk intake of piglets with microencapsulated medium-chain fatty acid and Phyto cannabinoid emulsion supplementation according to birth weight category during the suckling period.

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-Value
WT1: < 0.99 nn					
Live born piglets (24 hr.)					
Birthweight newborn (kg)	0.76	0.81	0.82	0.14	0.240
Weight 24 hr. (kg)	0.84 ^b	1.08 ^a	1.07 ^a	0.15	0.000
Weight gain 24 hr. (g)	78.00 ^b	232.50 ^a	226.96 ^a	9.91	0.000
Colostrum intake (ml./piglet)	215.08 ^b	458.53 ^a	443.30 ^a	18.88	0.000
Piglet at 3 days postpartum					
Weight (kg)	1.38 ^b	2.03 ^a	2.06 ^a	0.72	0.007
ADG (g/day/piglet)	163.33 ^a	310.42 ^b	328.0 ^b	20.03	0.030
Milk intakes (ml./piglet)	625.11 ^a	1191.30 ^b	1360.86 ^b	85.02	0.018
Piglet at 14 days postpartum					
Weight (kg)	4.02	3.87	3.95	0.15	0.946
ADG (g/day/piglet)	246.15	211.26	218.62	11.38	0.709
Piglet at 21 days postpartum					
Weight (kg)	6.35	6.78	6.44	0.18	0.629
ADG (g/day/piglet)	264.29	269.96	253.90	8.38	0.669

Note: Different superscript letters (^a, ^b, ^c) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM refers to the standard error of the mean. CTR: Control group; MPL: Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids, which contain medium-chain fatty acids (MCFA), lauric acid, and hemp leaf extract. MPLM: Same as MPL but supplemented with monolaurin

Table A3. (Continue)

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-Value
WT2: 1.00 – 1.20 nn.					
Live born piglets (24 hr.)					
Birth weight newborn (kg)	1.13	1.11	1.13	0.01	0.415
Weight 24 hr. (kg)	1.24 ^b	1.33 ^a	1.39 ^a	0.01	0.000
Weight gain 24 hr. (g)	103.16 ^b	218.03 ^a	259.51 ^a	9.04	0.000
Colostrum intake (ml./piglet)	301.35 ^a	436.50 ^b	503.57 ^a	12.27	0.000
Piglet at 3 days postpartum					
Weight (kg)	1.77 ^b	2.33 ^a	2.55 ^a	0.04	0.000
ADG (g/day/piglet)	171.92 ^a	330.54 ^b	386.75 ^b	12.89	0.000
Milk intakes (ml./piglet)	702.51 ^a	1199.92 ^b	1657.66 ^a	58.27	0.000
Piglet at 14 days postpartum					
Weight (kg)	4.16	4.16	4.20	0.07	0.954
ADG (g/day/piglet)	222.77	216.66	216.75	5.30	0.897
Piglet at 21 days postpartum					
Weight (kg)	6.17	6.43	6.37	0.09	0.567
ADG (g/day/piglet)	233.13	242.52	237.34	4.41	0.708

Note: Different superscript letters (^a, ^b, ^c) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM refers to the standard error of the mean. CTR: Control group; MPL: Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids, which contain medium-chain fatty acids (MCFA), lauric acid, and hemp leaf extract. MPLM: Same as MPL but supplemented with monolaurin

Table A3. (Continue)

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-Value
WT3: 1.21 – 1.41 กก.					
Live born piglets (24 hr.)					
Birthweight newborn (kg)	1.34 ^{ab}	1.35 ^a	1.32 ^b	0.00	0.015
Weight 24 hr. (kg)	1.47 ^b	1.58 ^a	1.54 ^a	0.01	0.000
Weight gain 24 hr. (g)	136.90 ^b	226.43 ^a	219.1 ^{4a}	9.01	0.000
Colostrum intake (ml./piglet)	349.69 ^b	458.66 ^a	463.55 ^a	12.41	0.000
Piglet at 3 days postpartum					
Weight (kg)	1.82 ^b	2.56 ^a	2.73 ^a	0.05	0.000
ADG (g/day/piglet)	117.37 ^b	328.89 ^a	395.77 ^a	16.01	0.000
Milk intakes (ml./piglet)	477.55 ^b	1235.26 ^a	1758.65 ^a	73.15	0.000
Piglet at 14 days postpartum					
Weight (kg)	3.98 ^b	4.55 ^a	4.38 ^{ab}	0.08	0.020
ADG (g/day/piglet)	192.80	229.74	218.39	6.16	0.066
Piglet at 21 days postpartum					
Weight (kg)	6.23	6.74	6.57	0.08	0.077
ADG (g/day/piglet)	227.32	246.15	239.66	3.96	0.198

Note: Different superscript letters (^a, ^b, ^c) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM refers to the standard error of the mean. CTR: Control group; MPL: Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids, which contain medium-chain fatty acids (MCFA), lauric acid, and hemp leaf extract. MPLM: Same as MPL but supplemented with monolaurin

Table A3. (Continue)

Parameter	CTR	MPL	EPML	SEM	P-Value
WT4: > 1.42 กก.					
Live born piglets (24 hr.)					
Birth weight newborn (kg)	1.67 ^b	1.78 ^a	1.76 ^a	0.01	0.000
Weight 24 hr. (kg)	1.81 ^b	2.00 ^a	2.00 ^a	0.01	0.000
Weight gain 24 hr. (g)	135.34 ^b	219.07 ^a	234.63 ^a	5.17	0.000
Colostrum intake (ml./piglet)	370.28 ^b	479.11 ^a	511.79 ^a	7.18	0.000
Piglet at 3 days postpartum					
Weight (kg)	2.36 ^c	2.89 ^b	3.02 ^a	0.03	0.000
ADG (g/day/piglet)	185.99 ^c	296.90 ^b	342.42 ^a	13.49	0.000
Milk intakes (ml./piglet)	660.18 ^c	1156.27 ^b	1425.66 ^a	32.30	0.000

Note: Different superscript letters (^{a, b, c}) within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). SEM refers to the standard error of the mean. CTR: Control group; MPL: Microencapsulated powder of concentrated medium-chain fatty acids, which contain medium-chain fatty acids (MCFA), lauric acid, and hemp leaf extract. MPLM: Same as MPL but supplemented with monolaurin

Table A4. Quality assessment of dNA and PCR products from piglet fecal samples.

Sample Name	DNA Products		PCR Products	
	Con (ng/ul)	A260/A280	Con (ng/ul)	A260/A280
CTR.WT1.1	41.53	2.04	351.67	1.04
CTR.WT1.2	82.50	1.84	745.99	0.93
CTR.WT1.3	112.25	1.86	1066.87	0.92
CTR.WT1.4	156.14	1.88	1157.11	0.94
CTR.WT2.1	59.56	1.81	1191.49	0.94
CTR.WT2.2	92.63	1.83	1173.59	0.94
CTR.WT2.3	69.26	1.75	1044.37	0.93
CTR.WT2.4	120.55	1.82	1167.86	0.95
CTR.WT3.1	79.39	1.76	1030.75	0.94
CTR.WT3.2	87.59	1.73	1041.79	0.95
CTR.WT3.3	166.65	1.80	998.88	0.93
CTR.WT3.4	146.24	1.79	943.49	0.94
CTR.WT4.1	102.07	1.76	981.64	0.93
CTR.WT4.2	93.99	1.75	817.16	1.00
CTR.WT4.3	74.94	1.89	977.99	0.93
CTR.WT4.4	55.44	1.85	976.78	0.92
MPL.WT1.1	74.84	1.88	849.31	0.96
MPL.WT1.2	114.47	1.83	1042.70	0.92
MPL.WT1.3	112.11	1.83	1030.45	0.95
MPL.WT1.4	193.38	1.84	1287.74	0.94
MPL.WT2.1	172.99	1.82	926.78	0.97
MPL.WT2.2	225.19	1.81	1078.15	0.96
MPL.WT2.3	111.75	1.74	945.76	0.94
MPL.WT2.4	182.27	1.77	1043.72	0.92
MPL.WT3.1	156.91	1.74	993.19	0.94
MPL.WT3.2	147.70	1.74	1001.46	0.93
MPL.WT3.3	147.20	1.74	977.59	0.95

Table A4. (Continue)

Sample Name	DNA Products		PCR Products	
	Con (ng/ul)	A260/A280	Con (ng/ul)	A260/A280
MPL.WT3.4	103.61	1.68	829.91	0.96
MPL.WT4.1	104.14	1.68	1025.17	0.97
MPL.WT4.2	170.42	1.73	903.90	1.00
MPL.WT4.3	146.68	1.85	838.11	0.97
MPL.WT4.4	176.37	1.84	880.73	0.97
MPLM.WT1.1	104.79	1.82	1201.99	0.93
MPLM.WT1.2	50.19	1.83	968.07	0.95
MPLM.WT1.3	99.61	1.81	914.45	0.95
MPLM.WT1.4	81.69	1.85	826.33	1.01
MPLM.WT2.1	209.84	1.84	630.28	0.96
MPLM.WT2.2	148.36	1.82	645.15	0.96
MPLM.WT2.3	192.00	1.82	674.42	0.98
MPLM.WT2.4	119.11	1.79	659.52	0.98
MPLM.WT3.1	149.23	1.75	546.97	0.96
MPLM.WT3.2	194.57	1.77	627.88	0.96
MPLM.WT3.3	139.43	1.85	649.87	0.95
MPLM.WT3.4	85.63	1.91	491.26	0.98
MPLM.WT4.1	48.48	1.92	544.74	0.99
MPLM.WT4.2	53.86	1.95	574.61	0.99
MPLM.WT4.3	90.71	1.85	554.37	0.97
MPLM.WT4.4	87.12	1.84	625.08	0.97

Table A5. Alpha diversity indices of fecal microbiome in suckling pigs under different dietary treatments and birth weights.

Sample Name	chao1	dominance	observed features	pielou_e	shannon	Simpson
CTR.W1.1	458.917	0.066	442	0.606	5.325	0.934
CTR.W1.2	508.487	0.03	502	0.719	6.455	0.97
CTR.W1.3	426.650	0.031	419	0.714	6.218	0.969
CTR.W1.4	242.500	0.141	236	0.536	4.225	0.859
CTR.W2.1	556.927	0.073	549	0.663	6.030	0.927
CTR.W2.2	597.533	0.052	584	0.668	6.141	0.948
CTR.W2.3	397.000	0.054	387	0.635	5.461	0.946
CTR.W2.4	544.536	0.023	529	0.731	6.617	0.977
CTR.W3.1	237.000	0.067	234	0.611	4.808	0.933
CTR.W3.2	473.552	0.025	472	0.726	6.453	0.975
CTR.W3.3	558.714	0.022	548	0.733	6.672	0.978
CTR.W3.4	324.938	0.054	324	0.656	5.474	0.946
CTR.W4.1	432.435	0.061	416	0.663	5.767	0.939
CTR.W4.2	488.848	0.048	479	0.661	5.881	0.952
CTR.W4.3	705.714	0.023	698	0.722	6.822	0.977
CTR.W4.4	412.882	0.047	389	0.657	5.650	0.953
MPL.W1.1	488.000	0.056	472	0.649	5.768	0.944
MPL.W1.2	408.231	0.033	399	0.716	6.19	0.967
MPL.W1.3	427.474	0.037	409	0.693	6.008	0.963
MPL.W1.4	276.957	0.118	273	0.549	4.439	0.882
MPL.W2.1	734.156	0.008	724	0.835	7.933	0.992
MPL.W2.2	370.500	0.055	361	0.655	5.568	0.945
MPL.W2.3	404.913	0.038	386	0.681	5.853	0.962
MPL.W2.4	349.375	0.054	343	0.636	5.354	0.946

Table A5. (Continue)

Sample Name	chao1	dominance	observed features	pielou_e	shannon	Simpson
MPL.W3.1	509.500	0.049	493	0.651	5.827	0.951
MPL.W3.2	463.794	0.056	457	0.658	5.811	0.944
MPL.W3.3	673.061	0.034	651	0.717	6.704	0.966
MPL.W3.4	777.667	0.017	764	0.740	7.091	0.983
MPL.W4.1	529.500	0.029	518	0.719	6.487	0.971
MPL.W4.2	502.500	0.040	490	0.706	6.309	0.96
MPL.W4.3	526.778	0.028	513	0.718	6.464	0.972
MPL.W4.4	413.000	0.039	404	0.702	6.075	0.961
MPLM.W1.1	632.522	0.042	626	0.675	6.275	0.958
MPLM.W1.2	380.059	0.055	373	0.671	5.729	0.945
MPLM.W1.3	795.75	0.012	786	0.789	7.587	0.988
MPLM.W1.4	644.80	0.040	630	0.660	6.137	0.96
MPLM.W2.1	230.75	0.044	227	0.688	5.388	0.956
MPLM.W2.2	442.789	0.026	438	0.760	6.669	0.974
MPLM.W2.3	266.273	0.036	249	0.686	5.457	0.964
MPLM.W2.4	509.913	0.030	504	0.721	6.477	0.97
MPLM.W3.1	563.535	0.038	552	0.686	6.253	0.962
MPLM.W3.2	561.440	0.044	539	0.679	6.163	0.956
MPLM.W3.3	556.875	0.021	546	0.715	6.505	0.979
MPLM.W3.4	566.00	0.018	553	0.763	6.950	0.982
MPLM.W4.1	204.231	0.095	204	0.572	4.385	0.905
MPLM.W4.2	290.667	0.084	278	0.585	4.752	0.916
MPLM.W4.3	624.792	0.019	621	0.756	7.011	0.981
MPLM.W4.4	336.000	0.046	336	0.681	5.716	0.954

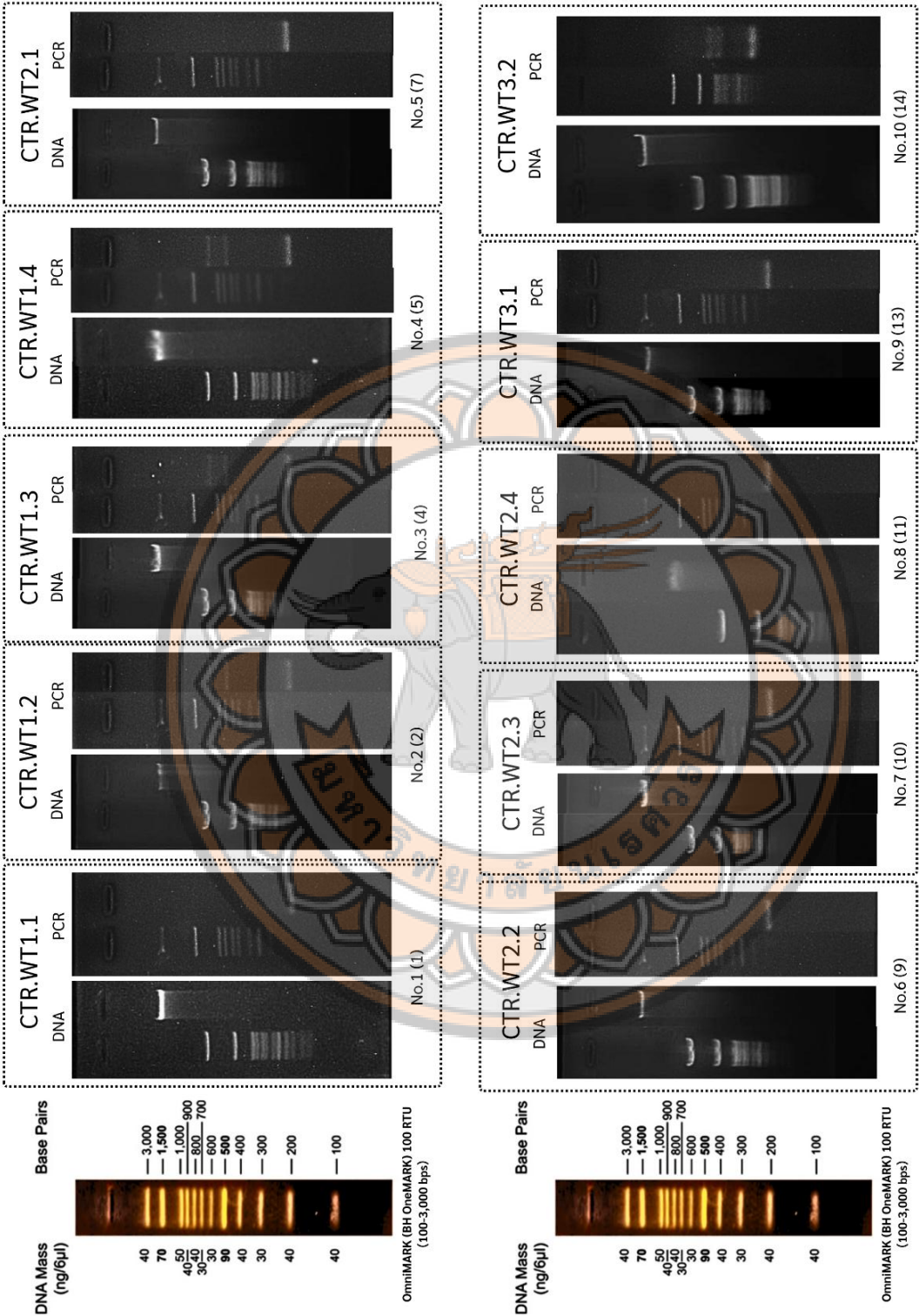


Figure A1. Agarose gel electrophoresis of DNA and PCR products from Piglet fecal samples.

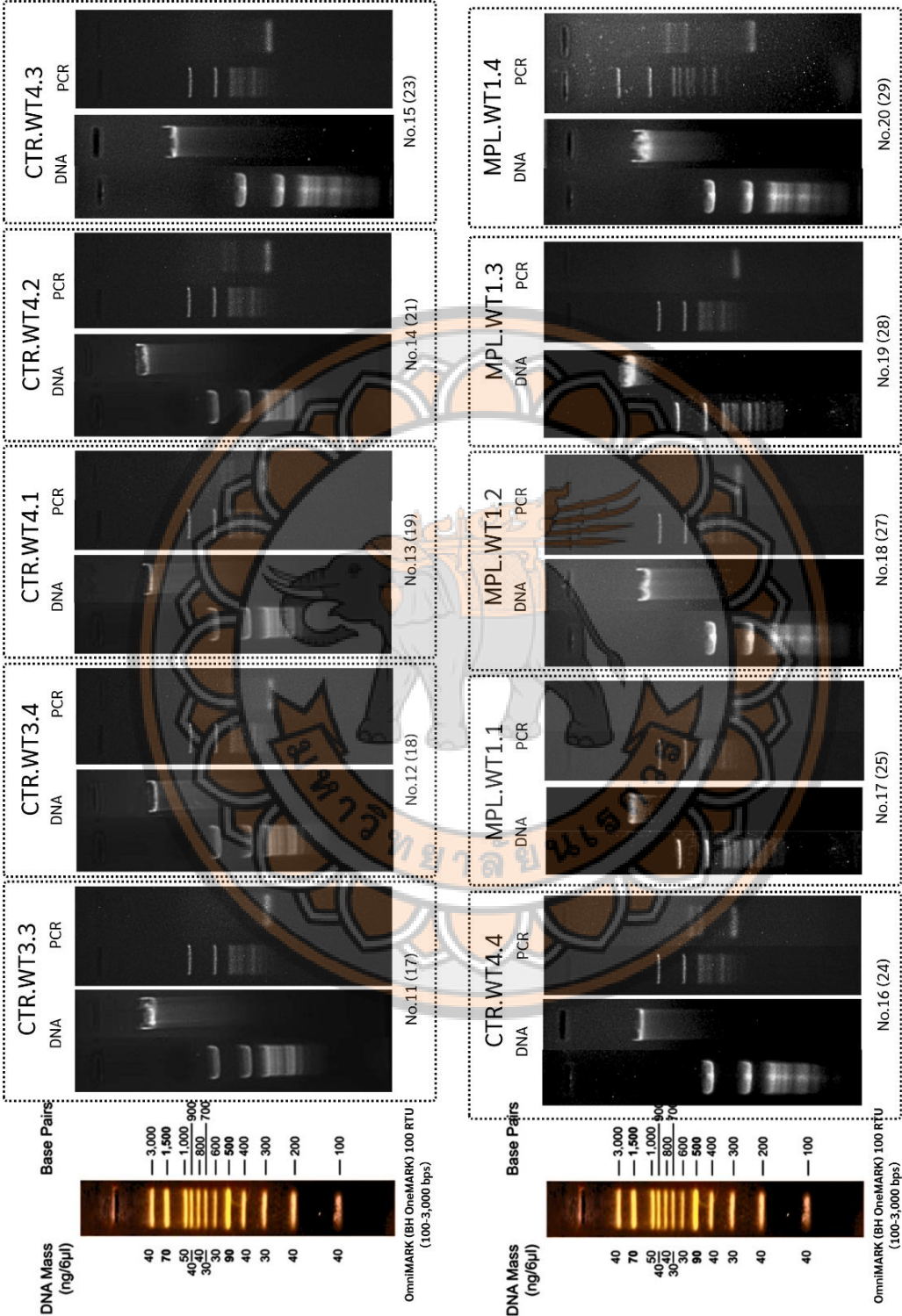


Figure A1. (Continue)

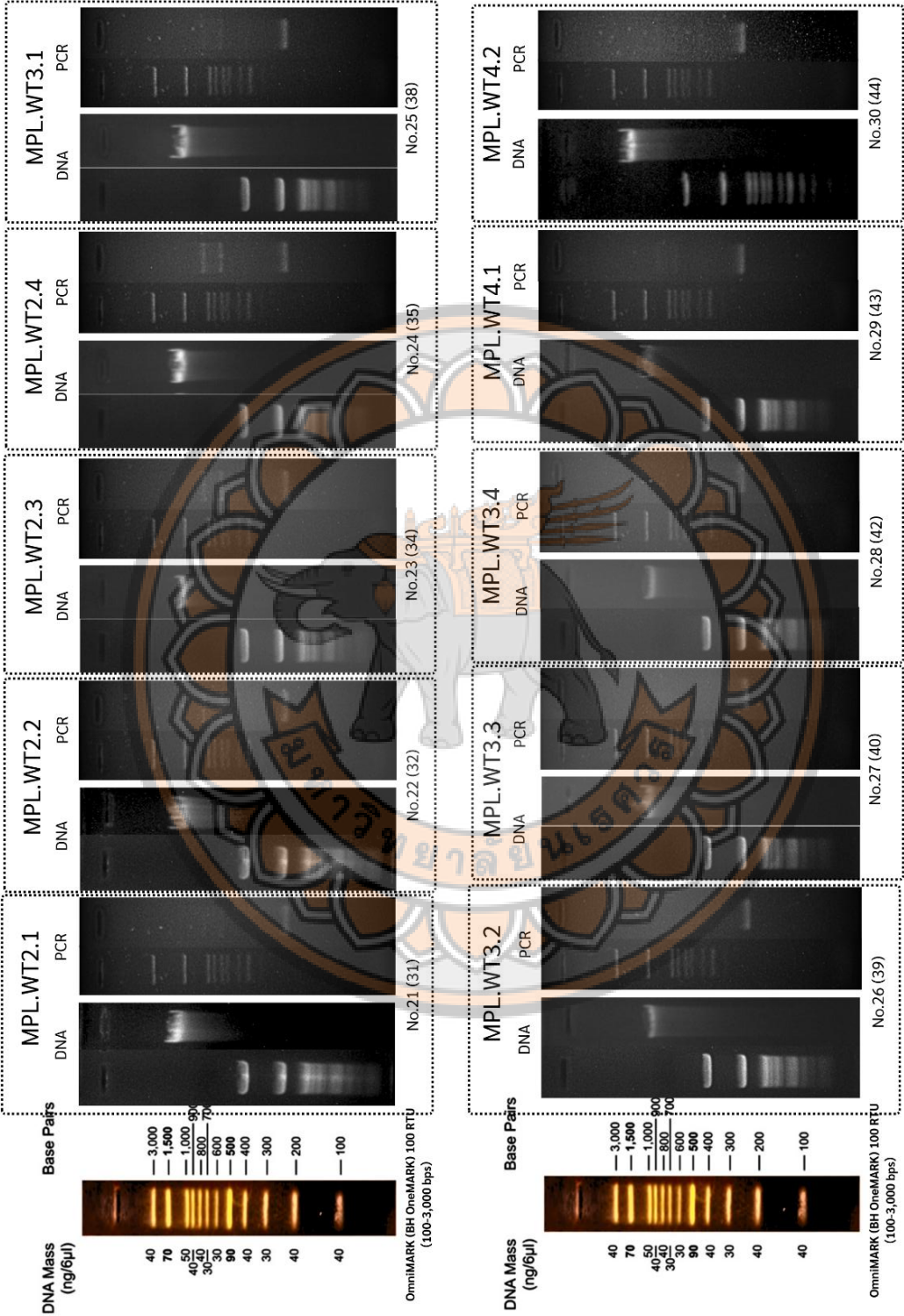


Figure A1. (Continue)

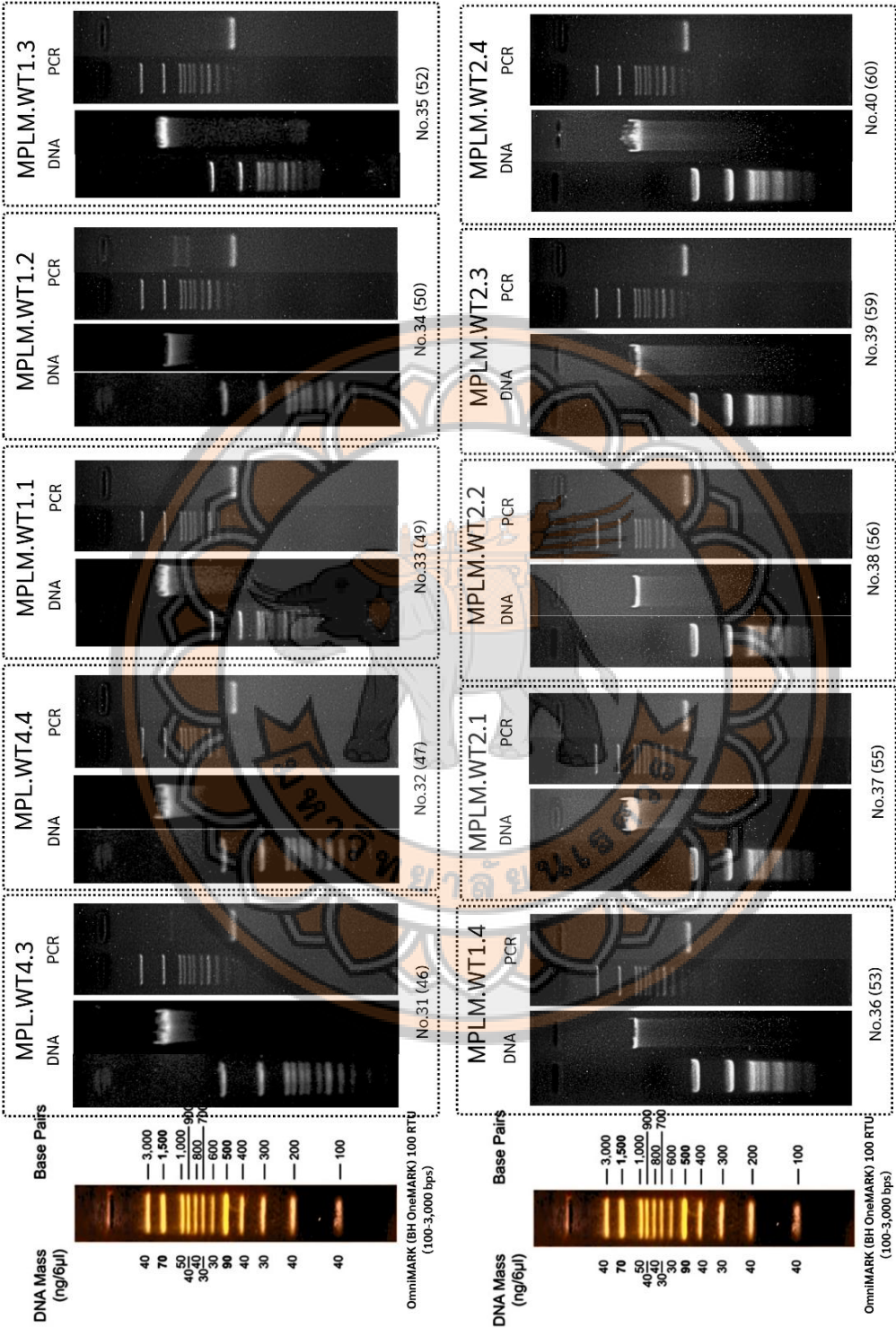


Figure A1. (Continue)

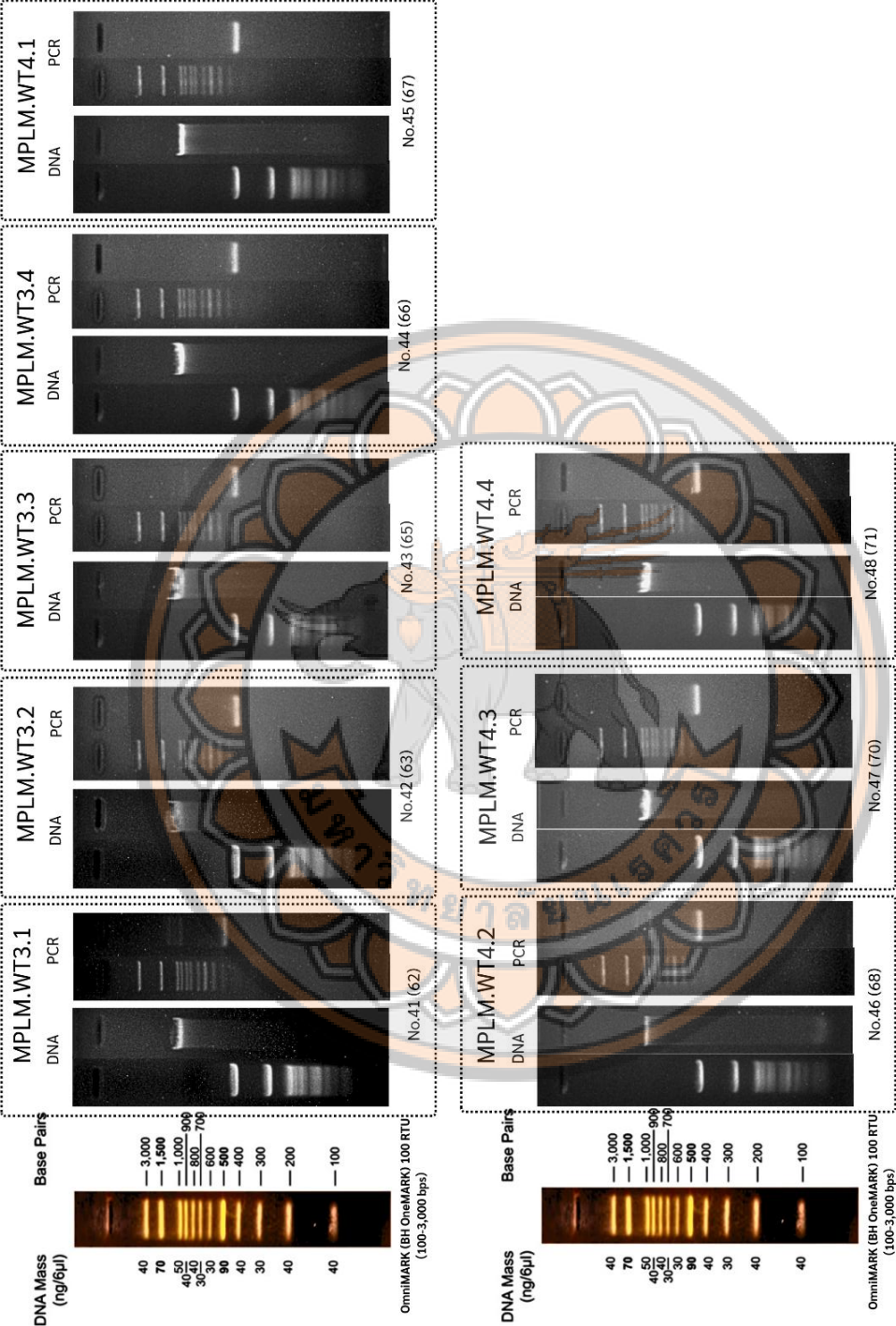


Figure A1. (Continue)



ข้อมูลการวิเคราะห์การทำนายฟังก์ชัน และการเปลี่ยนแปลงสารชีวเคมีในระบบทางเดิน

อาหารของลูกสุกร

1. การวิเคราะห์การทำนายฟังก์ชัน (Function Prediction) โดยใช้ heatmap ใช้รูปแบบการทำนาย COG, EC, KO, Pathways และ PFAM (Table A5) สามารถอธิบายตัวชี้วัดของการฟังก์ชันโดยใช้รูปแบบการทำนาย COG, EC, KO, Pathways และ PFAM ได้ดังนี้

1.1 COG (Clusters of Orthologous Groups) ใช้สำหรับการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชัน จุลินทรีย์ในลำไส้ลูกสุกรที่ประเมินผ่าน COG ต่าง ๆ ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม การสังเคราะห์โปรตีน และสุขภาพทางเดินอาหารโดยรวม (Table A6)

1.2 EC (Enzyme Commission) เป็นการจำแนกประเภทเอนไซม์ตามปฏิกิริยาเคมีที่เร่งในร่างกาย โดยแต่ละเอนไซม์จะมีหมายเลข EC ที่บ่งบอกกลุ่มของปฏิกิริยาที่เอนไซม์เร่ง โดยใช้รหัสที่จำแนกเอนไซม์ตามชนิดปฏิกิริยาที่เร่งปฏิกิริยาในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งสามารถออกเป็น 6 กลุ่ม เพื่อวิเคราะห์ จุดเด่น และบทบาทในเมแทบอลิซึมและปฏิกิริยาเคมีในระบบทางเดินอาหารลูกสุกร (Table A7)

1.3 KO (KEGG Orthology) คือ การอธิบายหน่วยฟังก์ชันที่ใช้ในฐานข้อมูล KEGG โดยจับกลุ่มยีนหรือโปรตีนที่เป็น orthologs มีหน้าที่เช่นเดียวกับกระบวนการเมแทบอลิซึม (pathways) โดยการวิเคราะห์ KO ช่วยเชื่อมโยงยีนกับผลของสารชีวภาพที่เฉพาะเจาะจงในกระบวนการเมแทบอลิซึม (Table A8) เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของฟังก์ชันของระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรของงานทดลองนี้ มีหลักการและการประยุกต์ใช้งานดังนี้

1.3.1 KEGG Orthology (KO) คือชุดของกลุ่มยีน หรือ โปรตีนที่มีหน้าที่ทางชีวภาพเหมือนกัน สามารถเชื่อมโยงการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารกับฟังก์ชันเมแทบอลิซึม และกระบวนการชีวภาพต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกาย

1.3.2 การวิเคราะห์ KO โดยใช้ heatmap แสดงให้เห็นความแตกต่างหรือความเปลี่ยนแปลงของความอุดมสมบูรณ์ของยีนที่เกี่ยวข้องกับฟังก์ชันของลำไส้ เช่น การเผาผลาญสารอินทรีย์ การสังเคราะห์วิตามินและกรดอะมิโน การสื่อสารของเซลล์ และการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม

1.3.3 ตัวอย่างการวิจัยพบว่าการจัดกลุ่มและเปรียบเทียบ KO ในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรช่วยระบุการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์และฟังก์ชันเมแทบอลิซึมที่แตกต่างกัน เช่น การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญกรดอินทรีย์ ช่วยสนับสนุนการวางแผนอาหารหรือการปรับปรุงสุขภาพลำไส้

1.3.4 Heatmap แสดงสีแต่ละช่องเพื่อแสดงความอุดมสมบูรณ์สัมพันธ์ของ KO เช่น สีเข้มแสดงการแสดงออกสูง จุดนี้ช่วยให้นักวิจัยมองเห็นการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันเฉพาะอย่างเป็นภาพรวมในกลุ่มทดลองต่าง ๆ

1.3.5 การประยุกต์ใช้ KO heatmap ในสุกรจะช่วยให้เข้าใจบทบาทของระบบจุลินทรีย์ในลำไส้ทั้งในด้านการเจริญเติบโต การดูดซึม และระบบภูมิคุ้มกัน รวมทั้งช่วยประเมินผลกระทบจากการเสริมอาหารหรือการบำบัดรักษา

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า Heatmap KO เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือสำคัญที่ช่วยแสดงภาพรวมของการทำงานทางชีวภาพในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรโดยอาศัยข้อมูลความแตกต่างของ KO เพื่อวิเคราะห์และตีความการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันของไมโครไบโอมในลำไส้ ซึ่งข้อมูลนี้เชื่อมโยงกับสุขภาพและสมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกร ในเชิงปฏิบัติจะมีการตั้งรหัส KO ทุกรหัส (เช่น K00001-K99999) จะบอกว่า “ผลรวม” ของ จุลินทรีย์ในลำไส้แต่ละตัวอย่าง มีศักยภาพในกระบวนการหรือปฏิกิริยาตามรายละเอียดดังนี้

1.4 Heatmap KEGG Pathways คือ การอธิบายการทำงานของระบบเมแทบอลิซึม หรือการเปลี่ยนแปลงของสารชีวเคมีที่แสดงการเชื่อมโยงของปฏิกิริยาและโปรตีนต่าง ๆ ซึ่งใช้ข้อมูลรหัส KEGG (Kyoto encyclopedia of genes and genomes) ประมวลผลร่วมกับข้อมูลจาก KO หรือ EC มาประเมินร่วมกัน (Table A9)

1.4.1 KEGG Pathways คือ แผนที่เส้นทางเมแทบอลิซึมและปฏิกิริยาทางชีวภาพที่แสดงการเชื่อมโยงของยีนและโปรตีนในกระบวนการทางชีวภาพต่าง ๆ

1.4.2 Heatmap KEGG Pathways แสดงระดับความอุดมสมบูรณ์หรือการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเส้นทางเมแทบอลิซึมเหล่านั้นในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

1.4.3 การวิเคราะห์ Heatmap นี้ช่วยให้เห็นภาพรวมว่าฟังก์ชันเมแทบอลิซึมใดในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรมีการเปลี่ยนแปลง เช่น การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน การสังเคราะห์สารอาหาร หรือการตอบสนองด้านภูมิคุ้มกัน โดยตัวอย่างงานวิจัยใช้ heatmap KEGG Pathways เปรียบเทียบกลุ่มลูกสุกรที่ได้รับอาหารเสริม สารกระตุ้น หรือมีสุขภาพแตกต่างกัน พบว่าชี้ให้เห็นเส้นทางเมแทบอลิซึมที่ถูกกระตุ้นหรือลดลงอย่างชัดเจน อีกทั้งสีใน heatmap จะบ่งบอกระดับการทำงานของแต่ละเส้นทาง (เข้ม = สูง และ จาง = ต่ำ) ทั้งนี้ช่วยให้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงสุขภาพลำไส้ และการเจริญเติบโตของลูกสุกรมาศึกษาต่อการประเมินนี้ช่วยในการวางแผนการปรับสูตรอาหารหรือการจัดการสุขภาพที่ตรงกับกลไกทางชีวภาพของระบบทางเดินอาหาร โดยสามารถสรุปได้ว่า Heatmap KEGG Pathways เป็นเครื่องมือแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับฟังก์ชันเมแทบอลิซึมของระบบทางเดินอาหารลูกสุกรจากข้อมูลจีโนมหรือไมโครไบโอม

1.5 Heatmap PFAM (Heatmap Protein Families)

1.5.1 PFAM คือ ฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่รวบรวมกลุ่มรหัสโปรตีน (protein families) และโดเมนโปรตีน ซึ่งแต่ละครอบครัวจะถูกนิยามโดยการจัดเรียงลำดับโปรตีนหลายแบบ (multiple sequence alignments) และโมเดลคาดการณ์แบบซ่อน (profile hidden Markov models - HMMs) ใช้สำหรับการวิเคราะห์ และจำแนกโปรตีนในจีโนมและเมตาจีโนมต่าง ๆ

1.5.2 Heatmap PFAM คือ การแสดงผลในรูปแบบภาพเชิงสี (heatmap) ที่ใช้วิเคราะห์ และแสดงระดับความอุดมสมบูรณ์หรือการแสดงออกของโปรตีนแต่ละฟังก์ชันในกลุ่มตัวอย่าง ผ่านฐานข้อมูล PFAM จะช่วยให้นักวิจัยเห็นภาพรวมของการกระจายตัว และการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนฟังก์ชันต่าง ๆ ในจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร โดยสามารถเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่าง เช่น ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยการใส่สีเข้ม-จาง ของ Heatmap PFAM แสดงระดับการทำงานหรือความอุดมสมบูรณ์ของแต่ละโดเมนโปรตีน ซึ่งช่วยให้เข้าใจบทบาทและการปรับตัวของระบบชีวภาพในระดับโมเลกุล เช่น การย่อยอาหาร การขนส่งโมเลกุล หรือการตอบสนองต่อความเครียด เป็นต้น (Table A10)

จากการแสดงผลด้วย heatmap จะนำข้อมูลความอุดมสมบูรณ์ (abundance) หรือค่าความน่าจะเป็นของฟังก์ชันแต่ละประเภทมาแสดงในรูปแบบสี เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของฟังก์ชันระหว่างตัวอย่าง หรือกลุ่มข้อมูลจากแต่ละองค์ประกอบมีบทบาทและฐานข้อมูลที่แตกต่างกัน แต่ร่วมกันช่วยทำนายหน้าที่ของยีนและโปรตีนในข้อมูลเมตาจีโนมหรือจีโนมที่วิเคราะห์ โดยการใช้ heatmap แสดงความแตกต่างของหน้าที่เหล่านั้นในระดับต่าง ๆ เช่น หน้าที่โดยรวม (COG), งานของเอนไซม์ (EC), ฟังก์ชันเฉพาะทาง (KO), กระบวนการทางชีวภาพ (Pathways) และโดเมนโปรตีน (PFAM)

Table A6. Databases for microbial function prediction by heatmap analysis (COG, EC, KO, Pathways and PFAM).

ฐานข้อมูล	ระดับการวิเคราะห์	จุดเด่น	เหมาะกับการวิเคราะห์แบบใดใน microbiome
COG	กลุ่มยีนร่วม (functional clusters)	การแบ่งกลุ่มยีนตามกลไกการทำงาน	วิเคราะห์ฟังก์ชันยีนกว้าง ๆ
EC	เอนไซม์และปฏิกิริยาเคมี	การจำแนกเอนไซม์ตามประเภทการทำงาน	วิเคราะห์เมแทบอลิซึมและปฏิกิริยาเคมี

ฐานข้อมูล	ระดับการวิเคราะห์	จุดเด่น	เหมาะกับการวิเคราะห์แบบใดใน microbiome
KO (KEGG Orthology)	ฟังก์ชันยีนและ pathway	เชื่อมโยงยีนกับระบบเส้นทางเมแทบอลิซึม	วิเคราะห์ pathway เชิงระบบ
Pathways (KEGG)	Pathway ระบบชีวภาพ	แสดงเส้นทางเมแทบอลิซึมและ procesamiento ชีวภาพ	วิเคราะห์การทำงานของระบบนิเวศ microbiome อย่างครบวงจร
PFAM	โดเมนโปรตีนและครอบครัวโปรตีน	วิเคราะห์ระดับโปรตีนและโครงสร้าง	วิเคราะห์โครงสร้างโปรตีนและฟังก์ชันเฉพาะ

Table A7 Classification and functional overview of COG (clusters of orthologous groups) classes in piglet gastrointestinal tract.

รหัส COG	หมวดหมู่/ฟังก์ชัน COG	ระดับการวิเคราะห์	จุดเด่นฟังก์ชันทางชีวภาพ	การวิเคราะห์เมแทบอลิซึมและปฏิกิริยาเคมี
COG1476, COG1028	Translation, ribosomal structure, biogenesis (J)	การสร้างโปรตีนและไรโบโซม	สร้างโปรตีนและโครงสร้างที่จำเป็นในเซลล์	ส่งเสริมการสังเคราะห์โปรตีนและเอนไซม์เพื่อย่อย/ป้องกันโรคในลำไส้
COG5046, COG1396	Amino acid transport and metabolism (E)	การเมแทบอลิซึม/การลำเลียงกรดอะมิโน	ดูดซึมและย่อยกรดอะมิโน	สนับสนุนแหล่งพลังงานและสารตั้งต้นสำคัญสำหรับเซลล์และมีผลต่อสุขภาพลำไส้
COG5524, COG5564	Carbohydrate transport and metabolism (G)	เมแทบอลิซึมและลำเลียงคาร์โบไฮเดรต	ย่อยและดูดซึมน้ำตาลเส้นใยอาหาร	สร้างพลังงาน สนับสนุนการเจริญจุลินทรีย์ดี ส่งเสริมคุณภาพสุขภาพทางเดินอาหาร
COG1695, COG0493	Energy production and conversion (C)	กระบวนการผลิตและแปลงพลังงาน	จัดการ/เปลี่ยนแปลงพลังงานในเซลล์	ควบคุมการจัดการสารอาหารและพลังงานเพื่อประสิทธิภาพระบบทางเดินอาหาร
COG3279, COG3642	Cell wall/membrane/envelope biogenesis (M)	การสร้างเยื่อหุ้มเซลล์/ผนังเซลล์	ป้องกันสิ่งแปลกปลอมและควบคุมสมดุล	เพิ่มความแข็งแรงของเซลล์และป้องกันการรุกรานของเชื้อโรค
COG4328, COG1961	Post-translational modification, protein turnover, chaperones (O)	ปรับเปลี่ยนโปรตีนหลังการแปล/จัดการโปรตีน	ซ่อมแซมและกำจัดโปรตีนผิดปกติ	สนับสนุนการฟื้นตัวเซลล์ เสริมความทนทานต่อ stress ในลำไส้

รหัส COG	หมวดหมู่/ฟังก์ชัน COG	ระดับการวิเคราะห์	จุดเด่นฟังก์ชันทางชีวภาพ	การวิเคราะห์เมแทบอลิซึมและปฏิกิริยาเคมี
COG1864, COG1475	Signal transduction mechanisms (T)	กลไกการส่งสัญญาณ/ปรับตัวเซลล์และจุลินทรีย์	ตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมและสารกระตุ้น	รักษาสสมดุลการสื่อสารและปรับไมโครไบโอมในสุขภาพลำไส้
COG0493, COG1695	Transcription (K)	การแสดงออกของยีน	ควบคุมโปรแกรมยีนที่เกี่ยวข้องกับการย่อย/ภูมิคุ้มกัน	ปรับรูปแบบการทำงานของเซลล์กับสิ่งแวดล้อมในระบบทางเดินอาหาร
COG3279, COG1396	Replication, recombination and repair (L)	การจำลอง/ซ่อมแซม DNA	ปกป้องความมั่นคงของสารพันธุกรรม	สนับสนุนสุขภาพเซลล์และความทนทานต่อความเสียหายจาก stress/เชื้อโรค

Table A8 Classification and functional overview of enzyme commission (EC) classes in piglet gastrointestinal tract.

เอนไซม์ (EC)	ระดับการวิเคราะห์	จุดเด่นฟังก์ชันทางชีวภาพ	การวิเคราะห์เมแทบอลิซึมและปฏิกิริยาเคมี
Oxidoreductases (EC 1)	การตอบสนองต่อความเครียดออกซิเดชันและการหมักในระบบทางเดินอาหาร	เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction reactions)	มีบทบาทในกระบวนการหมักและการตอบสนองความเครียดออกซิเดชันในลำไส้
Transferases (EC 2)	การส่งผ่านกลุ่มเคมีระหว่างโมเลกุล	ส่งผ่านกลุ่มเคมี เช่น glycosyl transferase ในการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต	ส่งผลโดยตรงต่อการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและการสร้างสารชีวภาพบางชนิด
Hydrolases (EC 3)	การย่อยสลายสารประกอบใหญ่ด้วยน้ำ	เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เช่น ย่อยสลายโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต	ช่วยย่อยสลายสารอาหารใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็กลงเพื่อการดูดซึม
Lyases (EC 4)	การตัดพันธะเคมีโดยไม่ใช้น้ำหรือตัวรับอิเล็กตรอน	ตัดพันธะ C-C, C-N, C-O โดยไม่ใช้ตัวกลางน้ำหรือรีดอกซ์	มีบทบาทในการแตกพันธะเคมีและการสร้างสารชีวภาพเฉพาะ
Isomerases (EC 5)	การจัดเรียงและเปลี่ยนรูปโครงสร้างโมเลกุล	จัดเรียงโครงสร้างภายในโมเลกุลเดียวกัน	เร่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง

เอนไซม์ (EC)	ระดับการวิเคราะห์	จุดเด่นฟังก์ชันทางชีวภาพ	การวิเคราะห์เมแทบอลิซึมและปฏิกิริยาเคมี
			โมเลกุลเพื่อให้สามารถเข้าสู่ปฏิกิริยาต่อไป
Ligases (EC 6)	การรวมตัวของโมเลกุลพร้อมใช้พลังงาน ATP	รวมโมเลกุลโดยใช้พลังงานจาก ATP	กระตุ้นการรวมตัวของสารชีวโมเลกุลหลายชนิด เช่น การเชื่อมต่อ DNA หรือ โปรตีน

Table A9 KEGG Orthology (KO) and key functional changes in the gastrointestinal system of suckling pigs.

รหัส KO	ฟังก์ชันหลัก	pathway ที่เกี่ยวข้อง	ความหมายทางสุขภาพ
K00847	Fructokinase	Glycolysis, sugar metabolism	ส่งเสริมการใช้ fructose และพลังงาน
K02003	ABC transporter	Energy, drug resistance	ดูดซึมสารอาหาร และการปรับตัว
K04487	Cysteine desulfurized	Sulfur metabolism	กระตุ้นการสร้าง amino acids และ การเจริญเติบโต
K00605	Butyrate kinase	Butyrate production	สุขภาพของระบบทางเดินอาหาร และกิจกรรมการต้านอักเสบ
K01057	Lipase	Fat digestion	การใช้ และการแตกตัวของกรดไขมันในระบบทางเดินอาหาร
K00399	SOD/methanogenic enzyme	defense, methanogenesis	กิจกรรมสภาวะเครียดออกซิเดชั่น และควบคุมการสูญเสียพลังงาน

Table A10 KEGG Pathways heatmap summary for piglet gastrointestinal function: pathway IDs, functions, and biological roles.

KEGG Pathway ID	หมวดหมู่ KEGG Pathway	ฟังก์ชันหลัก	บทบาทในระบบทางเดิน อาหารลูกสุกร
PWY-5659	Polysaccharide biosynthesis	การสังเคราะห์พอลิ แซ็กคาไรด์	เสริมสร้างเยื่อบุลำไส้ เพิ่ม ความคงตัวของไมโคร ไบโอม
PPPGPPMET-PWY	guanosine tetraphosphate และ Penta phosphate	การควบคุมการ ตอบสนองต่อ ความเครียด	ปรับตัวและฟื้นฟูลำไส้ใน สภาวะเครียด
NAGLIPASYN-PWY	N-acetylglucosamine lipid synthesis	การสังเคราะห์ไขมัน ประเภทกลูโคซามีน	การสร้างผนังเซลล์ จุลินทรีย์มีความแข็งแรง มากขึ้น
PWY-1296	Oligosaccharide synthesis	การสังเคราะห์โอลิ โกแซ็กคาไรด์	ผลิตเส้นใยหมักง่าย เป็น อาหารของจุลินทรีย์ใน ลำไส้
OLIGOSYN-PWY	Oligosaccharide biosynthesis	การสร้างเส้นใยอาหาร (โอลิโกแซ็กคาไรด์)	ช่วยส่งเสริมไมโครไบโอมดี ในลำไส้
PWY-421	Rhamnose catabolism	การย่อยรามโนส	เพิ่มการย่อยน้ำตาล ทางเลือกและความ หลากหลายเมแทบอลิซึม
PWY0-166	L-fucose utilization	การใช้ประโยชน์แอล-ฟิว โคส	สนับสนุนการหมัก ได้ SCFA ซึ่งเป็นสารอาหาร ของจุลินทรีย์
PWY-7187	Beta-glucan degradation	การย่อยเบต้า-กลูแคน	ช่วยย่อยใยอาหารและ เสริมสุขภาพเยื่อบุลำไส้
RHAMCAT-PWY	Rhamnose degradation	การสลายรามโนส	ส่งเสริมการหมักและเพิ่ม SCFA ในลำไส้
NONOXIPENT-PWY	Non-oxidative pentose phosphate pathway	สังเคราะห์ไรโบส/นิวคลี โอไทด์	เกี่ยวข้องกับการผลิต พลังงานและสารพันธุกรรม
DAPLYSINESYN-PWY	Diaminopimelate/lysine synthesis	การสังเคราะห์กรดอะมิ โนไลซีนและไดอะมิโนไพ มิเลต	เสริมการสร้างโปรตีนและ การเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์

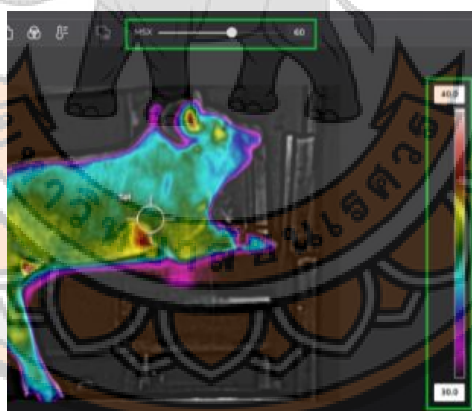
KEGG Pathway ID	หมวดหมู่ KEGG Pathway	ฟังก์ชันหลัก	บทบาทในระบบทางเดินอาหารลูกสุกร
ARGSVIN-PWY	Arginine/ornithine metabolism	เมแทบอลิซึมอาร์จินีน/ออร์นิทีน	วงจรไนโตรเจน ป้องกันความเครียดออกซิเดชัน
BIOTIN-BIOSYNTHESIS-PWY	Biotin biosynthesis	การสังเคราะห์ไบโอติน (วิตามิน B7)	ผลิตวิตามินสำคัญให้จุลินทรีย์เจ้าบ้าน
FASYN-INITIAL-PWY	Fatty acid synthesis (initiation)	การเริ่มสังเคราะห์กรดไขมัน	สร้างเมมเบรนและแหล่งพลังงานของเซลล์
GLUCOSE1PMETAB-PWY	Glucose-1-phosphate metabolism	เมแทบอลิซึมกลูโคส-1-ฟอสเฟต	กระบวนการหลักของเมแทบอลิซึมคาร์โบไฮเดรตในลำไส้

Table A11 Heatmap analysis of PFAM markers associated with gastrointestinal functional changes in Piglets.

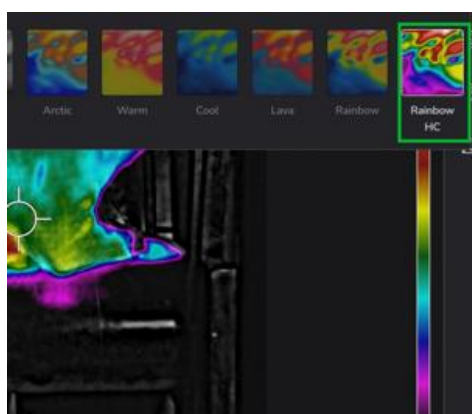
รหัส PFAM	หมวดหมู่ PFAM	ฟังก์ชันหลัก	บทบาทในระบบทางเดินอาหารลูกสุกร
PF00150, PF00703	Glycoside Hydrolases	ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต	ช่วยย่อยเส้นใยอาหารและน้ำตาล
PF00005, PF00497	ABC Transporters	การลำเลียงสารผ่านเยื่อเมมเบรน	ขนส่งสารอาหารและโมเลกุลข้ามเซลล์
PF00949, PF00112	Peptidases	ย่อยสลายโปรตีน	สลายโปรตีนเป็นกรดอะมิโนสำหรับการดูดซึม
PF00076, PF00013	DNA/RNA binding domains	การควบคุมการแสดงออกของยีน	ควบคุมการตอบสนองและการปรับตัวของจุลินทรีย์ในลำไส้
PF00669, PF00420	Flagellin and motility proteins	การเคลื่อนที่ของจุลินทรีย์	สนับสนุนการสร้างอาณาเขตและปฏิสัมพันธ์จุลินทรีย์
PF01589, PF04011	Stress response proteins	การป้องกันความเครียด	ช่วยจุลินทรีย์ทนต่อสภาพแวดล้อมลำไส้ที่เปลี่ยนแปลง

ขั้นตอนการประมวลผลภาพความร้อนด้วยกล้องเทอร์โมกราฟี FLIR C5 สำหรับลูกสุกร

กำหนดถ่ายภาพรังสีความร้อนบนร่างกายใน 5 ช่วงเวลาต่าง ๆ ด้วยกล้อง FLIR C5 โดยถ่ายภาพใน 7 ตำแหน่งสำคัญ ได้แก่ ตา (Eye 12 hour, 24 hour, 3 day, 14 day, 21 day) หู (Ear 12 hour, 24 hour, 3 day, 14 day, 21 day) หัวใจ (Heart 12 hour, 24 hour, 3 day, 14 day, 21 day) ลำตัว (Body 12 hour, 24 hour, 3 day, 14 day, 21 day) ลำไส้ (Digestive system 12 hour, 24 hour, 3 day, 14 day, 21 day) สะโพก (Hip 12 hour, 24 hour, 3 day, 14 day, 21 day) และ บริเวณรอบลำตัว (Body area ประกอบด้วย Max temperature, Min temperature และ Average temperature 12 hour, 24 hour, 3 day, 14 day, 21 day) โดยค่าแผ่รังสีความร้อนหรือค่าความคลาดเคลื่อนที่ 0.97 หรือ 97% วิเคราะห์ค่าความร้อนของผิวหนังอย่างละเอียดผ่านซอฟต์แวร์ Thermal Imaging Image Analysis Software เพื่อหาความสัมพันธ์กับสุขภาพ และ ปฏิบัติการเรียกดอกซีเตชันโดยใช้โปรแกรม FLIR ignite วิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิของลูกสุกรดังภาพ



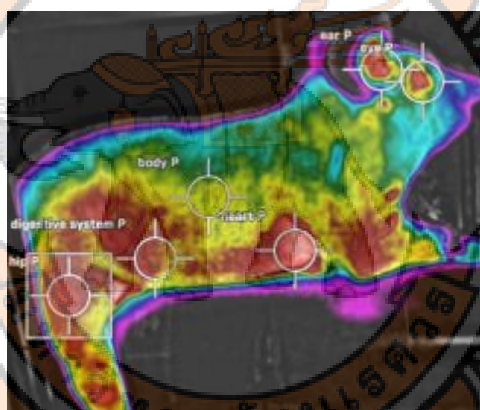
ขั้นตอนที่ 1 ปรับขอบเขตภาพตามความต้องการ และ ปรับค่า MSX ให้ได้ 60 และ ปรับช่วงอุณหภูมิ 40-30 องศาเซลเซียส



ขั้นตอนที่ 2 ปรับโทนสีอินฟราเรด แบบ rainbow



ขั้นตอนที่ 3 ปรับค่า color equalization เป็น histogram equalization



ขั้นตอนที่ 4 กำหนดตำแหน่งอุณหภูมิ 5 พื้นที่

ตำแหน่งที่ 1) ตา (eye)

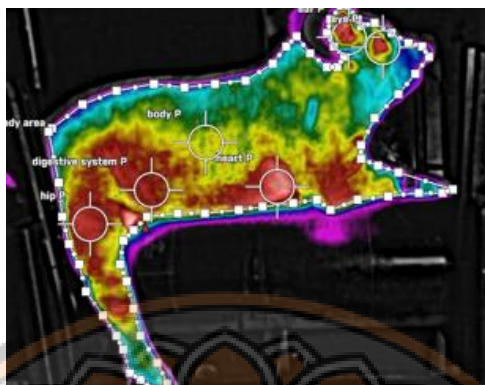
ตำแหน่งที่ 2) หู (ear)

ตำแหน่งที่ 3) หัวใจ (heart)

ตำแหน่งที่ 4) ลำตัว (body)

ตำแหน่งที่ 5) คือ ระบบทางเดินอาหาร (digestive system area)

ตำแหน่งที่ 6 คือ สะโพก (hip)



ขั้นตอนที่ 5 ใช้คำสั่ง polylin แล้วลากเส้นรอบสีแดง ให้เส้นบรรจบกัน กำหนด body area Max , Min และ AVG



ขั้นตอนที่ 6 กด save เพื่อบันทึกการตั้งค่ากำหนดต่างๆ

Optimization of phytocannabinoid extraction from hemp (*Cannabis sativa* L.) with decarboxylation-based crude palm kernel oil and its potential as an energy supplement product for suckling piglets

Kongkeaw, A., Charoensook, R., Incharoen, T., Hwanhlem, N. and Tartrakoon, W.*

Division of Animal Science and Feed Technology, Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand.

Kongkeaw, A., Charoensook, R., Incharoen, T., Hwanhlem, N. and Tartrakoon, W. (2025). Optimization of phytocannabinoid extraction from hemp (*Cannabis sativa* L.) with decarboxylation-based crude palm kernel oil and its potential as an energy supplement product for suckling piglets. International Journal of Agricultural Technology 21(3):903-926.

Abstract This study investigated the extraction of phytocannabinoids from *Cannabis sativa* L. (hemp) using medium-chain triglyceride (MCT) oil to evaluate their potential as energy supplements for suckling piglets and MCT emulsion formula with phytocannabinoids and highly concentrated lauric acid (EMPL prototype product). The most effective conditions were found at 12% hemp leaves in CPKO with a 6-hour heating period, resulting in the highest TPC (57.38 mg GAE/g DW), and antioxidant activities (DPPH: 34.43%, ABTS: 64.33%, and FRAP: 53.18%) ($P<0.01$). The obtained extract contained 0.016% cannabidiol (CBD), 0.015% cannabidiolic acid (CBDA), 0.029% total cannabidiol, along with 54.50% medium-chain fatty acids, 47.09% lauric acid, 96.48% total fat, and a gross energy content of 8,813 kcal/kg. The EMPL group showed significantly higher performance in average weight (2.00 kg), average daily gain (ADG) (132.59 g/piglet/day), and milk intake (552.01 ml/piglet) at 5 days old compared to the control group ($P<0.01$). These findings indicated that 12% hemp leaves extract in CPKO, heated for 6 hr at 110°C, significantly enhances antioxidant and phytocannabinoid content. An emulsion of medium-chain fatty acids with 40% lauric acid plus phytocannabinoids (EMPL) improved the growth performance and milk intake of piglets, demonstrating its potential as an effective and innovative energy supplement for suckling piglets.

Keywords: Antioxidant potential, Decarboxylation, Chemical composition, Fatty acid, Suckling piglets

Introduction

Cannabis sativa L. (hemp) has garnered considerable attention due to its various applications in agriculture, industry, medicine, herbal remedies, and

*Corresponding Author: Tartrakoon, W.; Email: wandeeta@nu.ac.th

religious practices. (Andre *et al.*, 2016) A critical aspect of hemp processing involves the extraction of phytocannabinoids, which is typically carried out through decarboxylation—a process using heating in combination with solvents such as cold-pressed coconut oil. Decarboxylation consists of three main stages: material preparation, cannabinoid activation through heating, and extraction (Moreno-Sanz *et al.*, 2020; Valizadehderakhshan *et al.*, 2021). The first step, material preparation, entails selecting high-quality cannabinoid-rich hemp. The chosen plant material is then dried and ground to increase surface area, which enhances extraction efficiency by reducing excess moisture that may impede the decarboxylation process. The second step is an activation process of cannabinoids by heating and controlling pressure conditions in autoclave sterilization. This process is the transformation of acidic forms like tetrahydrocannabinol acid (THCA) and Cannabidiolic acid (CBDA) into their active counterparts, Tetrahydrocannabinol (THC) and Cannabidiol (CBD), by removing a carboxyl (-COOH) group and CO₂ (Nachnani *et al.*, 2021; Fućak *et al.*, 2023; Nguyen *et al.*, 2024.). Typically, this step involves heating the material to temperatures between 105°C and 120°C for 30 to 60 minutes (Moreno *et al.*, 2020; Regan *et al.*, 2022). The final step is an extraction that uses carrier oil, such as crude palm kernel oil (CPKO), to dissolve the cannabinoids. The oil is heated to the appropriate temperature to facilitate the process, followed by filtration and then purification which concentrates or isolates specific cannabinoids for further use (Fućak *et al.*, 2023). There are several important factors to consider for the decarboxylation process, including the preparation of hemp material, precise control of heating temperature and duration to avoid overheating, and careful monitoring of equipment such as ovens and moisture control systems. The cooling down of the material after activation is also crucial. Furthermore, the post-decarboxylation steps must be tailored to each product's specific targets and manufacturing processes (Valizadehderakhshan *et al.*, 2021).

Hemp is a rich source of bioactive compounds, particularly phytocannabinoids, which have been extensively studied for their therapeutic potential. Several research studies focused on the product's components, including hemp derivatives. Cannabidiol (CBD) and tetrahydrocannabinol (THC) are becoming increasingly important because they have the potential to be treated or applied in both humans and animals. Recently, attention has shifted toward the role of non-psychoactive phytocannabinoids as functional ingredients in animal nutrition, particularly for enhancing livestock health and performance (Rocca and Salvo, 2020. According to a study by Lust *et al.* (2023), who explored the use of phytocannabinoids from hemp in combination with medium-chain fatty acids (MCFAs) by, formulating as triglyceride powders and monoglyceride emulsions (Bartoncíková *et al.*, 2023; Jadhav and Annapure, 2023), which aimed to use this

combination as a livestock additive for key nutritional needs in piglets (Jackman *et al.*, 2020). Four objectives have been reported for such a utilization model: enhancing growth efficiency, promoting weight gain, optimizing lipid absorption, and supporting digestive system development. These objectives target the improvement of energy availability and intestinal health while fostering microbial diversity and pathogenic control. Finally, these contributions will increase vitality and improve response behavior in piglets and pets (Vodolazska and Lauridsen, 2020; Rocca and Salvo, 2020; Montero *et al.*, 2023).

Therefore, this study aimed to evaluate the effectiveness of hemp material and medium-chain triglyceride (MCT) oil used as solvents for phytocannabinoid decarboxylation and extraction. A prototype emulsion combination of phytocannabinoid extracts and concentrated lauric acid, a novel energy supplement for suckling piglets to serve as an oral administration, and its impact on the productive performance was also assessed.

Materials and methods

Experiment 1: Extraction of phytocannabinoids from hemp roots and leaves using different MCT oils

The experiment used a 2x2 factorial in Completely Randomized Design (CRD) consisted of factor A is raw materials from hemp (hemp leaves and roots), and factor B was the type of triglyceride oil with medium-chain fatty acids, purified palm kernel oil (PPKO) and CPKO.

The soil remaining on the hemp roots was washed with tap water. The washed roots and leaves were then dried using a solar dryer. The raw materials were carefully selected and ground using an herbal grinder. The hemp fibers were separated manually. The grounded sample was sifted through a 100-mesh (150-micron). Subsequently, the cannabinoid content (%w/w) of hemp leaves and roots, including cannabidiol (CBDV), cannabidiolic acid (CBDA), cannabidiol (CBD), cannabinol (CBN), tetrahydrocannabivarin (THCV), tetrahydrocannabinol (THC), cannabichromene (CBC), and tetrahydrocannabinolic acid (THCA), was determined through spectral analysis using High-Performance liquid chromatography (HPLC), based on a modification of AOAC Official Method 2018.11, Revised First Action by Vaclavik *et al.* (2019). The chemical composition, including ash, energy, carbohydrates, crude fiber, fat, protein, and moisture, was estimated using standard methods performed by Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd., Chiang Mai Branch, as presented in Table 1.

Twelve grams of finely ground hemp leaves and roots were transferred into cloth bags (5 × 15 cm) at a 6% (w/v) ratio in oil solvent. Twelve bags (for four treatment comparisons, with 3 replications) were wrapped in aluminum foil and

subjected to sterilization in an autoclave at 121°C for 21 minutes, 0.11 MPa, which not only ensured the sterility but also promoted the decarboxylation of the raw material. Glass containers (250 ml) containing oil solvents (PPKO and CPKO) were also sterilized under the same conditions. After sterilization, the sterilized cloth bags were placed into the containers, and 200 ml of oil solvent was added. Emulsifiers (Tween 80, 2% w/v) and sodium erythorbate (0.3% w/v) were added to the solution and mixed to prevent rancidity (Tymoszczyk, 2013). The containers were sealed and stored in a dark place for 18-20 h to facilitate extraction, followed by heating at 110°C for 4 hours in a hot air oven. (Fućak *et al.*, 2023; Ryu *et al.*, 2021). After heating, the containers were cooled to 30 - 35°C in a dark room. The phytocannabinoid-enriched oil was then filtered through 100-mesh nylon, packed in opaque containers, and stored at room temperature (25±2°C). The antioxidant properties of the phytocannabinoid extracts were subsequently analyzed, including the antioxidant properties of the phytocannabinoid-rich oil by measuring total phenolic content (TPC) (mg GAE/g DW), total antioxidant capacity (TAC) in L-ascorbic acid (mg GAE/g DW), and antioxidant activity using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), (2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS), and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays (%) (Benkhaira *et al.*, 2022; Minarti *et al.*, 2024).

Experiment 2: Effect of duration of the decarboxylation and the extraction ratio of hemp to CPKO on the phytochemical composition and antioxidant potential of phytocannabinoid oil extracts

This study employed a 3×5 factorial arrangement in CRD to evaluate the effects of two key factors: (A) the ratio of hemp leaves to crude palm kernel oil (CPKO) and (B) the decarboxylation reaction time. Factor A consisted of three levels: A1 = 6%, A2 = 12%, and A3 = 18% (w/v in oil solvent), while Factor B included five levels of decarboxylation reaction time: B1 = 0 h (control), B2 = 2 h, B3 = 4 h, B4 = 6 h, and B5 = 8 h. The grounded hemp leaves prepared previously (experiment 1) were weighed at 12, 24, and 36 grams and transferred into cloth bags (5 × 15 cm), achieving concentrations of 6%, 12%, and 18% (w/v in oil solvent). This step obtained 45 bags (15 treatment comparisons with 3 replications were prepared). The badge was wrapped in aluminum foil and subjected to an autoclave at 121°C for 21 minutes to promote decarboxylation, sterilize the material, and accelerate the activation reaction. This procedure facilitated decarboxylation to ensure the sterility of the materials and accelerated the activation of the target compounds. They were autoclaved and placed into glass containers. To prevent oil rancidity, 4 ml of emulsifier (Tween 80,

equivalent to 2% w/v in oil solvent) and 0.6 g of sodium erythorbate (0.3% w/v in oil solvent) were added to the glass containers (Tymoszczyk, 2013). The containers were sealed tightly and stored in a dark environment for 18-20 h.

The extraction was conducted by heating at 110°C for 0, 2, 4, 6, and 8 h in a hot air oven (Fućak *et al.*, 2023; Ryu *et al.*, 2021). The extracted sample was cooled to 30 - 35°C in a dark place, The extracted oil was then filtered using a 100-mesh nylon filter and stored in opaque containers at room temperature (25±2 °C). The antioxidant properties of the phytocannabinoid-rich oil were evaluated by measuring TPC (mg GAE/g DW), TAC in L-ascorbic acid (mg GAE/g DW), and antioxidant activity using DPPH, ABTS, and FRAP assays (%) (Benkhaira *et al.*, 2022; Minarti *et al.*, 2024).

Experiment 3: Effects of oral administration of EMPL product prototype on body weight, growth rate, colostrum intake, and milk intake in suckling pigs

Animals and housing

Seventy newborn piglets were randomly selected. A 1.0 – 1.5 kg piglets born from sows with an average parity of 3 was divided into two groups. The control group (CON) received an oral dose of 2 ml of toltrazuril (50 mg/ml; commercial product toltrazuril 5%, registration number 1D 64/54), Better Pharma Company Limited, Thailand. The treatment group was orally administered 3.5 ml of EMPL. Both groups were treated twice: the first administration occurred 12–24 h after birth, and the second on the third day postpartum.

The piglet's weight was recorded immediately after birth, at 24 h. On the fifth day postpartum, the weight gain and average daily gain (ADG, g/day) 24h and 5-day, colostrum intake (ml/piglet), and milk intake on day 5 (ml/piglet) were evaluated and recorded. Sows and piglets were housed individually in farrowing pens (2 m × 2.2 m) equipped with heating lamps, rigid plastic walls, partly solid concrete flooring combined with hard plastic slats, and provided with straw bedding. Both water and straw bedding were supplied ad libitum, while the ambient temperature was maintained at 28±°C initially.

All procedures employed in this research were approved by the Naresuan University Animal Care and Use Committee (ACUC) under document number 67 01 002. The experiment was conducted at Wilaiporn Farm, Nakhon Sawan Province, Thailand, with research and testing certified by the Department of Livestock Development and under veterinary supervision.

Preparation of EMPL adjuvant prototype

This prototype was developed as an innovative energy supplement to enhance suckling piglets' nutritional profile and growth performance. A prototype

energy supplement for suckling piglets, EMPL (Emulsion of Medium-Chain Fatty Acids with 40% Lauric Acid plus Phytocannabinoids, Em-MCFA-Phyto-L40) was formulated. The emulsion contains 25 - 29% phytocannabinoid extract obtained from CPKO, and other ingredients include rice bran oil, palm oil, soybean oil, lauric acid powder (99.9% purity), polysorbate (Tween 80), butylated hydroxytoluene (BHT), benzoic acid, and sterile water.

Statistical analysis

The data from Experiment 1 was analyzed using a 2×2 factorial in CRD, while Experiment 2 employed a 3×5 factorial in CRD, which was subjected to analysis of variance (ANOVA). Group comparisons were performed using Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) test, with statistical significance established at $P < 0.05$. A t-test was employed to compare the mean values between the control and EMPL groups in Experiment 3, with results presented at a 95% confidence interval. All statistical analyses were conducted using Jamovi software (version 2.3.28) (The Jamovi Project, 2022; R Core Team, 2021; Fox and Weisberg, 2020; Length, 2020).

Results

The phytochemical composition of hemp leaves and roots, after preparation and activation of the raw materials, revealed differences in the levels of CBD (0.168% in leaves and 0.073% in roots) and CBDA. (0.083% in leaves and 0.267% in roots), as shown in Figure 1 and Table 1. In terms of the chemical composition of both hemp materials, the levels of energy, carbohydrates, and protein were higher in leaves than in roots—297.25 kcal/100g vs. 107.79 kcal/100g, 49.56 g/100g vs. 23.04 g/100g, and 20.06 g/100g vs. 2.02 g/100g, respectively. In contrast, the crude fiber content was higher in roots than in leaves, at 45.34 g/100g and 12.80 g/100g, respectively (Table 1).

The extraction of hemp leaves and roots was investigated in conjunction with triglyceride oils rich in medium-chain fatty acids, namely PPKO and CPKO, to assess their antioxidant properties. A significant interaction ($P < 0.01$) between the type of hemp material and the medium-chain triglyceride oil used was observed. Extraction using hemp leaves with both PPKO and CPKO as solvents significantly yielded higher TPC and TAC than extractions using hemp roots ($P < 0.01$). Moreover, the combination of hemp leaves and CPKO exhibited the highest DPPH, ABTS, and FRAP antioxidant activity among all experiments ($P < 0.01$) as presented in Table 2.

Table 1. The phytochemical and nutritional composition of hemp leaves and roots

Items	Hemp materials	
	Leaves	Root
Cannabinoids (%w/w)^{1/}		
Cannabidiol (CBD)	0.014	0.001
Cannabidiolic acid (CBDA)	0.083	0.267
Cannabidiol (CBD)	0.168	0.073
Cannabinol (CBN)	0.007	0.005
Tetrahydrocannabivarin (THCV)	0.007	0.001
Tetrahydrocannabinol (THC)	0.017	0.048
Cannabichromene (CBC)	0.013	0.002
Tetrahydrocannabinolic acid (THCA)	0.005	0.018
Chemical composition^{2/}		
Ash ^{3/} (g/100g)	23.49	6.52
Energy ^{4/} (kcal/100g)	297.25	107.79
Carbohydrate ^{5/} (g/100g)	49.56	23.04
Crude Fiber ^{6/} (g/100g)	12.80	45.34
Fat ^{7/} (g/100g)	7.05	4.87
Protein ^{8/} (g/100g)	20.06	2.02
Moisture ^{9/} (g/100g)	11.01	6.74
Antioxidant efficiency		
Total Phenolic Content (TPC) ^{10/} (mg GAE/g DW)	70.81	33.82
Antioxidant potential capacity (APC) ^{11/} (mg GAE/g DW)	23.26	10.79
Antioxidant activity on DPPH reaction (ADA-DPPH)	28.56	26.86

^{1/} Cannabinoids: Cannabis Extraction and Analysis Laboratory (Modification of AOAC Official Method 2018.11, Revised First Action by Vaclavik *et al.* (2019)

^{2/} Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. ^{4/} Energy: In-house method TE-CH-169 based on method of Analysis for Nutrition Labelling (1993) pp.106, ^{5/} Carbohydrate using methods in Chapter 6: Proximate and mineral Analysis. (AOAC, 1993) ^{3/} Ash: AOAC Method 923.03 and 920.153, ^{6/} Crude Fiber: AOAC Method 978.10, ^{7/} Fat: AOAC Method 948.15, ^{8/} Protein: AOAC Method 991.20, ^{9/} Moisture: AOAC Method 925.10 and 950.46 according to AOAC. (2019) ^{10/} $y = 0.0008x + 0.0402$; $R^2 = 0.9911$ ^{11/} $y = 0.0014x - 0.003$; $R^2 = 0.9946$

In Experiment 1, hemp leaves were extracted using CPKO as the solvent, with the raw material to solvent ratio optimized to 6% (w/v). The activation of the raw materials was heated, pressured, and steam sterilized in an autoclave to induce decarboxylation before extraction. The extraction was conducted in sealed glass containers at a constant temperature of 110°C for 4 h, facilitating the efficient transfer of bioactive compounds from the leaves into the CPKO. To minimize contamination and reduce post-extraction filtration, hemp leaves were enclosed in cloth bags. The methodology employed, including using hemp leaves with CPKO and specific preparation techniques, provides a foundation for future research to

optimize the hemp leaves into solvent ratio and extraction duration. These parameters were further investigated in Experiment 2, as outlined in Table 2.

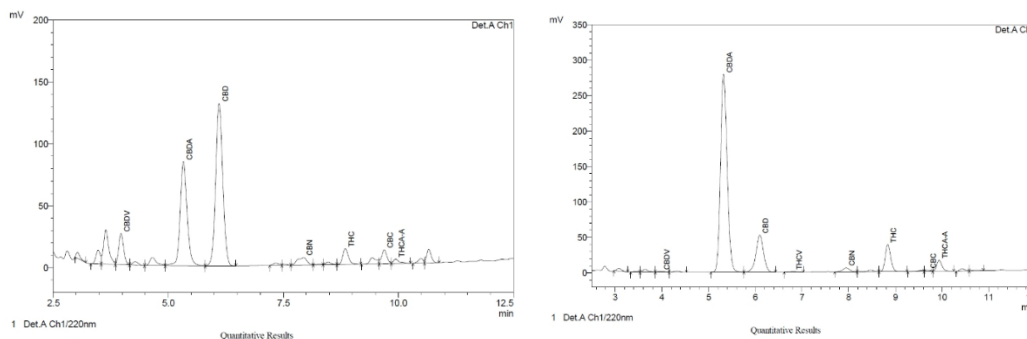
Table 2. Hemp extract combined with medium-chain fatty acid triglyceride oil on the antioxidant potential of phytocannabinoid oil extracts

Factor	TPC mg GAE/g DW	TAC mg GAE/g DW	DPPH assay (%)	ABTS assay (%)	FRAP Assay (%)
Interaction between factor A x B					
Hemp leaves x PPKO	46.15±0.04 ^a	24.33±0.76 ^a	17.29±0.25 ^c	44.52±0.50 ^b	36.77±0.42 ^b
Hemp leaves x CPKO	48.34±0.30 ^a	25.65±0.77 ^a	26.48±0.58 ^a	46.40±0.53 ^a	38.33±0.43 ^a
Hemp root x PPKO	30.56±0.45 ^b	9.57±0.51 ^b	14.58±0.61 ^d	28.17±0.06 ^c	19.60±0.55 ^d
Hemp root x CPKO	26.67±1.53 ^b	9.35±0.15 ^b	19.23±0.68 ^b	23.73±0.66 ^d	23.26±0.05 ^c
Factor A: Hemp raw materials					
Hemp leaves	47.25±1.22 ^a	24.99±0.99 ^a	21.89±5.05 ^a	45.46±1.13 ^a	37.55±0.93 ^a
Hemp root	28.61±2.36 ^b	9.46±0.36 ^b	16.90±2.61 ^b	25.95±2.46 ^b	21.43±0.23 ^b
Factor B: Types of triglyceride oils containing medium-chain fatty acids					
Purified palm kernel oil (PPKO)	38.36±8.54	16.95±8.11	15.94±1.54 ^b	34.13±11.39 ^b	28.189±9.41 ^b
Crude palm kernel oil (CPKO)	37.51±11.91	17.50±8.94	22.86±4.01 ^a	37.28±9.99 ^a	30.80±8.25 ^a
SEM	0.468	0.350	0.322	0.285	0.235
P-value					
Factor A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Factor B	0.107	0.152	0.000	0.000	0.000
Factor A x B	0.000	0.059	0.000	0.002	0.006

^{a-g} Means with different superscript letters within the same column are significantly different ($P \leq 0.05$) and ($P \leq 0.01$)

^{ns} Means with the same superscript letters within the same column are not significantly different ($P > 0.05$)

Total Phenolic Content (TPC) (mg GAE/g DW); Total Antioxidant capacity (TAC) (mg GAE/g DW); DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) (DPPH assay) (%); Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) using (ABTS assay) (2,2'-casino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (%); Ferric Ion Reducing Antioxidant Power assay (FRAP Assay) (%)



Hemp leaves (A)

Hemp root (B)

Figure 1. The phytochemical composition of hemp leaves and roots is revealed through spectral analysis using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)

The investigation of the ratio of hemp leaves to CPKO (6%, 12%, and 18% w/v) and the duration of heating duration for activation of decarboxylation (0, 2, 4, 6, and 8 h) revealed a significant interaction between the hemp leaves proportion and heating duration ($P < 0.01$), as shown in Table 3. Specifically, the 12% hemp leaves to CPKO proportion significantly resulted in a higher TPC compared to the 6% and 18% ratios ($P < 0.01$). Additionally, prolonged heating duration for 8 hours led to TPC levels that exceeded those observed at shorter durations (0, 2, 4, and 6 h) ($P < 0.01$). and the interaction of 12% hemp leaves with CPKO and heated time for 6 hours produced significantly higher TPC compared with other interactions. ($P < 0.01$) (Figure 2A).

In terms of total antioxidant capacity (TAC), the 6% hemp leaves to CPKO proportion exhibited significantly higher values compared to the 12% and 18% proportions ($P < 0.01$), and heating time of 4 h also demonstrated increased TAC compared to other durations (0, 2, 6 and 8) ($P < 0.01$). However, the interaction of the hemp leaves ratio and 6% hemp leaves to CPKO with heating duration for 4 h gave a higher TAC than other interactions ($P = 0.007$) (Figure 2B). The results of the antioxidant activity assessed using DPPH, ABTS, and FRAP assays demonstrated that the 12% hemp leaves to CPKO ratio significantly outperformed the other proportions (6% and 3%) ($P < 0.01$). The influence of heating duration on the reaction of decarboxylation, particularly at 4 and 6 h. showed superior results compared to other time points (0, 2, and 8 h) ($P < 0.01$).

In terms of the interaction between hemp leaves proportions and heating durations, the combination of 6% hemp leaves with 6 h of heating duration, yielded the highest DPPH activity in all tested interactions ($P < 0.01$) (Figure 2C). Similarly, heating durations of 4 and 6 h resulted in the highest antioxidant activity

in both the ABTS and FRAP assays in all tested interactions ($P < 0.01$) (Figures 2D and E).

Table 3. Effect of decarboxylation duration and the ratio of hemp and medium-chain fatty acid triglyceride oil on total phenolic content (TPC) and antioxidant capacity of hemp leaves extract

Factor	TPC mg GAE/g DW	TAC mg GAE/g DW	DPPH assay (%)	ABTS assay (%)	FRAP Assay (%)
Interaction between factor A (w/v) x B					
6% × 0 hr	40.24±0.05 ^j	21.16±0.26 ^{bcdef}	26.94±1.00 ^{fg}	32.17±0.76 ⁱ	32.56±1.33 ^g
6% × 2 hr	46.49±0.33 ^h	23.13±1.05 ^{abcd}	27.13±1.11 ^{efg}	40.00±2.00 ^g	34.19±0.13 ^g
6% × 4 hr	47.32±0.15 ^g	25.45±0.74 ^a	26.42±0.58 ^g	44.52±0.50 ^{ef}	38.42±0.31 ^f
6% × 6 hr	47.08±0.07 ^h	24.62±2.51 ^{ab}	26.44±0.48 ^g	46.33±3.21 ^e	39.61±0.38 ^{ef}
6% × 8 hr	56.83±0.16 ^{abc}	21.60±1.64 ^{bcde}	26.22±0.35 ^g	50.20±0.91 ^d	40.40±1.03 ^{de}
12% × 0 hr	41.04±0.06 ^{ij}	20.02±1.16 ^{cdefg}	28.36±0.19 ^{defg}	35.00±1.00 ^{hi}	42.38±1.11 ^d
12% × 2 hr	55.84±0.16 ^{bcd}	20.37±1.43 ^{cdefg}	29.46±0.47 ^{cdef}	51.17±0.85 ^{cd}	49.33±0.80 ^b
12% × 4 hr	54.14±0.11 ^e	23.80±1.06 ^{abc}	31.63±0.78 ^{bc}	62.13±1.03 ^a	52.56±0.52 ^a
12% × 6 hr	57.38±0.45 ^a	21.55±1.34 ^{bcde}	34.43±1.74 ^a	64.33±1.53 ^a	53.18±2.03 ^a
12% × 8 hr	56.87±0.96 ^{ab}	21.35±0.57 ^{bcde}	33.35±0.95 ^{ab}	58.07±0.90 ^b	49.86±0.94 ^b
18% × 0 hr	42.02±0.49 ⁱ	19.22±1.08 ^{efg}	29.62±0.92 ^{cde}	36.20±0.35 ^h	42.07±0.64 ^d
8% × 2 hr	52.80±0.68 ^f	19.67±1.15 ^{defg}	31.20±0.75 ^{bc}	54.53±0.50 ^{bc}	50.50±0.66 ^b
18% × 4 hr	55.62±0.24 ^{cd}	18.67±1.15 ^{efg}	30.53±0.92 ^{cd}	57.27±0.64 ^b	51.26±0.67 ^{ab}
18% × 6 hr	55.07±0.53 ^{de}	17.35±1.44 ^{fg}	29.49±0.53 ^{cde}	55.63±0.55 ^b	50.45±1.21 ^b
18% × 8 hr	55.10±0.04 ^{be}	17.20±1.14 ^g	29.28±0.63 ^{cdef}	42.20±0.40 ^{fg}	47.31±0.72 ^c
Factor A: Proportion of hemp leaves to Crude palm kernel oil (Leaves: CPKO)					
6% w/v	47.80±5.50 ^c	23.23±2.16 ^a	26.64±0.74 ^c	42.64±6.57 ^c	37.02±3.25 ^c
12% w/v	53.38±6.57 ^a	21.42±1.68 ^b	31.44±2.50 ^a	54.14±10.97 ^a	49.46±4.08 ^a
18% w/v	52.12±5.34 ^b	18.42±1.44 ^c	30.02±0.99 ^b	49.17±8.70 ^b	48.32±3.57 ^b
Factor B: Decarboxylation reaction time (Heating duration)					
0 hr	41.10±0.81 ^c	20.13±1.17 ^b	28.31±1.35 ^b	34.45±1.91 ^d	39.00±4.86 ^d
2 hr	51.71±4.15 ^b	21.05±1.91 ^b	29.26±1.90 ^{ab}	48.57±6.68 ^c	44.67±7.78 ^c
4 hr	52.70±3.34 ^c	22.71±3.25 ^a	29.55±2.44 ^a	54.64±7.90 ^a	47.38±6.73 ^a
6 hr	53.18±4.69 ^b	21.17±3.54 ^b	30.12±3.61 ^a	55.43±8.00 ^a	47.75±6.25 ^a
8 hr	56.81±1.50 ^a	20.05±2.37 ^b	29.61±3.15 ^a	50.15±6.90 ^b	45.86±4.25 ^b
SEM	0.234	0.739	0.487	0.718	0.301
P-value					
Factor A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Factor B	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000
Factor A x B	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000

^{a-g} Means with different superscript letters within the same column are significantly different ($p \leq 0.05$) and ($p \leq 0.01$)

^{ns} Means with the same superscript letters within the same column are not significantly different ($p > 0.05$)
Total Phenolic Content (TPC) (mg GAE/g DW); Total Antioxidant capacity (TAC) (mg GAE/g DW); DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) (DPPH assay) (%); Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) using (ABTS assay) (2,2'-casino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (%); Ferric Ion Reducing Antioxidant Power assay (FRAP Assay) (%)

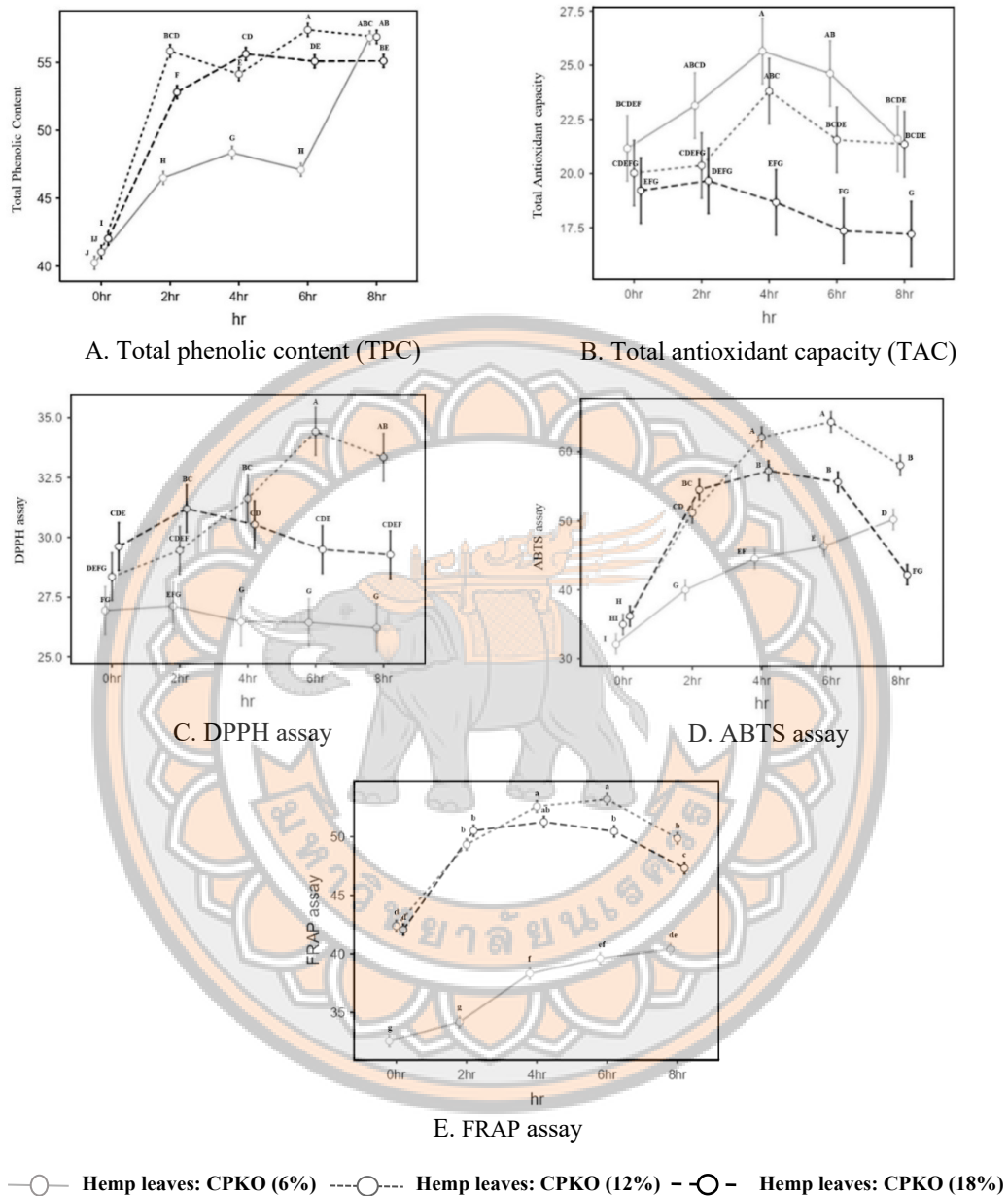


Figure 3. Schematic diagram showing the changes of total phenolic content, total antioxidant capacity, DPPH assay, ABTS assay, and FRAP assay concerning time (0, 2, 4, 6, and 8 h) upon heating for inducing decarboxylation to extract phytocannabinoids from hemp leaves

An analysis of the cannabinoid content resulting from the interaction between 12% hemp leaves with heating durations of 4 and 6 h demonstrated that decarboxylation-enhanced phytocannabinoid extraction significantly increased CBD, CBDA, and total CBD concentrations after 6 hours of heating. Specifically, concentrations were recorded at 0.004, 0.005, and 0.008, representing corresponding 33.33%, 50%, and 38% increases compared to the 4-h heating duration (Figure 4). The fatty acid profile revealed an increase in saturated fatty acids by 1.45 g/100 g. In contrast, levels of monounsaturated fatty acids (MUFA), polyunsaturated fatty acids, and total unsaturated fats including Omega-3, Omega-6, and Omega-9 decreased by 1.95 g/100 g, 0.92 g/100 g, 2.88 g/100 g, 1.07 mg/100 g, 926.95 mg/100 g, and 1,950.72 mg/100 g, respectively (Table 4). Regarding the chemical composition, the energy value for the mixture of 12% hemp leaves and CPKO heated for 6 h was found to be 881.32 kcal/100 g, a 7.11 kcal/100 g increase compared to CPKO alone. Significantly, both the heavy metal content and total plate count of CPKO and the phytocannabinoid oil extract (12% hemp leaves: CPKO heated for 6 hours) met safety standards, confirming its suitability to be applied as an energy source or livestock feed additive (Table 6).

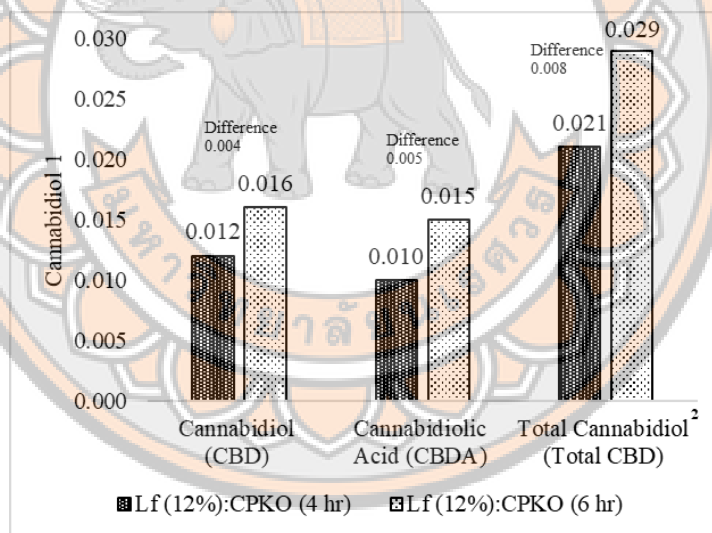


Figure 4. A comparative diagram of the cannabinoid content in oils, comparing the proportion of hemp leaves to 12% CPKO and the heating duration of 4 and 6 h

¹Cannabidiol test: In-house method based on Journal of AOAC Official Method 2018.11, Revised First Action 2020 P.1,822-1,833 with Cannalysis siam herbal laboratories. ²Total CBD = %CBD + (%CBDA*0.877)

Table 4. Fatty acid composition of crude palm kernel oil and phytocannabinoid oil extracts as raw materials for prototype energy supplement products for livestock

Fatty acid composition ^{1/} (g/100g)	CPKO	CPKO oil contained ^{2/} phytocannabinoid extract
Caproic acid (C6:0)	0.23	0.26
Caprylic acid (C8:0)	3.43	3.67
Capric acid (C10:0)	3.29	3.48
Lauric acid (C12:0)	45.50	47.09
Medium-chain fatty acids (MCFA)	52.45	54.50
Myristic acid (C14:0)	15.86	15.86
Palmitic acid (C16:0)	8.64	8.22
Stearic acid (C18:0)	2.36	3.24
Arachidic acid (C20:0)	0.12	2.19
Behenic acid (C22:0)	0.03	0.03
Lignoceric acid (C24:0)	0.05	0.05
Saturated Fatty acid (g/100g)	79.68	81.10
Palmitoleic acid (C16:1n7)	0.02	0.02
Trans-9-Elaidic acid (C18:1n9-t)	0.03	0.04
cis-9-Oleic acid (C18:1n9-c)	15.55	13.6
cis-11-Eicosenoic acid (C20:1n11-c)	0.10	0.02
Nervonic acid (C24:1n9)	0.04	0.05
Monounsaturated fatty acid (g/100g)	15.74	13.79
cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6)	2.47	1.55
cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)	0.01	0.02
Arachidonic acid (C20:4n6)	0.02	0.02
Polyunsaturated Fatty acid (g/100g)	2.51	1.59
Unsaturated fat (g/100g)	18.26	15.38
Omega 3 (mg/100g)	6.53	5.46
Omega 6 (mg/100g)	2,493.04	1,566.09
Omega 9 (mg/100g)	15,594.87	13,644.15

^{1/} Fatty acid composition using In-house method TE-CH-208 based on AOAC. (2019)

^{2/} CPKO oil contained phytocannabinoid extract is 12% hemp leaves: CPKO & 6 hr heating duration.

Emulsion of medium-chain fatty acids with 40% lauric acid plus phytocannabinoids (EMPL): A prototype energy supplement for suckling piglets. The EMPL product offers an energy value of 788.94 kcal per 100 g, and a fat content of 87.66 g per 100 g. and water activity (Aw) is 23.38%. Key chemical properties include an iodine value (IV) of 41.89% and a peroxide value (PV) of 4.73 mEq peroxide/kg. The fatty acid profile (g/100 g) is as follows: lauric acid (C12:0), medium-chain fatty acids (MCFAs), myristic acid (C14:0), saturated fatty acids, oleic acid (C18:1n9t), monounsaturated fatty acids, polyunsaturated

fatty acids, and total unsaturated fats, with respective values of 42.21, 44.62, 5.93, 61.04, 15.92, 16.02, 9.17, and 25.12. Omega-3, -6, and -9 fatty acids are present in concentrations of 586.15 mg, 5,862.10 mg, and 15,970.20 mg per 100 g, respectively.

Table 5. Chemical composition, heavy metal test, and total plate count of crude palm kernel oil (CPKO) and CPKO contained phytocannabinoid oil extracts

Items ^{1/}	Oil type	
	CPKO	CPKO oil is contained. phytocannabinoid extract
Chemical composition		
Ash ^{2/} (g/100g)	<0.01	0.04
Calories from Fat ^{3/} (kcal/100g)	888.42	881.32
Carbohydrate ^{3/} (g/100g)	2.19	3.21
Fat ^{2/} (g/100g)	97.74	96.48
Water Content ^{5/} (%)	0.07	0.27
Iodine Value ^{6/} (%)	16.89	10.53
Peroxide Value ^{7/} (mEq Peroxide/kg)	3.85	2.87
Heavy Metal Test (mg/kg)		
Arsenic (As) ^{8/}	ND	ND
Cadmium (Cd) ^{8/}	ND	ND
Lead (Pb) ^{8/}	<0.050	0.17
Mercury (Hg) ^{9/}	ND	ND
Total plate count		
<i>Salmonella spp.</i> ^{10/} (in 25g)	ND	ND
Total Plate Count ^{11/} (CFU/g)	<10	<10
Yeast and Molds ^{12/} (CFU/g)	<10	<10

^{1/} Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. ^{2/} Ash: AOAC Method 942.05 (AOAC, 2012) ^{3/} Calories (Fat and Carbohydrate): In-house method TE-CH-169 (Central Laboratory, 1993), adapted from Method of Analysis for Nutrition Labelling (p. 106). ^{4/} Fat: AOAC Method 920.39 (AOAC, 2023) ^{5/} Water Content: AOAC Method 934.01. (AOAC, 2005) ^{6/} Iodine Value: In-house method (Central Laboratory) based on AOCS Cd 1-25 (AOCS, 2017). ^{7/} Peroxide Value: In-house method (Central Laboratory) based on AOCS Cd 8-53 (AOCS, 2003). ^{8/} Arsenic, Cadmium, Lead: In-house method TE-CH-260 (Central Laboratory) with AOAC Methods 2013.06 & 999.10 (AOAC, 2019). ^{9/} Mercury: In-house method TE-CH-260 (Central Laboratory) with AOAC Method 2013.06 (AOAC International, 2019). ^{10/} *Salmonella spp.*: ISO 6579-1:2017/Amd. 1:2020. ^{11/} Total Plate Count: In-house method (Central Laboratory) based on FDA BAM Online (2001, Chapter 3). ^{12/} Yeast and Molds: In-house method (Central Laboratory) based on FDA BAM Online (2001, Chapter 18).

This study aimed to assess the effects of a novel energy supplement prototype (EMPL) for suckling piglets in a commercial production environment. Piglets were orally administered 3.5 ml of EMPL per piglet. The first time was administered within 12–24 h after birth, and the second was administered on the

third day post-parturition. The results were compared to those of a control group that received the antibiotic toltrazuril. It was found that piglets in the EMPL group exhibited significantly higher body weight on the fifth day than the control and antibiotic groups ($P < 0.01$). Moreover, the average daily gain (ADG) of the EMPL group exceeded that of the control by 30.61% ($P < 0.01$) (Table 6), indicating enhanced growth performance of piglets.

Table 6. Effects of oral administration of EMPL in suckling piglets compared with the control group (antibiotics) on productive performance

Parameter	Control (CON)	EMPL40	Pr(t)
Piglet (1.00 - 1.50 kg)	35	35	
Initial weight (kg)	1.27±0.02	1.31±0.02	0.124
Weight 24 hr (kg)	1.38±0.02	1.43±0.02	0.149
ADG 24 hr (g/day)	115.00±8.66	118.25±6.43	0.764
Colostrum intake (ml/piglet)	314.34±11.46	319.87±8.71	0.702
Weight at 5 th d (kg)	1.73±0.05	2.00±0.05	<0.001
ADG at 5 th d (g/day)	92.00±6.25	132.59±4.72	<0.001
Milk intake at 5 th d (ml/piglet)	468.31±12.88	552.01±11.33	<0.001

Discussion

Hemp leaves and roots, often considered byproducts of cultivation, are traditionally used for extracting phytocannabinoids through oil-based solvent heating. Cold-pressed coconut oil or medium-chain triglycerides (MCTs) are commonly employed as solvents, leveraging the medicinal properties of the extracts in traditional Thai medicine (Maly *et al.*, 2023). The incorporation of hemp extract in oil form presents significant potential as a feed additive for animals, particularly in enhancing immune function, reducing inflammation, promoting intestinal health, and alleviating stress in pets. This approach aligns with the objectives of sustainable animal husbandry by reducing reliance on antibiotics and chemical treatments (Atalay *et al.*, 2020; Iffland and Grotenhermen, 2017). Hemp-derived phytocannabinoids, including cannabidiol (CBD), exhibit therapeutic effects such as anti-inflammatory and immune-modulating properties. Tetrahydrocannabinol (THC), present in trace amounts (<0.3%), is associated with appetite stimulation and pain relief (Carcieri *et al.*, 2018). Cannabigerol (CBG) shows antibacterial and neuroprotective properties, while Cannabichromene (CBC) and Cannabinol (CBN) offer analgesic and anti-inflammatory benefits (Borrelli *et al.*, 2013; Khouchlaa *et al.*, 2024). The mechanism of the decarboxylation process, reported by Fućak *et al.* (2023); and Moreno *et al.* (2020) found that CBD is a pharmacologically active compound, is derived from CBDA through decarboxylation, a process that activates the β -keto

acid pathway, cleaving the C–C bond and releasing CO₂, thereby converting cannabinoids into their active forms.

The comparative phytochemical and nutritional analysis of hemp leaves and roots revealed an inverse relationship in cannabinoid concentrations: roots exhibited higher levels of CBDA, whereas leaves were richer in protein and energy. The phytochemical and bioactive profiles outlined in Table 1 provide valuable insights for optimizing the utilization of the entire hemp plant. Additionally, Moreno *et al.* (2020) demonstrated that alcoholic solvents enhanced the extraction efficiency of hemp roots compared to CPKO, as shown in Experiment 1 (Table 2). This outcome can be attributed to the heat-dissipating properties of CPKO, which preserve the integrity of active compounds. Two critical factors must be considered in the extraction of phytocannabinoids from hemp using medium-chain triglyceride (MCT) oil; first is the decarboxylation process, in which heat or pressure causes the removal of the carboxyl group and CO₂, typically at temperatures between 110°C and 130°C for 4 to 6 h. The second is the application of high pressure, ranging from 1.5 to 2.0 MPa, in a process known as "autoclave sterilization". This method ensures sterility and enhances decarboxylation efficiency by breaking down cell structures, thereby improving compound extraction (Lohmann *et al.*, 2019).

However, it is important to note that inappropriate temperatures can lead to the degradation of some effective compounds. Therefore, optimizing the temperature and duration is essential for activating raw materials before the extraction process (Da Porto *et al.*, 2014). Another significant consideration is the use of MCT oil as a solvent for extracting phytocannabinoids from hemp leaves. MCT oil acts as a stable carrier, enhancing the bioavailability and absorption of cannabinoids. To ensure the purity of the extract, incorporating a filtration step to eliminate residual hemp material is critical. For this purpose, it is advisable to use cloth bags or nylon mesh to enclose the herbal materials during the extraction process. (Reason *et al.*, 2022; Nguyen *et al.*, 2024). Consequently, MCT oil emerges as an effective solvent for facilitating phytocannabinoid extraction. This finding aligns with the research of Brunel *et al.* (2011), who highlights the potential of medium-chain fatty acid triglyceride oils, such as palm kernel oil (PKO) and coconut palm kernel oil (CPKO), in decarboxylation reactions, suggesting promising applications in the food industry and the production of additives in the future.

Although hemp roots contain notable amounts of CBDA, the conversion of CBDA into its active form, CBD, indicates that the antioxidant content and activity are significantly higher in hemp leaf extracts than root extracts. This observation aligns with the findings of Gul *et al.* (2021) and Moreno *et al.* (2020). However, hemp roots are rich in distinct compounds, such as alkaloids and

triterpenoids. The lower hydroxyl group content and unique bonding patterns in hemp roots, relative to the leaves, may explain their reduced antioxidant potential. Hemp leaves possess a greater abundance of hydroxyl groups (-OH) attached to aromatic rings, which greatly enhance their antioxidant capacity. These compounds are more chemically reactive, particularly during decarboxylation, compared to the more stable structures found in hemp roots. Kornpointner *et al.* (2021) observed that phytocannabinoid levels in hemp roots are either absent or present in minimal quantities, thus contributing to their distinct applications. However, using alcohol as the extraction solvent yielded the highest concentrations of friedelin and epifriedelinol, with values ranging from 0.205 mg/g DW to 0.059 mg/g DW. Similarly, Jin *et al.* (2020) reported that air-dried hemp roots analyzed after 24 h showed a CBD ratio of 1:2. In contrast, freeze-dried roots consistently exhibited higher epifriedelinol content compared to those dried using heat-based methods. They also suggested that a reduction in friedelin and epifriedelinol content may be due to drying temperatures exceeding 45°C for more than 30 minutes, as well as extended post-harvest drying. This finding implies that inappropriate drying temperatures and prolonged storage negatively impact triterpenoid levels. However, no significant differences were found between ethanol, hexane, and CO₂ extraction methods compared to conventional triterpenoid extraction techniques. Nevertheless, ethanol proved to be the most efficient and environmentally sustainable option for extracting friedelin and epifriedelinol from hemp roots. In addition to phytocannabinoids, hemp leaves are rich in other bioactive compounds, such as terpenes, including myrcene, limonene, pinene, and linalool, which are known for their anti-inflammatory and antimicrobial effects. The terpene concentration in hemp leaves is higher than in roots, as leaves produce terpenes primarily for defense against herbivores and insects. In contrast, the roots generate lower terpene levels, focusing on protection from soil-borne fungi and bacteria (Booth *et al.*, 2020; Tomar *et al.*, 2021). Flavonoids, including quercetin, kaempferol, and apigenin, act as potent antioxidants, aiding in the reduction of inflammation and protection of cells from oxidative stress. These flavonoids are more abundant in leaves, as they serve photosynthetic functions, whereas roots, though also containing flavonoids, utilize them mainly for defending against soil microorganisms (Palazzolo *et al.*, 2020; Farag and Kayser, 2015). This observation aligns with the phytochemical analyses that compared hemp leaves and roots, as illustrated in Table 1.

Decarboxylation is a key process in phytocannabinoid extraction from hemp, converting inactive cannabinoid acids into biologically active forms, notably CBD and THC. These cannabinoids are valuable for livestock energy supplements, particularly for piglets, which require high energy for growth and health. Citti *et al.* (2018) showed how this process transforms CBDA and THCA

into CBD and THC. Lima *et al.* (2022) found that activated cannabinoids support metabolism, reduce stress, and enhance immune function in animals. Integrating phytocannabinoids with fats or medium-chain fatty acids into energy supplements provides absorbable energy, promoting piglet growth and mitigating oxidative stress (Miranda-Cortes *et al.*, 2023). The factors influencing the decarboxylation of hemp leaves and roots highlight the solvent role of CPKO. Hemp leaves exhibited higher TPC and antioxidant capacity compared to roots, attributed to the removal of carboxyl groups (-COOH) from acidic phenolics during decarboxylation. This process in leaves enhances neutral cannabinoids and reactive phenolic hydroxyl groups, increasing antioxidant reactivity through potential hydrogen bond formation. In contrast, hemp roots, with simpler polyphenolic structures and fewer conjugated double bonds, show minimal transformation during decarboxylation, maintaining structural stability (Moreno *et al.*, 2020).

The phenolic compounds in hemp roots exhibit greater stability compared to the more reactive phenolics found in hemp leaves. According to Gul *et al.* (2021), while hemp root extracts contain lower levels of polyphenols than those derived from leaves, they provide unique bioactive components, including alkaloids and triterpenoids. The structural simplicity of the compounds in hemp roots—characterized by fewer hydroxyl groups and distinct bonding patterns—plays a key role in their resistance to alterations caused by decarboxylation. In contrast, the phenolic compounds in hemp leaves, such as flavonoids and lignans, have a higher abundance of hydroxyl (-OH) groups attached to aromatic rings. This feature not only enhances their antioxidant properties but also increases their structural complexity. The positioning of hydroxyl groups at the ortho or para sites in flavonoid molecules further facilitates radical scavenging, which explains the superior antioxidant activity of hemp leaf extracts. These characteristics make hemp leaves particularly suitable for phytocannabinoid extraction due to their intricate phenolic structures and enhanced hydrogen-bonding potential.

The control factors for raw material preparation, such as drying and grinding, before the activation process, are critical steps in optimizing extraction efficiency. The consistency of these findings with those of Olmos *et al.* (2022) suggested that slow drying methods for raw material preparation (Challa *et al.*, 2021) and particle size reduction to less than 0.5 mm for milling or sieving (Ko and Hughes, 2019) are essential steps before solvent extraction. This study determined that a ratio of 12% hemp leaves to CPKO was optimal, corroborating the work of Carcieri *et al.* (2017), who reported a 10% ratio for cannabis flower extraction using olive oil. During extraction, the packing method of hemp leaves was given particular attention to the packaging method, in which cloth bags were employed to contain hemp leaves, facilitating efficient waste filtration and

sterilization. This approach enhances material distribution and sterilization, consistent with the findings of Olmos *et al.* (2022). The activation of raw materials is a critical step in the extraction process, and various methods, such as prolonged low-temperature heating or ultrasonic stimulation, can promote decarboxylation. In this experiment, raw materials were sterilized at 121°C for 21 minutes in an autoclave, ensuring effective activation under controlled pressure and temperature. Both the raw materials and the cloth bags underwent sterilization before the activation process. The study found a statistically significant interaction ($P < 0.01$) between the proportion of hemp leaves to CPKO and the heating duration on extraction outcomes. A ratio of 12% hemp leaves to CPKO, heated at 110°C for 4-6 h, produced the highest antioxidant content and activity, supporting the findings of Fućak *et al.* (2023). The optimal temperature range for extraction was determined to be between 110°C and 120°C, with activation times of 2 to 6 h in a hot air oven. Specifically, heating at 110°C for 6 h significantly enhanced the decarboxylation process, increasing the total CBD content in hemp leaves by more than 38% compared to the 4 h heating duration.

The prototype product, EMPL, containing 25-29% phytocannabinoid extract in CPKO and formulated to include concentrations of 40% lauric acid, was designed for oral administration. Which is an effective method of delivering liquid nutrients to suckling piglets, allowing for precise control over nutrient and energy intake. This approach particularly benefits a sow's inadequate production or weak piglets after birth (Jackman *et al.*, 2020). Phytocannabinoids have been shown to reduce stress by interacting with the endocannabinoid system, thereby helping to regulate stress responses (Hassan *et al.*, 2023). Additionally, their anti-inflammatory properties support gut health, reduce inflammation, improve nutrient absorption, and promote growth performance (Gyires & Zádori, 2016; Toschi *et al.*, 2020). A study by Lauridsen *et al.* (2020) observed that MCFAs, along with other energy-dense liquids, promote rapid energy uptake, facilitating accelerated growth in piglets during the suckling phase. The antimicrobial and energy-rich properties of lauric acid and phytocannabinoids further enhance piglet vitality. Vodolazska *et al.* (2023) also highlighted improvements in intestinal barrier integrity and microbiota modulation, leading to better health outcomes. This increased energy availability encourages "udder-sitting" behavior, where piglets remain close to the udder to optimize colostrum and milk intake, supporting stronger growth and development. The aforementioned findings support the hypothesis that EMPL, as an energy supplement, promotes growth performance in piglets by providing readily accessible energy. Moreover, piglets receiving EMPL exhibited improved suckling behavior, as evidenced by a significant increase in milk intake ($P < 0.01$). This suggests that EMPL may

enhance piglet vitality and responsiveness, improving their ability to stimulate and maintain access to the sow's teats, ultimately increasing milk intake.

An evaluation of EMPL in suckling piglets demonstrated positive effects on growth performance and improved production efficiency. To further elucidate its impact, a comprehensive study of the blood parameters in piglets is recommended.

Phytocannabinoids were extracted from 12% hemp leaves in CPKO (crude palm kernel oil) as the solvent. The extraction process included autoclaving at 121°C for 21 minutes under 0.11 MPa to activate the hemp materials, followed by heating in a hot air oven at 110°C for 6 h to facilitate decarboxylation and extraction. The resulting EMPL emulsion was formulated to contain 25-29% phytocannabinoid extract in CPKO, with adjustments made to achieve a 40% lauric acid content by incorporating triglyceride oil and lauric acid powder. Improved milk consumption, weight gain, and growth rates during the suckling period were observed in piglets that were orally administered the EMPL supplement.

Acknowledgments

This work was financially by Naresuan University (NU), and the Thailand Science Research and Innovation (TSRI) Grant No. R2567B039. We also appreciate the support provided by the Medical Cannabis Research Laboratory, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, for facilitating the examination of hemp leaf and root cannabinoid derivatives. Additionally, we acknowledge the supply of raw materials from Firstly Tech Co., Ltd. and Prototype factory producing feed additives in livestock (Agri InNovel Tech) from N Feed Plus Co., Ltd.

References

- Andre, C. M., Hausman, J. F. and Guerriero, G. (2016). *Cannabis sativa* L.: the plant of the thousand and one molecules. *Frontiers in Plant Science*, 7:19.
- Atalay, S., Jarocka-Karpowicz, I. and Skrzydlewska, E. (2020). Antioxidative and anti-inflammatory properties of cannabidiol. *Antioxidants*, 9:21.
- AOAC (1993). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official methods of analysis of AOAC International (14th ed.). Association of Official Analytical Chemists, USA.
- AOAC (2005). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official methods of analysis of AOAC International (18th ed.). AOAC International. (Method 934.01).
- AOAC (2012). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official methods of analysis of AOAC International (19th ed.). AOAC International. (Method 942.05).
- AOAC (2019) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International. 21st Edition, AOAC, Washington DC.

- AOAC (2023). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official methods of analysis of AOAC International (22nd ed.). AOAC International. (Method 920.39).
- AOCS (2017). Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society (7th ed.). AOCS Press. (Method Cd 1-25).
- AOCS (2003). Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society (6th ed.). AOCS Press. (Method Cd 8-53).
- Bartončíková, M., Bartončíková, B., Lapčík, L. and Valenta, T. (2023). Hemp-Derived CBD Used in Food and Food Supplements. *Molecules*, 28:8047.
- Benkhaira, N., Koraichi, S. I. and Fikri-Benbrahim, K. (2022). In vitro methods to study antioxidant and some biological activities of essential oils: a review. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12:3332-3347.
- Booth, J. K., Page, J. E. and Bohlmann, J. (2020). Terpene synthases from *Cannabis sativa*. *PLoS One*, 12:e0173911.
- Borrelli, F., Fasolino, I., Romano, B., Capasso, R., Maiello, F., Coppola, D., Orlando, P., Battista, G., Pagano, E., Di Marzo, V. and Izzo, A. A. (2013). The beneficial effect of the non-psychoactive plant cannabinoid cannabigerol on experimental inflammatory bowel disease. *Biochemical Pharmacology*, 85:1306-1316.
- Brunela, H. P., Buijsa, W., Spronsena, J. V., Roosmalenb, C. J., Verpoorted, R., and Witkampa, G. J. (2011). Decarboxylation of D9-tetrahydrocannabinol: Kinetics and molecular modeling. *Journal of Molecular Structure*, 987:67-73.
- Carcieri, C., Tomasello, C., Simiele, M., De Nicolò, A. and Avataneo, V. (2017). Cannabinoids extraction from *Cannabis sativa* L. using palm kernel oil: Optimization and yield analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(28):5655-5661.
- Challa, S. K. R., Misra, N. N. and Martynenko, A. (2021). Drying of cannabis—state of the practices and future needs. *Drying Technology*, 39:2055-2064.
- Carcieri, C., Tomasello, C., Simiele, M., Di Nicolò, A., Avataneo, V., Canzoneri, L., Cusato, J., Di Perri, G. and D'Avolio, A. (2018). Cannabinoid concentration variability in cannabis olive oil galenic preparations. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 70:143-149.
- Citti, C., Braghiroli, D., Vandelli, A. M. and Cannazza, G. (2018). Pharmaceutical and biomedical analysis of cannabinoids: A critical review. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 147:565-579.
- Da Porto, C., Decorti, D. and Natolino, A. (2014). Microwave pretreatment of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed: Optimization of oil yield and quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62:9651-9655.
- Farag, S. and Kayser, O. (2015). Cannabinoid production by hairy root cultures of *Cannabis sativa* L. compared to cell suspension cultures. *Natural Product Communications*, 10:421-426.
- FDA (2001). *Bacteriological Analytical Manual (BAM)* online. U.S. Food and Drug Administration. Chapters 3 and 18.
- Fox, J., and Weisberg, S. (2020). *Car: Companion to Applied Regression*. [R package]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=car>.
- Fučák, T., Kreft, S., Svedružić, Z. M. and Tavčar, E. (2023). Mechanism and kinetics of CBDA decarboxylation into CBD in hemp. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 32:608-621.
- Gul, S., Gul, H., Masoodi, F. A., Shah, Z. A. and Ganai, S. A. (2021). Phytochemical and pharmacological review of *Cannabis sativa* L. with a special focus on industrial hemp. *Journal of Phytomedicine*, 10:189-204.
- Gyires, K. and Zádori, Z. (2016). Role of cannabinoids in gastrointestinal mucosal defense and inflammation. *Current Neuropharmacology*, 14:935-951.

- Hassan, F., Lin, C., Mehboob, M., Bilal, R. M., Arain, M. A., Siddique, F., Chen, F., Li, Y., Zhang, J., Shi, P., Lv, B. and Lin, Q. (2023). The potential of dietary hemp and cannabinoids to modulate the immune response to enhance health and performance in animals: opportunities and challenges. *Frontiers in Immunology*, 14:1285052.
- Iffland, K. and Grotenhermen, F. (2017). An update on safety and side effects of cannabidiol: a review of clinical data and relevant animal studies. *Cannabis and Cannabinoid Research*, 2:139-154.
- ISO. (2020). Microbiology of the food chain - Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella* (ISO 6579-1:2017/Amd.1:2020). International Organization for Standardization.
- Jackman, J. A., Boyd, J. R. and Elrod, C. C. (2020). Medium-chain fatty acids and monoglycerides as feed additives for pig production: towards gut health improvement and feed pathogen mitigation. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11:44.
- Jadhav, H. B. and Annature, U. S. (2023). Triglycerides of medium-chain fatty acids: a concise review. *Journal of Food Science and Technology*, 60:2143-2152.
- Jin, D., Dai, K., Xie, Z. and Chen, J. (2020). Secondary metabolites profiled in cannabis inflorescences, leaves, stem barks, and roots for medicinal purposes. *Scientific Reports UK*, 10:1-14.
- Khouchlaa, A., Khourib, S., Hajibc, A., Zeoukd, I., Amaliche, S., Msairif, S., Menyiyg, N., Raish, C., Lahyaouii, M., Khalidj, A., Omarii, N., Kumariq, Y. and Bouyahya, A. (2024). Health benefits, pharmacological properties, and metabolism of cannabinol: A comprehensive review. *Industrial Crops and Products*, 213:118359.
- Ko, R. D. and Hughes, B. (2019). Cannabinoid extraction and distillation. U.S. Patent No. 10,413,843. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Kornpointner, C., Martinez, A.S., Marinovic, S., Haselmair-Gosch, C., Jamnik, P., Schroder, K., Lofke, C. and Halbwirth, H. (2021). Chemical composition and antioxidant potential of *Cannabis sativa* L. roots. *Industrial Crops and Products*, 165:113422.
- Lauridsen, C. (2020). Effects of dietary fatty acids on gut health and function of pigs pre- and post-weaning. *Journal of Animal Science*, 98:skaa086.
- Lima, T. M., Santiago, N. R., Alves, E. C. R., Chaves, D. S. A. and Visacri, M. B. (2022). Use of cannabis in the treatment of animals: a systematic review of randomized clinical trials. *Animal Health Research Reviews*, 23:25-38.
- Lohmann, A., Cogan, T. M. and Linstrom, B. (2019). Thermal decarboxylation of cannabinoids: optimization of process parameters using autoclave-based extraction. *Journal of Natural Products*, 82:1241-1249.
- Lust, C. A. C., Hillyer, L. M., Pallister, M., Rogers, M. A., Rock, E. M., Limebeer, C. L., Parker, L. A. and Ma, D. W. L. (2023). Orally consumed cannabinoids: the effect of carrier oil on acute tissue distribution in male C57BL/6 mice. *Research Square*, Retrieved from <https://assets-eu.researchsquare.com/files/rs-4783415/v1/66b42e8d-bcf7-4910-9d86-095ea09840fa.pdf>
- Maly, P., Sutaneg, T. and Kaewjinda, W. (2023). Traditional extraction of phytocannabinoids from hemp byproducts using oil-based solvents: Applications in Thai herbal medicine. *International Journal of Agricultural Technology*, 19:1125-1140.
- Minarti, M., Ariani, N., Megawati, M., Hidayat, A., Hendra, M., Primahana, G. and Darmawan, A. (2024). Potential antioxidant activity methods: DPPH, ABTS, FRAP, total phenol and total flavonoid levels of *Macaranga hypoleuca* (Reichb. f. & Zoll.) leaves extract and fractions. *E3S Web of Conferences*, 503:07005.
- Miranda-Cortés, A., Mota-Rojas, D., Crosignani-Outeda, N., Casas-Alvarado, A., Martínez-Burnes, J., Olmos-Hernández, A., Mora-Medina, P., Verduzco-Mendoza, A. and

- Hernández-Ávalos, I. (2023). The role of cannabinoids in pain modulation in companion animals. *Frontiers in Veterinary Science*, 9:1050884.
- Montero, L., Ballesteros-Vivas, D., Ballesteros-Vivas, A. F. and Sánchez-Camargo, A. D. P. (2023). Hemp seeds: Nutritional value, associated bioactivities and the potential food applications in the Colombian context. *Frontiers in Nutrition*, 9:1039180.
- Moreno, T., Dyer, P. and Tallon, S. (2020). Cannabinoid Decarboxylation: A Comparative Kinetic Study. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59:20307-20315.
- Moreno-Sanz, G., Vera, C. F., Sánchez-Carnerero, C., Roura, X. N. and Baena, S. D. M. (2020). Biological Activity of *Cannabis sativa* L. Extracts Critically Depends on Solvent Polarity and Decarboxylation. *Separations*, 7:56.
- Nachnani, R., Raup-Konsavage, W. and Vrana, K. E. (2021). The Pharmacological Case for Cannabigerol. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 376:204-212.
- Nguyen, N. A., Forstater, H. and McIntosh, J. (2024). Decarboxylation in Natural Products Biosynthesis. *Journal of the American Chemical Society*, 4:2715-2745.
- Olmos, C. L., Chiara-Carcieri, M. T., Hidalgo, J., Ferrerio-Vera, C. and Medina, V. S. (2022). Comprehensive comparison of industrial cannabinoid extraction techniques: Evaluation of the most relevant patents and pilot-scale studies. *Frontiers in Natural Products*, 1:1043147.
- Palazzolo, G., Licata, M., Carbone, A. and Zito, P. (2020). Flavonoids: An overview of their therapeutic potential and recent advances in drug delivery. *Phytotherapy Research*, 34:1838-1856.
- R Core Team (2021). R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>.
- Reason, D. A., Grainger, M. N. C. and Lane, J. R. (2022). Optimization of the Decarboxylation of Cannabis for Commercial Applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61:7823-7832.
- Regan, M., O'Brien, F. and Lynch, P. (2022). Thermal decarboxylation kinetics of cannabinoid acids in hemp biomass: Optimization for industrial processing. *International Journal of Agricultural Technology*, 18:1125-1140.
- Rocca, G. D. and Salvo, A. D. (2020). Hemp in Veterinary Medicine: From Feed to Drug. *Animal Nutrition and Metabolism*, 7:387.
- Ryu, B. R., Islam, M. J., Azad, M. O. K., Go, E. J., Rahman, M. H., Rana, M. S., Lim, Y. S. and Lim, J. D. (2021). Conversion characteristics of some major cannabinoids from hemp (*Cannabis sativa* L.) raw materials by a new rapid simultaneous analysis method. *Molecules*, 26:4113.
- The jamovi project (2022). Jamovi. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- Tomar, R. S., Jha, S. K., Singh, V. and Shukla, P. (2021). Cannabinoid biosynthetic pathway: Current and future perspectives in metabolic engineering. *Biotechnology Advances*, 48: 107702.
- Toschi, A., Tugnoli, B., Rossi, B., Piva, A. and Grilli, E. (2020). Thymol modulates the endocannabinoid system and gut chemosensing of weaning pigs. *BMC Veterinary Research*, 16:289.
- Tymoszczyk, M. K. (2013). The effect of oil-soluble rosemary extract, sodium erythorbate, their mixture, and packaging method on the quality of Turkey meatballs. *Journal of food science and technology*, 50:443-454.
- Vaclavik, L., Benes, F., Fenclova, M., Hricko, J., Krmela, A., Svobodova, V., Hajslova, J. and Mastovska, K. (2019). Determination of cannabinoids in cannabis products by liquid chromatography: AOAC Official Method 2018.11. *Journal of AOAC International*, 102:1426-1433.

- Valizadehderakhshan, M., Shahbazi, A., Kazem-Rostami, M., Todd, M. S., Bhowmik, A. and Wang, L. (2021). Extraction of Cannabinoids from *Cannabis sativa* L. (Hemp) - Review. *Agriculture*, 11:384.
- Vodolazska, D. and Lauridsen, C. (2020). Effects of dietary hemp seed oil to sows on fatty acid profiles, nutritional and immune status of piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11:28.
- Vodolazska, D., Feyera, T., Foldager, L. and Lauridsen, C. (2023). The influence of supplementary feeding during suckling and later weaning on growth performance, incidences of post-weaning diarrhea, and immunity of piglets. *Livestock Science*. 276:105321.

(Received: 2 October 2024, Revised: 24 April 2025, Accepted: 7 May 2025)



Article

Medium-Chain Triglyceride Emulsion with Phytocannabinoids and Monolaurin Improves Growth and Survival in Suckling Piglets

Adisak Kongkeaw ¹, Wandee Tartrakoon ^{1,*}, Sonthaya Numthuam ¹, Tossaporn Incharoen ¹ ,
Noraphat Hwanhlem ¹ , Juan J. Loor ²  and Rangsun Charoensook ^{1,*} 

¹ Department of Agricultural Science, Division of Animal Science and Feed Technology, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand; adisakk64@nu.ac.th (A.K.); sonthayan@nu.ac.th (S.N.); tossaporni@nu.ac.th (T.I.); noraphath@nu.ac.th (N.H.)

² Department of Animal Sciences, Division of Nutritional Sciences, University of Illinois, Urbana, IL 61801, USA; jloor@illinois.edu

* Correspondence: wandeeta@nu.ac.th (W.T.); rangsunc@nu.ac.th (R.C.)

Simple Summary

Pre-weaning mortality is a persistent challenge in pig production, particularly among low-birth-weight piglets from hyper-prolific sows. To support early growth and survival, this study evaluated a medium-chain triglyceride emulsion (MCTE) and its derivatives supplemented with hemp-derived phytocannabinoids (MCTE-P) or with both phytocannabinoids and monolaurin (MCTE-PM). Compared with antibiotic prophylaxis, emulsion-supplemented piglets showed faster growth, greater colostrum and milk intake, and reduced mortality. MCTE-PM shows clearer benefit in reduced diarrhea-related deaths, improved blood parameters, and alleviated aggressive suckling behaviors such as teat competition and facial lesions. These findings suggest that MCT-based emulsions, particularly MCTE-PM, represent promising nutritional alternatives to antibiotics for improving neonatal piglet health and welfare.



Academic Editor: Xiangfeng Kong

Received: 12 September 2025

Revised: 29 September 2025

Accepted: 30 September 2025

Published: 1 October 2025

Citation: Kongkeaw, A.; Tartrakoon, W.; Numthuam, S.; Incharoen, T.; Hwanhlem, N.; Loor, J.J.; Charoensook, R. Medium-Chain Triglyceride Emulsion with Phytocannabinoids and Monolaurin Improves Growth and Survival in Suckling Piglets. *Animals* **2025**, *15*, 2881. <https://doi.org/10.3390/ani15192881>

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of medium-chain triglyceride (MCT) emulsions enriched with hemp-derived phytocannabinoids, with or without monolaurin, on neonatal piglet growth, health, and behavior. Trial 1 used an augmented factorial design with 75 sows and 1063 piglets to compare a baseline MCT emulsion (MCTE) with a phytocannabinoid-supplemented emulsion (MCTE-P) at low or high doses against toltrazuril control. All MCT emulsions improved key performance indicators such as weight gain and survival rates compared to the control group. In particular, live-born piglets at 24 h in the MCTE-P groups showed significantly greater body weight gain and colostrum intake compared with controls ($p < 0.05$). While overall pre-weaning mortality rates were similar across groups, the incidence of diarrhea- and starvation-related deaths was significantly lower in MCTE-P piglets ($p < 0.05$). Based on these results, Trial 2 involved 36 sows and 509 piglets assigned to three groups: low-dose MCTE-P (the optimal regimen from Trial 1), low-dose MCTE-P supplemented with monolaurin (MCTE-PM), and a toltrazuril control. Both MCTE-P and MCTE-PM improved average daily gain at weaning relative to the control group. MCTE-PM showed the lowest pre-weaning mortality (14.3%) and diarrhea-related deaths (0.86%), compared with 29.4% and 10.4% in controls, respectively ($p < 0.05$). Hematological analyses indicated that eosinophil percentages were lowest in the MCTE-PM group ($p < 0.05$), while serum total protein and globulin concentrations remained elevated in emulsion-treated

piglets ($p < 0.001$). Behavioral assessments of 108 low-birth-weight piglets showed prolonged latency to first suckling in emulsion-treated groups, while teat competition and facial lesion scores, reflecting aggressive interactions, were reduced compared with controls. Overall, these findings demonstrate that MCT emulsions supplemented with phytocannabinoids and monolaurin improved growth and survival in neonatal piglets, especially those of low to medium birth weight, and highlight their potential as nutraceutical alternatives to antibiotic prophylaxis in swine production.

Keywords: medium-chain triglycerides; phytocannabinoids; monolaurin; neonatal piglets; antibiotic alternatives

1. Introduction

Pre-weaning mortality remains a critical challenge in modern swine production, arising from multiple causes such as crushing, inadequate milk intake, diarrhea, and gastrointestinal infections [1]. This issue has become more pronounced with the rapid genetic selection for hyper-prolific sows, producing litters of more than 16 piglets and over 30 weaned piglets per sow each year. While these advances have increased productivity, they have also led to a higher incidence of low-birth-weight piglets (<1.20 kg) [2], which are particularly vulnerable due to limited energy reserves, reduced thermoregulation, and slower access to the udder [3]. Consequently, pre-weaning mortality rates can exceed 20% in hyper-prolific breeds, compared with only 10–12% in conventional lines [4]. This high mortality is strongly associated with the limited viability of low-birth-weight piglets, highlighting the critical role of early nutrition. Since colostrum and sow's milk are the exclusive nutrient sources for neonatal piglets, sufficient energy intake during the first days of life is essential for survival [5,6]. To address this challenge, nutritional supplementation strategies, particularly with medium-chain triglycerides (MCTs), have been proposed to provide rapidly absorbable energy that supports early growth and reduces mortality in low-birthweight piglets [7,8].

Medium-chain fatty acids (MCFAs) and their derivatives exert multiple beneficial effects in swine [9]. Among these, medium-chain triglycerides (MCTs) are rapidly absorbed and metabolized, providing readily available energy to neonatal piglets with limited glycogen reserves, supporting thermoregulation, intestinal development, and early growth. In addition to their energetic role, MCTs—particularly those enriched with lauric acid (C12) and its derivatives—exert important antimicrobial, antiviral, and immunomodulatory effects in swine [10–13]. Studies in swine have demonstrated that low-level supplementation with MCTs can stabilize gut microbiota, support intestinal integrity, and reduce gastrointestinal disturbances across different production stages [9,14]. For example, a 2% dietary blend of caproic (C6:0), caprylic (C8:0), and capric acids (C10:0) in equal ratios inhibited porcine epidemic diarrhea virus (PEDV), improved intestinal morphology, and reduced viral load, thereby enhancing growth performance and mitigating PEDV infectivity [15]. Similarly, there have been reports on the use of calcium laurate (C12-Ca) at approximately 1 g/kg feed, which improved feed efficiency, increased gastric acidity, reduced diarrhea, and attenuated inflammation and oxidative stress, thereby demonstrating beneficial effects at relatively low supplementation levels [16,17]. By contrast, higher levels of lauric acid have been associated with strong antiviral activity, including suppression of PEDV, alongside improvements in feed efficiency and reductions in diarrhea incidence [18]. At even greater concentrations (~60%), lauric acid and its monoglyceride monolaurin have been shown to activate G-protein coupled receptor 84 (GPR84), thereby stimulating cytokine signaling and leukocyte activity, and ultimately enhancing innate immune responses [13].

These findings suggest that low and high doses of lauric acid-based MCT formulations confer distinct but complementary benefits, ranging from gut microbiota stabilization to immune activation, supporting their application as nutraceutical alternatives to antibiotic prophylaxis in swine production.

Phytocannabinoids are a group of lipophilic bioactive compounds derived primarily from hemp (*Cannabis sativa*). Their lipophilic nature underlies their biological activity and contributes to their interaction with cellular membranes and signaling pathways [19]. Functionally, phytocannabinoids exhibit antioxidant and anti-inflammatory effects by inhibiting lipoxygenase activity, stabilizing radical intermediates, and reducing free radical reactivity, thereby mitigating oxidative stress and attenuating inflammation at the cellular level [20–22]. In addition, their interactions with cannabinoid receptors modulate immune responses, supporting gut integrity, nutrient absorption, and systemic immunity [23,24]. These components collectively enhance gut integrity, nutrient absorption, and systemic immunity, outcomes that are reflected by increased mean corpuscular hemoglobin concentration, elevated serum total protein and globulin, and reduced eosinophil counts [14]. Due to their fat-soluble properties, oil-based formulations serve as an effective medium to improve the stability and bioavailability of phytocannabinoids [23]. When included in medium-chain triglyceride (MCT) emulsions, Phytocannabinoids may enhance the energetic function of MCTs and their positive impact on the growth and survival of neonatal piglets. Based on this rationale, it was hypothesized that phytocannabinoid-enriched MCT emulsions would improve early growth and immunity, and that the addition of monolaurin would further reduce mortality through antimicrobial effects. These considerations suggest that MCT-based emulsions incorporating phytocannabinoids, with or without additional monolaurin, represent a promising nutritional approach that warrants investigation as an alternative to antibiotics in pig production.

Therefore, this study aimed to evaluate the effects of MCT-based emulsions enriched with phytocannabinoids and monolaurin on growth performance and health indicators, including serum biochemical parameters, pre-weaning mortality, and diarrhea incidence, in suckling piglets.

2. Materials and Methods

The current study was carried out at the farrowing and lactation unit of Wilaiporn Farm, Nakhon Sawan Province, Thailand. All experimental procedures, including animal care and management, were reviewed and approved by the Naresuan University Animal Care and Use Committee (ACUC; approval number 67 01 002, 9 July 2024).

2.1. Medium-Chain Triglyceride Emulsion Formulations

Three medium-chain triglyceride (MCT) emulsions were used in this study. The base-line formulation of MCT emulsion (MCTE) was developed under a registered petty patent by Naresuan University, Thailand (Application No. 2503000945). To generate derivative formulations, the phytocannabinoid-enriched emulsion (MCTE-P) was prepared by incorporating extracts obtained from 12% hemp leaves into crude palm kernel oil through a controlled 6-h heating process [20,25]. The cannabinoid profile of the extract was 0.168% cannabidiol (CBD), 0.083% cannabidiolic acid (CBDA), and 0.017% tetrahydrocannabinol (THC). The total THC content was well below the 0.2% legal threshold, ensuring the formulation was non-psychoactive and compliant with Thai safety regulations. A second derivative, MCTE-PM, was produced by supplementing MCTE-P with glycerol monolaurate (monolaurin).

All emulsions were manufactured under standardized procedures, and their fatty acid composition, chemical characteristics, quality parameters, and microbiological safety were verified by a certified analytical laboratory (Table 1).

Table 1. Fatty acid and chemical composition of medium-chain triglyceride emulsions (MCTE, MCTE-P, and MCTE-PM) used in Trials 1 and 2.

Item ¹	MCTE	MCTE-P	MCTE-PM
Fatty acid composition (g/100 g)			
Caproic acid (C6:0)	0.09	0.09	0.09
Caprylic acid (C8:0)	1.38	1.26	1.12
Capric acid (C10:0)	1.37	1.25	1.21
Lauric acid (C12:0)	33.94	41.42	41.23
Medium-chain fatty acids (MCFA)	36.80	44.04	43.67
Myristic acid (C14:0)	5.97	5.93	5.48
Palmitic acid (C16:0)	7.62	9.08	8.22
Stearic acid (C18:0)	1.43	1.45	1.42
Arachidic acid (C20:0)	0.16	0.19	0.15
Behenic acid (C22:0)	0.07	0.09	0.07
Lignoceric acid (C24:0)	0.07	0.08	0.06
Saturated Fatty acid (g/100 g)	52.10	60.84	59.05
Palmitoleic acid (C16:1n7)	0.05	0.05	0.05
Trans-9-Elaidic acid (C18:1n9-t)	0.03	0.06	0.05
cis-9-Oleic acid (C18:1n9-c)	13.21	14.92	13.81
cis-11-Eicosenoic acid (C20:1n11-c)	0.13	0.15	0.12
Nervonic acid (C24:1n9)	0.03	0.05	0.04
Monounsaturated fatty acid (g/100 g)	13.46	15.12	14.08
cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6)	7.31	7.71	7.04
gamma-Linoleic acid (C18:3n6)	0.03	0.04	0.03
alpha-Linoleic acid (C18:3n3)	0.40	0.59	0.48
cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)	0.06	0.03	0.03
Arachidonic acid (C20:4n6)	0.01	0.01	0.01
Polyunsaturated Fatty acid (g/100 g)	7.66	7.59	7.38
Unsaturated fat (g/100 g)	21.32	22.42	21.64
Omega 3 (mg/100 g)	442.00	498.42	482.64
Omega 6 (mg/100 g)	7358.63	7761.14	7478.79
Omega 9 (mg/100 g)	13,242.06	14,270.29	12,841.89
Chemical composition			
Ash	0.12	0.12	0.10
Calories from Fat (kcal/100 g)	661.59	788.94	748.78
Carbohydrates (g/100 g)	<0.01	<0.01	<0.01
Fat (g/100 g)	73.51	87.65	82.42
Water Content (%)	15.23	15.42	15.32
Iodine Value (%)	47.85	41.89	42.30
Peroxide Value (mEq Peroxide/kg)	3.7	4.73	5.23

¹ MCTE = baseline MCT emulsion; MCTE-P = MCTE supplemented with phytocannabinoids; MCTE-PM = MCTE-P further supplemented with monolaurin.

2.2. Animals and Experimental Design

The study was conducted with crossbred piglets (Landrace × Landrace × Duroc), which were born to multiparous sows (parity 3–6). Two trials were conducted to evaluate the efficacy of MCT emulsions as oral supplements in neonatal piglets. Trial 1 was designed to compare the efficacy of a baseline MCT emulsion (MCTE) with that of a phytocannabinoid-supplemented emulsion (MCTE-P), while also determining the most effective oral dosage (low vs. high). Trial 2 employed the optimal formulation and dosage identified in Trial 1 to assess further the additional effect of monolaurin supplementation

(MCTE-PM). Both trials compared results with a reference group of piglets receiving standard antibiotic prophylaxis. The experimental timeline, including three critical timepoints, is illustrated in Figure 1.

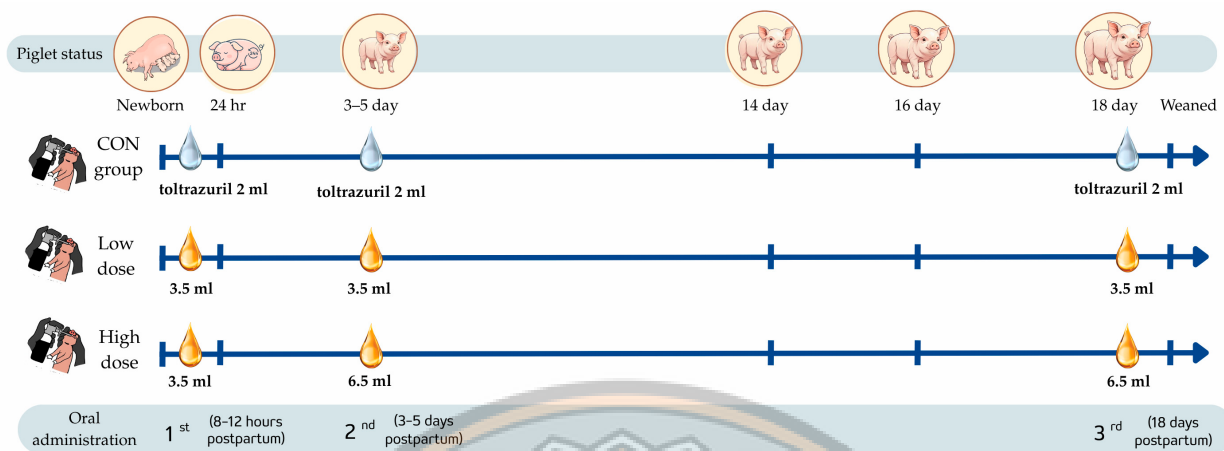


Figure 1. Piglet supplementation schedule showing three critical timepoints: early neonatal (8–12 h), early postnatal (3–5 days), and pre-weaning (16–18 days) periods.

In Trial 1, seventy-five multiparous sows were randomly allocated into five treatment groups (15 L per group), producing 1063 piglets (average litter size: 14.17 piglets per sow). Oral supplementation was administered at three critical physiological stages: 8–12 h postpartum to address immediate energy needs and hypoglycemia risk, days 3–5 during rapid growth and immune maturation, and days 16–18, preceding weaning, to assess sustained effects on peak growth and pre-weaning health status. Creep feed was withheld for the first 10 days postpartum to isolate the effects of the oral supplement. The trial employed an augmented factorial design ($2 \times 2 + \text{control}$), with two factors: (A) emulsion formulation (MCTE vs. MCTE-P) and (B) dosage regimen: low dose (3.5 mL at each of the three administrations) and high dose (3.5 mL at the first, followed by 6.5 mL at the second and third administrations). The control group (CON) received oral toltrazuril at 100 mg per piglet (2 mL of a 5% solution, 50 mg/mL, Toltrazuril 5%) at all three time points [26]. This design enabled assessment of formulation efficacy, dose dependency, and interactions, with the control serving as the reference for standard antibiotic prophylaxis.

In Trial 2, thirty-six multiparous sows (parity 3–6) were randomly allocated into three treatment groups, yielding 509 neonatal piglets. Oral supplementation was administered at three timepoints aligned with Trial 1: the first within 8–12 h after farrowing, the second on day 5, and the third on day 18 postpartum. The trial followed a completely randomized design with three groups: (1) a control group (CON) receiving oral toltrazuril at the same dosage as in Trial 1 (100 mg per piglet, 2 mL of a 5% solution), (2) piglets supplemented with 3.5 mL of MCT emulsion containing phytocannabinoids (MCTE-P), and (3) piglets supplemented with 3.5 mL of the same emulsion further enriched with monolaurin (MCTE-PM).

Both trials included growth, intake, survival, and blood profile measurements, while Trial 2 incorporated behavioral observations to extend the assessment of treatment efficacy.

2.3. Productivity and Health Measurements

Productivity and health measurements were collected from piglets born to multiparous sows (parity 3–6) across both trials to ensure consistency in reproductive and lactational performance. Assessments included:

- (1) Piglet performance—litter size at birth, number of live-born piglets, and litter size at 5, 14, and 18 days postpartum.
- (2) Piglet body weights at 24 h, 5, 14, and 18 days of age, measured with precision digital scales (± 0.01 g) by Blavi et al. [27], Chisoro et al. [28], Peltoniemi et al., [29].
- (3) Health outcomes—pre-weaning mortality rate, recorded from birth to 24 h and throughout the suckling period, with incidence and causes of death documented.
- (4) Nutritional intake—colostrum and milk intake per piglet, calculated using validated equations for suckling piglets adapted by Miguel et al. [30]; Thongkhuy et al. [31].

Colostrum intake (mL/piglet) was calculated as: $CI = -106 + 2.26 WG + 200 BW_B + 0.111 D - 1414 WG/D + 0.0182 WG/BWB$, where WG is piglet weight gain over 24 h (g), BW_B is birth weight (kg), and D is the duration of colostrum suckling (min). The colostrum yield of the sows was defined as the sum of individual colostrum consumption by all piglets in the litter.

Individual milk intake (MI, g/d) was calculated as: $MI = (\text{Milk for maintenance}) + 1.168 \times \text{Gain} + 0.00425 \times \text{Gain}^2$, where milk for maintenance was set at 317 g/day for days 3 to 5.

2.4. Hematological and Biochemical Assessments

At 18 days old (8–12 h after the final treatment), piglets weighing 4.5–5.0 kg were randomly chosen from each experimental group for blood sampling. In Trial 1, ten piglets per group were sampled (total $n = 50$), while in Trial 2, eight piglets per group were sampled (total $n = 24$). Blood samples (3–4 mL) were drawn from the cranial vena cava using 18 G $\times$ 1.5-inch needles into EDTA tubes and kept at 4–8 °C immediately. Within 30 min, samples were centrifuged at $3000 \times g$ for 10 min at 4 °C to separate plasma, which was stored at -20 °C within 24 h before lab analysis.

A complete blood count (CBC), including erythrocyte, leukocyte, and platelet parameters, was performed using an ABX Pentra 60 Hematology Analyzer (Horiba, Grabels, France) to assess hematological profiles [32,33]. Plasma protein profiles, comprising total protein, albumin, and globulin concentrations, were quantified using standardized biochemical assays following veterinary clinical pathology guidelines [34]. Total protein concentration was determined using the Biuret method [35], while albumin was measured by an optimized bromocresol green binding assay on a PKL PPC 125 Automatic Chemistry Analyzer (Pokler Italia, Modena, Italy) [36]. Globulin concentration was calculated as the difference between total protein and albumin.

2.5. Mortality and Welfare-Related Assessments

Data collection in both trials extended beyond productivity measures to obtain a comprehensive understanding of piglet welfare, including mortality classification, behavioral observations, and physical indicators. Mortality was recorded and categorized to identify underlying causes of death, while additional behavioral and physical assessments were performed in Trial 2 to explore potential factors contributing to survival and early-life health.

2.5.1. Mortality Classification

In both trials, mortality events were systematically documented and classified according to a framework adapted from established protocols in previous studies [16,25,37]. Mortality events were recorded immediately upon discovery. Deaths were categorized into four principal causes based on established clinical and observational criteria:

- (1) Milk starvation—characterized by emaciation and milk deprivation, evidenced by frothing at the mouth and severe wasting.

- (2) Weak state—referring to piglets that died due to poor vigor and chronic weakness, typically manifested as small body size, visible skeletal structures, or ongoing disease.
- (3) Crushing—diagnosed when piglets were found flattened beneath the sow with distinctive purplish swelling at compression sites.
- (4) Diarrhea—identified by persistent enteric distress, including yellow staining around the anus, fecal contamination, and malodor.

All cases were recorded immediately upon discovery to ensure accurate documentation. This classification provided important insights into the predominant causes of mortality in neonatal piglets and served as a foundation for extending the investigation to behavioral aspects in Trial 2.

2.5.2. Behavioral and Lesion Assessments

Following observations in Trial 1 that suggested behavioral factors may contribute to mortality risk, additional behavioral assessments were incorporated into Trial 2. For this purpose, eighteen litters containing piglets with low birth weights (1.20–1.50 kg) were selected, and a total of 108 piglets (6 per litter; 36 per treatment group) were included in the behavioral study. Each piglet was individually marked with a 2 × 3-inch neo tape tag placed on the back to allow accurate identification and monitoring. Behavioral data were recorded using overhead video cameras positioned 1.8–2.0 m above the sow pens, and observations were evaluated during the first five days postpartum.

Behavioral evaluations were conducted at two postpartum periods: during the initial 8–12 h after birth and again at 3–5 days postpartum. The assessments were categorized into three domains:

- (1) Suckling frequency (SF), defined as the number of approaches each piglet made to the sow's udder within a two-hour period after treatment [22].
- (2) Latency to first suckling (LFS), measured as the time interval (minutes) from release after supplementation until the piglet successfully suckled, providing an index of neonatal vigor and colostrum acquisition [21].
- (3) Teat competition and establishment (TOE), quantified by recording the frequency of aggressive interactions or attempts to secure a teat within the same two-hour window [38].

In addition to behavioral indicators, facial lesion scoring (FLS) was used as a physical measure of social competition. Lesions were evaluated daily between 10:00 and 12:00 h from day 1 to day 5 postpartum. A four-point scoring scale was applied, where 0 = no visible lesions, 1 = minor scratches (<5 marks), 2 = moderate lesions not covering the entire face, and 3 = severe or extensive wounds affecting much of the facial area. Representative scoring criteria are illustrated in Figure 2. The scoring method was adapted from protocols described by Thongkhuy et al. [31] and Zhang et al. [15].

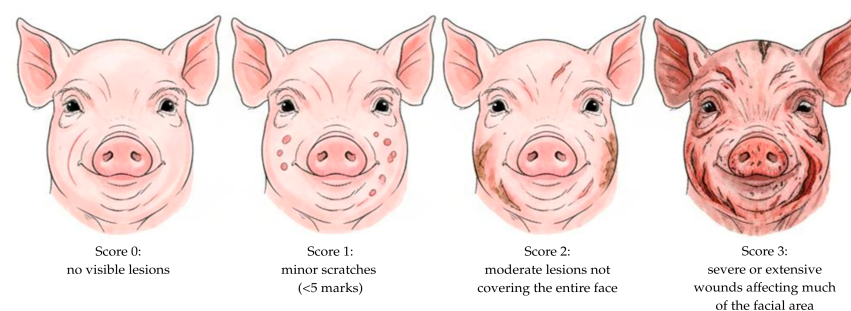


Figure 2. Grading scale for facial lesion scores (0–3) in neonatal piglets, with 0 = no visible lesions, 1 = minor scratches, 2 = moderate lesions, and 3 = severe or extensive wounds.

2.6. Statistical Analysis

Data analysis was conducted using the General Linear Model (GLM) procedure in SPSS version 26 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) to evaluate the effects of emulsion formulations relative to antibiotic control. Data were first tested for normality (Shapiro–Wilk test) and homogeneity of variance (Levene’s test) to confirm the validity of parametric analyses. To account for potential variation arising from differences in initial litter size, litter size at birth was included as a covariate in the GLM for all relevant performance variables, including piglet weight, average daily gain, and mortality rates.

In Trial 1, the augmented factorial design ($2 \times 2 + \text{control}$) was examined with two factors: (A) emulsion formulation (MCTE vs. MCTE-P) and (B) dosage level (low vs. high), along with their interaction. The effects of treatment were subsequently analyzed using Tukey’s Honest Significant Difference (HSD) test for pairwise comparisons upon the identification of significant main or interaction effects. Orthogonal contrasts were utilized to evaluate specific hypotheses: (1) control compared to all emulsion treatments and (2) dosage effects within emulsion groups. In Trial 2, the complete randomized design was evaluated using one-way ANOVA, with treatment as the primary effect (Control, MCTE-P, MCTE-PM). All results are presented as means $\pm$ standard error of the mean (SEM), with statistical significance defined at $p \leq 0.05$.

3. Results

3.1. Trial 1: Effects of MCT Emulsion Formulations and Dosage Levels on Piglet Growth Performance, Colostrum and Milk Intake, and Hematological Parameters

3.1.1. Piglet Performance

In Trial 1, the augmented factorial design evaluated two primary factors: Factor A examined emulsion formulations (MCTE vs. MCTE-P), while Factor B assessed dosage levels (low; L vs. high; H), with a toltrazuril-treated control group serving as the reference standard. The comprehensive assessment included growth performance parameters, colostrum and milk intake measurements, pre-weaning mortality rates, and birth weight-stratified responses to determine optimal treatment protocols (Table 2).

At 24 h postpartum, piglets receiving MCTE-P formulations demonstrated significantly superior weight gain in both L-MCTE-P (0.13 kg) and H-MCTE-P groups (0.13 kg) compared with CON (0.09 kg) and H-MCTE (0.09 kg; $p = 0.001$), indicating enhanced early metabolic adaptation and energy utilization. Colostrum intake reached its maximum in H-MCTE-P (334.63 mL/piglet), significantly higher than CON (287.69 mL/piglet) and L-MCTE (279.93 mL/piglet; $p = 0.006$). Statistical analysis revealed that formulation type exerted a significant main effect ($p < 0.05$), while the absence of formulation $\times$ dose interaction ($p > 0.05$) confirmed that these factors operate independently, allowing for precise optimization of both parameters.

At day 14, growth performance reached optimal levels in H-MCTE-P (170.98 g/day) and H-MCTE group (177.06 g/day), both significantly exceeding control performance (120.97 g/day; $p = 0.010$), with corresponding weight gain differentials confirming sustained treatment efficacy ($p = 0.001$). By weaning, growth differences among groups were less pronounced.

Table 2. The effects of oral administration of medium-chain triglyceride emulsions containing lauric acid with or without Phytocannabinoids, and the dose levels, on the performance of suckling piglets (Trial 1).

Parameters	CON			MCTE			MCTE-P			SEM	p-Value from Orthogonal Contrast			
	CON	L-MCTE		H-MCTE		L-MCTE-P	H-MCTE-P	SEM	CON vs. Emulsion		CON vs. MCTE vs. MCTE-P	A	B	A × B
		15	15	15	15									
Number of sows	15	15	15	15	15	15	15	15						
Newborn piglets														
Number of piglets	229	197	220	208	209	209	209	209	0.31					
Litter size (piglet/sow)	15.27	13.13	14.67	13.87	13.93	13.93	13.93	13.93	0.31					
Birth weight (kg)	1.37	1.31	1.31	1.25	1.28	1.28	1.28	1.28	0.02					
Live born piglets (24 h)														
Number of piglets	202	188	199	191	196	196	196	196	0.02					
Weight (kg)	1.49	1.43	1.42	1.36	1.42	1.42	1.42	1.42	0.01					
Weight gain (kg)	0.09 ^b	0.11 ^{ab}	0.09 ^b	0.13 ^a	0.13 ^a	0.13 ^a	0.13 ^a	0.13 ^a	0.01					
Colostrum intake (mL/piglet)	287.69 ^b	310.51 ^{ab}	279.93 ^b	325.04 ^{ab}	334.63 ^a	334.63 ^a	334.63 ^a	334.63 ^a	5.61					
Piglets at 5 days old														
Number of piglets	183	150	160	171	167	167	167	167	0.05					
Weight (kg)	2.13	1.87	1.91	1.74	1.96	1.96	1.96	1.96	0.038					
ADG (g/day/piglet)	156.29	100.72	132.87	104.90	117.07	117.07	117.07	117.07	8.55					
Milk intakes (mL/piglet)	567.49	501.84	586.41	530.86	545.59	545.59	545.59	545.59	17.63					
Piglets at 14 days old														
Number of piglets	167	146	143	165	165	165	165	165	0.08					
Weight (kg)	3.21	3.57	3.44	3.33	3.52	3.52	3.52	3.52	0.197					
ADG (g/day/piglet)	120.97 ^b	164.24 ^{ab}	155.47 ^{ab}	177.06 ^a	170.98 ^a	170.98 ^a	170.98 ^a	170.98 ^a	7.19					
Number of piglets	143	127	127	148	157	157	157	157	0.18					
Litter size (piglet/sow)	9.50	8.43	8.52	9.88	10.49	10.49	10.49	10.49	0.11					
Weight (kg)	4.27	4.67	4.20	4.29	4.21	4.21	4.21	4.21	0.11					
ADG (g/day/piglet)	163.16	170.67	164.91	171.16	179.93	179.93	179.93	179.93	6.34					
Mortality rate (%)	29.44 ^{ab}	32.69 ^{ab}	35.82 ^a	22.65 ^{bc}	19.69 ^c	19.69 ^c	19.69 ^c	19.69 ^c	1.68					
Milk starvation (%)	15.40 ^a	10.95 ^{ab}	10.20 ^{ab}	6.14 ^{ab}	5.36 ^b	5.36 ^b	5.36 ^b	5.36 ^b	0.96					
Weak state (%)	1.33 ^b	6.07 ^a	6.30 ^a	3.35 ^{ab}	2.40 ^b	2.40 ^b	2.40 ^b	2.40 ^b	0.55					
Crushing (%)	2.47 ^c	7.34 ^b	13.31 ^a	10.20 ^{ab}	8.76 ^b	8.76 ^b	8.76 ^b	8.76 ^b	0.77					
Diarrhea (%)	10.24 ^a	8.33 ^a	6.01 ^{ab}	2.96 ^b	3.17 ^b	3.17 ^b	3.17 ^b	3.17 ^b	0.74					

Note: Different superscript letters (^{a-c}) within the same row indicate significant differences ($p < 0.05$). SEM, standard error of the mean Factor A, emulsion formulation (MCTE vs. MCTE-P); Factor B, dosage level (low vs. high); Factor A × B, interaction between formulation and dosage level; CON, antibiotic control. MCTE, baseline MCT emulsion; MCTE-P, MCTE supplemented with phytocannabinoids; L-, low-dose regimen (3.5 mL at all timepoints); H-, high-dose regimen (3.5 mL initial, then 6.5 mL at subsequent administrations).

3.1.2. Mortality Rate & Causes

Pre-weaning mortality rates were significantly lower in H-MCTE-P (19.69%) and L-MCTE-P (22.65%) compared to CON (29.44%) and MCTE groups (32.69%, 35.82%; $p = 0.016$), with formulation effects showing statistical significance ($p = 0.001$). Mortality attribution analysis indicated significant decreases in deaths due to starvation (5.36% in H-MCTE-P) and diarrhea (3.17% in H-MCTE-P), in contrast to CON and L-MCTE groups, which demonstrated diarrhea-related mortality rates exceeding 8% ($p < 0.05$; Table 2). This indicates that MCTE-P improved early nutrient absorption, litter integrity, and mortality risks in piglets.

3.1.3. Hematological and Biochemical Profiles

The comprehensive hematological analysis in Table 3 revealed significant treatment-induced alterations in erythrocyte indices and leukocyte populations among piglets receiving MCTE-P supplementation, particularly at high dosage levels. Piglets administered H-MCTE-P demonstrated substantially elevated mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC) and red cell distribution width (RDW) compared with control animals ($p < 0.05$), indicating enhanced erythropoietic activity and improved cellular hemoglobin synthesis capacity. The eosinophil percentages demonstrated significant decreases in MCTE-P treated groups ($p < 0.05$), indicating reduced allergic and parasitic inflammatory responses, which are associated with enhanced immune homeostasis and diminished systemic inflammatory response.

Significantly, essential hematological parameters, such as total hemoglobin concentrations, hematocrit values, and total leukocyte counts, remained within physiological range across all treatment groups ($p > 0.05$), thereby affirming the safety profile of the Trial 1 formulations and suggesting that advantageous effects were achieved without impairing baseline hematopoietic function or cellular carrying capacity.

Furthermore, biochemical profiling revealed significant treatment-related enhancements in protein metabolism and immune competence indicators, with serum total protein (TP) and globulin (GLOB) levels significantly elevated in all EMPL treatment groups compared to controls ($p < 0.001$), achieving peak levels in H-MCTE-P and H-MCTE groups (Table 4). However, there were no significant treatment-related changes in albumin, glucose, and triglyceride concentrations ($p > 0.05$).

3.2. Trial 2: Comparative Efficacy of MCTE-P and Monolaurin-Fortified MCT Emulsions (MCTE-PM) on Piglet Performance and Physiological Parameters

3.2.1. Piglet Performance

This trial used the optimal formulation and dosage determined in Trial 1 to further evaluate the additional effect of monolaurin (MCTE-PM). The effects of oral administration of medium-chain triglyceride emulsion containing phytocannabinoids, with or without monolaurin, on the performance of suckling piglets is presented in Table 4.

During the critical 24-h postpartum assessment period, piglets receiving either MCTE-P or MCTE-PM emulsions demonstrated significantly enhanced weight gain (0.13 kg in both treatment groups) compared with control subjects (0.08 kg; $p = 0.001$). The colostrum intake per piglet was significantly higher in both treatment groups, with MCTE-P (328.73 mL) and MCTE-PM (336.73 mL) compared to the control group (276.76 mL; $p = 0.006$). There are no significant differences in piglets at 5 days old; however, the MCTE-P group exhibits the highest average daily gain at 14 days ($p = 0.031$). Finally, during weaning, piglets in the MCTE-P and MCTE-PM groups attained the highest average daily gains of 173.67 and 172.38 g/day, significantly exceeding the control group (107.81 g/day; $p = 0.043$).

Table 3. The effects of oral administration of medium-chain triglyceride emulsions with or without phytocannabinoids, and dosage levels, on hematological parameters and serum protein profiles of pre-weaning piglets (Trial 1).

Parameters	CON	MCTE			MCTE-P			SEM	p-Value from Orthogonal Contrast			
		L-MCTE	H-MCTE		L-MCTE-P	H-MCTE-P		CON vs. Emulsion	CON vs. MCTE vs. MCTE-P	A	B	A × B
Number of piglets	10	10	10	10	10	10	10					
WBC (cell × 10 ⁴ / mm ³)	1.28	1.16	1.37	Complete Blood Count (CBC)				0.057				
RBC (cell × 10 ⁶ / mm ³)	6.69	6.14	6.24	1.14	6.67	6.45	1.31	0.087	0.680	0.760	0.163	0.886
Hemoglobin (g/dL)	11.75	11.07	10.87	11.47	11.36	11.36	11.36	0.22	0.148	0.053	0.747	0.399
Hct (%)	36.20	34.00	34.00	38.60	37.70	37.70	37.70	0.67	0.742	0.367	0.752	0.927
Platelet count (cell × 10 ⁴ / mm ³)	58.43	62.21	62.59	59.95	47.72	47.72	47.72	2.58	0.089	0.005	0.746	0.746
MCV (fL)	53.90	55.00	54.10	57.40	58.20	58.20	58.20	0.67	0.356	0.163	0.331	0.301
MCH (pg)	17.60	18.00	17.40	17.30	17.70	17.70	17.70	0.22	0.142	0.020	0.970	0.530
MCHC (g/dL)	32.70 ^a	32.70 ^a	32.10 ^a	29.90 ^b	30.10 ^b	30.10 ^b	30.10 ^b	0.22	0.874	0.692	0.843	0.326
RDW (%)	17.05 ^b	17.58 ^b	17.15 ^b	19.77 ^a	21.01 ^a	21.01 ^a	21.01 ^a	0.34	<0.001	<0.001	0.468	0.151
Neutrophil (%)	38.00	30.50	32.20	28.80	29.80	29.80	29.80	1.85	<0.001	<0.001	0.509	0.178
Lymphocyte (%)	51.40	61.50	58.70	61.90	62.80	62.80	62.80	1.91	0.557	0.608	0.735	0.930
Monocyte (%)	6.80	6.00	7.00	7.60	6.50	6.50	6.50	0.29	0.323	0.580	0.815	0.649
Eosinophil (%)	3.80 ^a	2.00 ^{ab}	2.10 ^{ab}	1.70 ^b	0.90 ^b	0.90 ^b	0.90 ^b	0.25	0.512	0.401	0.939	0.114
									0.004	0.142	0.488	0.374
Total protein (g/dL)	4.12 ^c	4.80 ^b	4.28 ^c	Biochemical tests				0.10	<0.001	<0.001	0.053	0.200
Albumin (g/dL)	3.33	3.62	3.60	5.40 ^a	5.29 ^a	5.29 ^a	5.29 ^a	0.05	0.154	0.579	0.781	0.926
Globulin (g/dL)	0.79 ^b	1.18 ^{bc}	0.68 ^b	3.69	3.65	3.65	3.65	0.09	<0.001	<0.001	0.043	0.122
				1.71 ^a	1.64 ^{ab}	1.64 ^{ab}	1.64 ^{ab}					

Note: Different superscript letters (^{a–c}) within the same row indicate significant differences ($p < 0.05$). SEM, standard error of the mean; Factor A, emulsion formulation (MCTE vs. MCTE-P); Factor B, dosage level (low vs. high); Factor A × B, interaction between formulation and dosage level; CON, antibiotic control; MCTE, baseline MCT emulsion; MCTE-P, MCTE supplemented with phytocannabinoids; L-, low-dose regimen (3.5 mL at all timepoints); H-, high-dose regimen (3.5 mL initial, then 6.5 mL at subsequent administrations). Hematological indices: MCV, mean corpuscular volume (fL); MCH, mean corpuscular hemoglobin (pg); MCHC, mean corpuscular hemoglobin concentration (g/dL); RDW, red cell distribution width (%).

Table 4. The effects of medium-chain triglyceride emulsion containing phytocannabinoids, with or without monolaurin, on the performance of suckling piglets (Trial 2).

Parameters	CON	MCTE-P	MCTE-PM	SEM	<i>p</i> -Value
Number of sows	12	12	12		
Newborn piglets					
Number of piglets	183	158	168		
Litter size (piglet/sow)	15.25	13.17	14.00	0.45	0.159
Birth weight (kg)	1.35	1.26	1.34	0.03	0.459
Live born piglets (24 h)					
Number of piglets	163	149	160		
Litter size (piglet/sow)	13.61	12.44	13.32	0.46	0.613
Weight (kg)	1.47	1.38	1.47	0.03	0.377
Weight gain (kg)	0.08 ^b	0.13 ^a	0.13 ^a	0.01	0.001
Colostrum intake (mL/piglet)	276.76 ^b	328.73 ^a	336.73 ^a	8.65	0.006
Piglets at 5 days old					
Number of piglets	133	124	144		
Litter size (pigs/sow)	11.08	10.33	12.00	0.25	0.652
Weight (kg)	1.86	1.85	1.90	0.12	0.158
ADG (g/day/piglet)	100.89	108.47	109.00	12.35	0.113
Milk intakes (mL/piglet)	523.14	527.05	514.97	523.14	0.279
Piglets at 14 days old					
Number of piglets	126	122	137		
Litter size (piglet/sow)	10.50 ^b	10.20 ^b	11.42 ^a	0.29	0.031
Weight (kg)	3.13	3.37	3.53	0.12	0.425
ADG (g/day/piglet)	107.81 ^c	170.58 ^a	155.57 ^b	11.62	0.043
Weaned pigs (at 18 days old)					
Number of piglets	115	114	137		
Litter size (piglet/sow)	9.60 ^b	9.50 ^b	11.42 ^a	0.50	0.052
Weight (kg)	4.05	4.36	4.44	0.17	0.623
ADG (g/day/piglet)	151.88 ^b	173.67 ^a	172.38 ^a	9.18	0.046
Mortality rate & causes					
Mortality rate (%)	29.40 ^a	23.63 ^{ab}	14.27 ^b	2.36	0.012
Mortality causes					
Milk starvation (%)	14.40 ^a	9.23 ^{ab}	4.30 ^b	1.51	0.002
Weak state (%)	1.68	3.40	1.78	0.57	0.304
Crushing (%)	2.92 ^b	9.30 ^a	7.33 ^a	1.02	0.022
Diarrhea (%)	10.40 ^a	1.70 ^b	0.86 ^b	1.11	0.001

Note: Different superscript letters (^{a-c}) within the same row indicate significant differences ($p < 0.05$). SEM, standard error of the mean; CON, antibiotic control; MCTE-P, MCTE supplemented with phytocannabinoids; MCTE-PM, MCTE-P further supplemented with monolaurin.

3.2.2. Mortality Rate & Causes

The temporal progression of performance benefits was particularly evident in litter size maintenance and pre-weaning mortality reduction, which directly correlates to commercial production efficiency and economic viability. The litter size on day 14 was significantly greater in the MCTE-PM group (11.42 piglets/sow) compared to the control and MCTE-P groups (10.50 and 10.20 piglets/sow, respectively; $p = 0.031$), suggesting improved survival rates and reduced early mortality during the critical pre-weaning period.

This survival advantage was further substantiated by the comprehensive mortality analysis, which revealed that pre-weaning mortality over the complete 18-day lactation period was lowest in MCTE-PM (14.27%), intermediate in MCTE-P (23.63%), and highest in

controls (29.40%; $p = 0.012$), representing a remarkable 15.13% reduction in mortality when comparing MCTE-PM to control treatment.

The mortality reduction was most pronounced for deaths attributed to diarrhea, with MCTE-PM demonstrating exceptional protective efficacy (0.86% vs. 10.4% in controls; $p = 0.001$), and starvation-related mortality (4.30% vs. 14.4% in controls; $p = 0.002$), supporting the formulation's multifaceted protective effects against the most common causes of neonatal piglet losses. The parameters of mortality rate and causes are presented in Table 4.

3.2.3. Piglet Behavior

Behavioral analysis indicated that piglets in the control (CON) group showed the highest mean suckling frequency (SF), latency to first suckling (LFS), and teat order establishment (TOE) compared to both MCTE-P and MCTE-PM groups during both the initial 8–12 h and at 3–5 days postpartum ($p < 0.05$). Suckling frequency was significantly greater in the CON group than in MCTE-P and MCTE-PM ($p < 0.05$; Figure 3A,D). The MCTE-PM group exhibited the highest mean LFS during the second feeding (16.25 min) compared to MCTE-P (13.06 min) and control group (7.78 min; $p > 0.05$; Figure 3E). Aggressive teat order behaviors (TOE) were most frequent in the CON group in the first 8–12 h but significantly reduced in the MCTE-PM group ($p < 0.05$), indicating less inter-piglet conflict (Figure 3C).

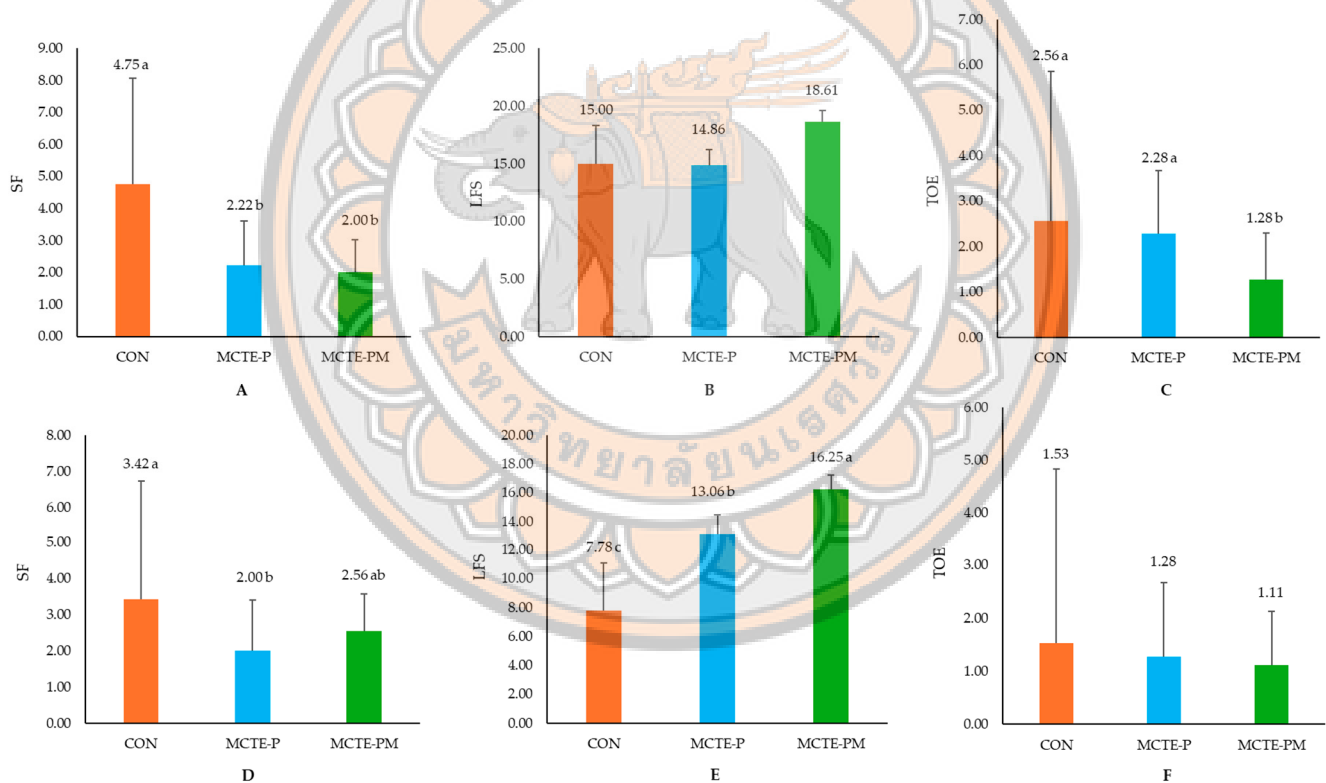


Figure 3. Behavioral responses of piglets following oral administration of experimental emulsions: (A) suckling frequency (SF), (B) latency to first suckling (LFS), and (C) teat order establishment (TOE) during the initial 8–12 h postpartum; and following the second administration of experimental emulsions: (D) SF, (E) LFS, and (F) TOE at 3–5 days postpartum. Mean followed by different superscript letters (^{a–c}) from each other indicate significant differences ($p < 0.05$).

Daily facial lesion scores (FLS) of piglets from day 1 to day 5 postpartum are presented in Figure 4. Lesion scores increased progressively in both the control (CON) and MCTE-P groups, reaching their highest values on day 5 of the observation period. FLS showed a progressive increase in both the control (CON) and MCTE-P groups, peaking on day 5 with scores of 1.31 and 1.11, respectively. In contrast, piglets in the MCTE-PM group consistently

exhibited the lowest FLS across the experimental period, with a final score of 0.56 on day 5. Statistically significant differences ($p < 0.05$) were observed between CON and MCTE-PM on days 3, 4, and 5. The findings demonstrate that MCTE-PM supplementation significantly alleviated facial trauma and diminished teat-related injuries in neonatal piglets by decreasing inter-piglet aggression.

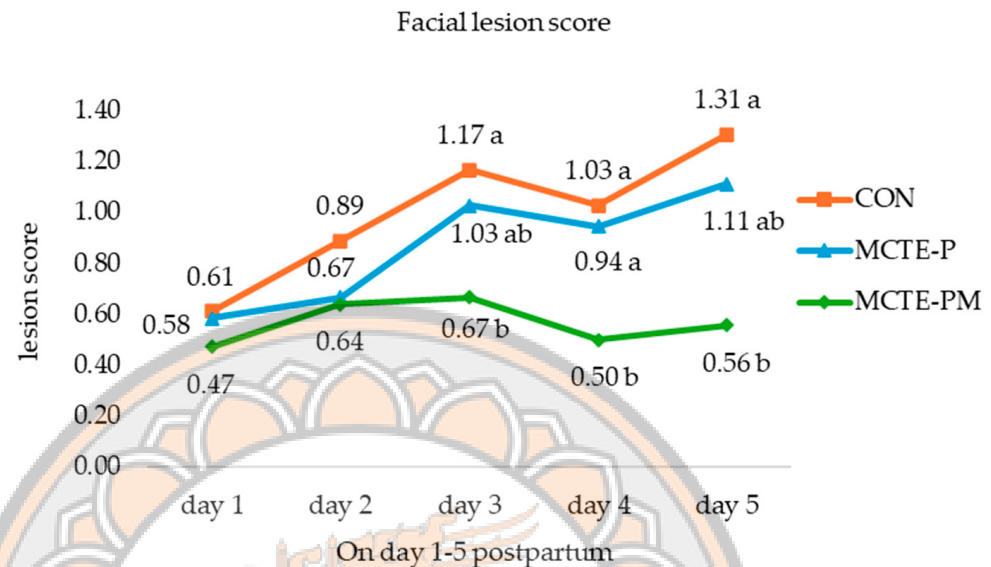


Figure 4. Facial lesion scores of piglets from day 1 to day 5 postpartum across treatment groups. Mean followed by different superscript letters (^{a,b}) from each day indicate significant differences ($p < 0.05$).

3.2.4. Hematological and Biochemical Profiles

Hematological parameters of piglets are summarized in Table 5. Red blood cell (RBC) counts were significantly lower in the MCTE-PM group ($5.98 \times 10^6/\mu\text{L}$) compared with both CON and MCTE-P ($p = 0.003$). Nevertheless, all values remained within the physiological reference range for weaned piglets ($4.98\text{--}8.29 \times 10^6/\mu\text{L}$). Mean corpuscular volume (MCV) was significantly higher in MCTE-P (57.13 fL) and MCTE-PM (60.50 fL) relative to CON (52.50 fL; $p = 0.008$), reflecting the presence of larger, more mature red cells suggestive of improved iron utilization and enhanced hemoglobin synthesis. In contrast, mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC) was significantly lower in both supplemented groups (30.0–30.5 g/dL) compared with CON (33.0 g/dL; $p < 0.001$). These values were consistent with reported ranges for healthy suckling piglets, suggesting an optimal distribution of hemoglobin without pathological concentration. Red cell distribution width (RDW) was also elevated in both MCTE-P and MCTE-PM groups ($p = 0.009$).

Regarding leukocyte profiles, a marked reduction in eosinophil percentage was observed in MCTE-PM (0.25%) compared with MCTE-P (2.00%) and CON (3.75%; $p = 0.002$), indicating improved immune modulation.

Biochemical analyses demonstrated that both MCTE-P and MCTE-PM significantly elevated total protein concentrations (5.16, 5.13 g/dL) and globulin levels (1.51, 1.76 g/dL) compared to the control group (4.00 and 0.61 g/dL, respectively; $p < 0.001$), while albumin concentrations remained consistent across groups ($p > 0.05$).

Table 5. Effects of low-dose medium-chain triglyceride emulsions containing phytocannabinoids, with or without monolaurin, on hematological parameters and serum protein profiles of pre-weaning piglets (Trial 2).

Parameters	CON	MCTE-P	MCTE-PM	SEM	<i>p</i> -Value
Number of piglets	8	8	8		
Complete Blood Count (CBC)					
WBC (cell $\times 10^4$ / mm ³)	1.15	1.24	1.03	0.06	0.303
RBC (cell $\times 10^6$ / mm ³)	6.82 ^a	6.80 ^a	5.98 ^b	0.12	0.003
Hemoglobin (g/dL)	11.83	11.66	11.06	0.28	0.536
Hct (%)	36.00	39.13	36.25	0.88	0.284
Platelet count (cell $\times 10^4$ / mm ³)	60.65	55.88	44.89	3.49	0.170
MCV (fL)	52.50 ^b	57.13 ^a	60.50 ^a	1.12	0.008
MCH (pg)	17.38	17.25	18.63	0.31	0.131
MCHC (g/dL)	33.00 ^a	30.00 ^b	30.50 ^b	0.33	<0.001
RDW (%)	16.54 ^b	19.65 ^a	20.13 ^a	0.55	0.009
Neutrophil (%)	35.75	30.88	35.75	2.69	0.712
Lymphocyte (%)	54.13	59.50	57.88	2.83	0.746
Monocyte (%)	6.38	7.63	6.13	0.40	0.265
Eosinophil (%)	3.75 ^a	2.00 ^b	0.25 ^c	0.44	0.002
Biochemical tests					
Total protein (g/dL)	4.00 ^b	5.16 ^a	5.13 ^a	0.15	<0.001
Albumin (g/dL)	3.39	3.65	3.36	0.07	0.155
Globulin (g/dL)	0.61 ^b	1.51 ^a	1.76 ^a	0.14	<0.001

Note: Different superscript letters (^{a-c}) within the same row indicate significant differences ($p < 0.05$). SEM, standard error of the mean; CON, control group; MCTE-P, medium-chain triglyceride emulsion supplemented with phytocannabinoids; MCTE-PM, MCTE-P further supplemented with monolaurin; MCV, mean corpuscular volume (femtoliters, fL); MCH, mean corpuscular hemoglobin (picograms, pg); MCHC, mean corpuscular hemoglobin concentration (grams per deciliter, g/dL); RDW, red cell distribution width (%).

4. Discussion

This study evaluated the effects of medium-chain triglyceride (MCT) emulsions enriched with phytocannabinoids, with or without monolaurin, on neonatal piglet growth, health, and survival. Two consecutive trials were conducted to assess performance relative to conventional antibiotic prophylaxis.

In Trial 1, the efficacy of MCT emulsions was evaluated by comparing a baseline formulation (MCTE) and a phytocannabinoid-enriched formulation (MCTE-P) with a standard toltrazuril group. As shown in Table 2, piglets receiving either MCT emulsion performed comparably or better than the antibiotic control. This highlights the metabolic advantage of MCTs, which provide rapid, efficient energy through direct absorption into the portal vein, supporting thermoregulation, gut maturation, and immune function in neonatal piglets [7,8]. In addition, lauric acid, a major constituent of these emulsions, is known to exert broad-spectrum antimicrobial activity, which can support gut health [39]. This is complemented by its antiviral effects against pathogens such as porcine epidemic diarrhea virus (PEDV) [13]. These properties support neonatal health and survival, and piglets receiving phytocannabinoid-enriched emulsions (MCTE-P) showed better outcomes than controls (Table 2). Both low-dose (L-MCTE-P) and high-dose (H-MCTE-P) groups showed significantly greater body weight gain within the first 24 h postpartum, highlighting improved early nutrient utilization and vigor. Notably, colostrum intake was highest in the H-MCTE-P group, which likely enhanced passive immunoglobulin transfer and contributed to sustained growth benefits [14,15].

Mortality analyses showed that overall pre-weaning mortality did not differ significantly among most groups; however, the H-MCTE-P group recorded a significantly lower

total mortality rate (19.69%) compared with the control (29.44%). Importantly, cause-specific analyses revealed that piglets receiving either low- or high-dose MCTE-P had markedly fewer deaths from diarrhea and milk starvation relative to controls. These reductions can be explained by the complementary actions of lauric acid, a principal component of MCT emulsions, and phytocannabinoids. Lauric acid exerts direct antimicrobial effects by disrupting pathogen membranes and strengthening gut barrier integrity [10,15,40] thereby limiting enteric infections and improving nutrient utilization. In parallel, phytocannabinoids modulate systemic inflammation and enhance immune responsiveness through endocannabinoid pathways [23,41], helping piglets resist infection and tolerate early-life stressors. Together, these mechanisms may have contributed to reducing the susceptibility of MCTE-P piglets to diarrhea- and starvation-related mortality. By contrast, crushing mortality was significantly higher in the H-MCTE-P group than in controls, a finding possibly linked to increased activity and competition for teat access; this phenomenon is further addressed in the behavioral analyses of Trial 2.

Hematological and biochemical analyses further supported the functional advantages of MCTE-P supplementation. Both low- and high-dose MCTE-P piglets exhibited reduced mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC) and elevated red cell distribution width (RDW), reflecting active erythropoiesis and improved erythrocyte turnover consistent with enhanced growth performance. In addition, serum total protein and globulin concentrations were significantly higher in MCTE-P groups compared with controls (Table 3), indicating improved passive immunity through more efficient colostrum absorption [35,42]. Eosinophil percentages were also markedly reduced in both MCTE-P groups, particularly in the high-dose group, suggesting diminished systemic inflammation and better immune regulation. These results align with the antimicrobial and gut-stabilizing effects of lauric acid [7,15] and the anti-inflammatory properties of phytocannabinoids [35,41], which together contributed to improved immune competence in neonatal piglets. Accordingly, these findings show that both low- and high-dose MCTE-P benefited piglets compared with controls, particularly by enhancing immune responses and reducing diarrhea-related mortality. However, as overall mortality reduction was similar between regimens and the high-dose posed practical challenges, the low-dose MCTE-P was chosen for further evaluation in Trial 2.

Building on this rationale, Trial 2 was designed to confirm the efficacy of the low-dose MCTE-P regimen alongside a monolaurin-fortified formulation (MCTE-PM). The addition of monolaurin, a lauric acid ester with established antimicrobial activity, was intended to enhance efficacy while maintaining practical feasibility for routine administration. In terms of growth performance as shown in Table 4, both MCTE-P and MCTE-PM improved average daily gain (ADG) at weaning relative to controls, confirming the benefits observed in Trial 1. These gains were accompanied by trends of greater early weight gain and enhanced colostrum intake, which likely improved passive immunoglobulin transfer and supported sustained growth [43]. Such outcomes reflect more efficient nutrient utilization and metabolic optimization during the most vulnerable period of piglet development [41,44]. The addition of monolaurin significantly impacted survival outcomes. MCTE-PM achieved the lowest pre-weaning mortality (14.27%) compared with both the control group (29.40%) and MCTE-P (23.63%) (Table 4). Diarrhea-related deaths, which represented a major cause of early mortality, were reduced dramatically from 10.4% in controls to only 0.86% in the MCTE-PM group ($p < 0.001$). These results support the synergistic activity of lauric acid and monolaurin in limiting pathogen proliferation and preserving gut barrier function, alongside the immunomodulatory role of phytocannabinoids in reducing inflammatory burden [28,45]. As in Trial 1, however, crushing mortality remained higher in emulsion-treated groups than in controls, suggesting that increased vigor and

competitiveness may have offset some of the survival gains. To address this possibility, behavioral outcomes were specifically assessed in Trial 2.

Behavioral assessments provided further insight into the higher crushing mortality observed in emulsion-treated piglets. Among 108 low-birth-weight piglets, those supplemented with MCTE-PM displayed notably calmer behavioral patterns (Figure 3). Latency to first suckling was prolonged relative to controls, yet teat competition and aggression were markedly reduced, as evidenced by lower rates of teat disputes and significantly reduced facial lesion scores (0.56 on day 5) (Figure 4). These findings indicate that MCTE-PM facilitated more orderly access to the udder and diminished social stress, which may mitigate some of the risks associated with increased vigor and competitiveness in supplemented piglets [38,46]. From a production perspective, the reduction in aggressive suckling behavior is particularly advantageous in systems where teeth clipping is not practiced, as it minimizes injury and improves welfare while supporting efficient colostrum intake. Thus, while increased energy supply may elevate competition in some contexts, the addition of monolaurin appeared to balance this effect by promoting calmer suckling behavior and reducing harmful interactions [7].

Hematological and biochemical profiles in Trial 2 further supported the survival advantages observed with emulsion supplementation (Table 5). Eosinophil percentages were lowest in the MCTE-PM group ($p < 0.05$), indicating reduced systemic inflammatory activation and improved disease resilience [47]. At the same time, serum total protein and globulin concentrations remained elevated in both MCTE-P and MCTE-PM piglets compared with controls ($p < 0.001$), consistent with enhanced passive immunity acquisition through improved colostrum intake. These effects align with the immunomodulatory actions of phytocannabinoids and the antimicrobial properties of monolaurin and lauric acid, reinforcing the reductions in diarrhea-related mortality seen in treated groups [42,46,48,49].

Taken together, these results identify MCTE-PM as the most efficacious formulation, combining the rapid energy supply of MCTs, the anti-inflammatory and immunomodulatory actions of phytocannabinoids, and the antimicrobial activity of monolaurin. This synergistic approach provided measurable improvements in growth, survival, immunity, and behavior, highlighting its potential as a nutraceutical alternative to conventional antibiotic prophylaxis in sustainable swine production systems [18,50–53]. Nonetheless, the trial was limited to the pre-weaning period (18 days), excluded microbiota analyses, and may not fully predict commercial-scale outcomes. Future work should focus on gut microbiome analysis and improving formulation stability and spray-drying methods to enable large-scale application and practical adoption in commercial farms.

5. Conclusions

This study demonstrated that medium-chain triglyceride emulsions provided overall performance comparable to antibiotic prophylaxis in neonatal piglets. Supplementation with phytocannabinoids (MCTE-P) further reduced diarrhea-related mortality to levels significantly lower than the control group. Moreover, the monolaurin-fortified formulation (MCTE-PM) consistently showed the greatest efficacy, with significantly improved average daily gain at weaning, enhanced hematological and immunological profiles, and lower overall mortality rate, primarily resulting from a marked reduction in diarrhea-related deaths. In addition, piglets receiving MCTE-PM displayed reduced aggressive suckling behaviors, including lower teat competition and facial lesion scores. These findings suggested that MCT-based emulsions, particularly MCTE-PM, are promising nutraceutical alternatives to antibiotics for enhancing piglet health, welfare, and survival in commercial swine production.

6. Patents

Thailand petty patent application (No. 2503000945) was filed on 14 March 2025 for the invention related to this research. The title of the invention is “Medium-chain fatty acid oil powder formula containing Phytocannabinoid extract and glycerol monolaurate and production method” The inventors are Wandee Tartrakoon, Rangsun Charoensook, and Adisak Kongkeaw. All rights to this invention are owned by Naresuan University.

Author Contributions: Conceptualization, W.T. and R.C.; methodology, W.T.; software, A.K.; validation, R.C., W.T., and J.J.L.; formal analysis, R.C.; investigation, W.T.; writing—original draft preparation, A.K. and S.N.; writing—review and editing, A.K., S.N., W.T., R.C., T.I., N.H. and J.J.L.; visualization, A.K.; supervision, W.T. and R.C.; project administration, W.T. and R.C. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Fundamental Fund (FF) 2024 (grant number R2567B039) from Naresuan University and the National Research Council of Thailand (NRCT), Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation (MHESI), Thailand.

Institutional Review Board Statement: The study protocol was reviewed and approved by the Naresuan University Animal Care and Use Committee (NUACUC; reference no. 67 08 802, 9 July 2024). The pig farm was Good Agricultural Practice (GAP) certified by the Department of Livestock Development, Thailand (Certification Number: GS 02-6403-60-200-060068 GAP), ensuring compliance with standardized animal husbandry and welfare protocols.

Informed Consent Statement: The P.T.R. Farming Industrial Co., Ltd., and all the authors of this manuscript agreed to participate in the research.

Data Availability Statement: The original contributions presented in the study are included in the article, further inquiries can be directed to the corresponding author.

Acknowledgments: The authors sincerely thank N Feed Plus Co., Ltd., Bangkok, Thailand, for permission to use the additive production unit to prepare prototype products for use in trials. This study was conducted at a commercial pig farm operated by P.T.R. Farming Industrial Co., Ltd. (Wilaiporn Farm), located at Takhli District, Nakhon Sawan, Thailand.

Conflicts of Interest: The authors W.T., R.C., and A.K. are named as inventors on the Thailand petty patent application (as described above) covering the formula medium-chain triglyceride emulsions designed for animal nutrition and is derived from a blend of vegetable oils (palm kernel, rice bran, palm, and soybean), providing a balanced source of medium-chain fatty acids. The patent rights are owned by Naresuan University, and the invention has not been licensed for commercial purposes. The other authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

Abbreviations

MCTE	Medium-Chain Triglyceride Emulsion
L-MCTE	Low Dose Medium-Chain Triglyceride Emulsion
H-MCTE	High Dose Medium-Chain Triglyceride Emulsion
MCTE-P	Medium-Chain Triglyceride Emulsion Supplemented with Phytocannabinoids
L-MCTE-P	Low Dose Medium-Chain Triglyceride Emulsion with Phytocannabinoids
H-MCTE-P	High Dose Medium-Chain Triglyceride Emulsion with Phytocannabinoids
MCTE-PM	Medium-Chain Triglyceride Emulsion with Phytocannabinoids and Monolaurin
MCFA	Medium-Chain Fatty Acids
MCT	Medium-chain triglycerides
PKO	Palm Kernel Oil
MCHC	Mean corpuscular hemoglobin concentration

References

- Nuntapaitoon, M.; Tummaruk, P. Piglet Prewaning Mortality in a Commercial Swine Herd in Thailand. *Trop. Anim. Health Prod.* **2015**, *47*, 1539–1546. [\[CrossRef\]](#)
- Mbuthia, J.M.; Kasper, C.; Zenk, M.; Bee, G.; Metges, C.C.; Daş, G. Predicting Piglet Survival until Weaning Using Birth Weight and Within-Litter Birth Weight Variation as Easily Measured Proxy Predictors. *Animal* **2025**, *19*, 101479. [\[CrossRef\]](#)
- Feldpausch, J.A.; Jourquin, J.; Bergstrom, J.R.; Borgen, J.L.; Bokenkroger, C.D.; Davis, D.L.; Gonzalez, J.M.; Nelssen, J.L.; Puls, C.L.; Trout, W.E.; et al. Birth Weight Threshold for Identifying Piglets at Risk for Prewaning Mortality. *Transl. Anim. Sci.* **2019**, *3*, 633–640. [\[CrossRef\]](#)
- Muns, R.; Nuntapaitoon, M.; Tummaruk, P. Non-Infectious Causes of Pre-Weaning Mortality in Piglets. *Livest. Sci.* **2016**, *184*, 46–57. [\[CrossRef\]](#)
- Rosvold, E.M.; Kielland, C.; Ocepek, M.; Framstad, T.; Fredriksen, B.; Andersen-Ranberg, I.; Næss, G.; Andersen, I.L. Management Routines Influencing Piglet Survival in Loose-Housed Sow Herds. *Livest. Sci.* **2017**, *196*, 1–6. [\[CrossRef\]](#)
- Theil, P.K.; Lauridsen, C.; Quesnel, H. Neonatal Piglet Survival: Impact of Sow Nutrition around Parturition on Fetal Glycogen Deposition and Production and Composition of Colostrum and Transient Milk. *Animal* **2014**, *8*, 1021–1030. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Chiengsorn, K.; Prasongsoo, S.; Bunchasak, C.; Kayan, A.; Poeikhampha, T. Dietary MCFAs and Lauric Acid as Antibiotic Alternatives: Effects on Growth, Immunity and Gut Health in Weaned Pigs. *Adv. Anim. Vet. Sci.* **2025**, *13*, 1856–1863. [\[CrossRef\]](#)
- Li, Y.; Zhang, H.; Yang, L.; Zhang, L.; Wang, T. Effect of Medium-Chain Triglycerides on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Plasma Metabolites and Antioxidant Capacity in Weanling Pigs. *Anim. Nutr.* **2015**, *1*, 12–18. [\[CrossRef\]](#)
- Gebhardt, J.T.; Thomson, K.A.; Woodworth, J.C.; Dritz, S.S.; Tokach, M.D.; DeRouchey, J.M.; Goodband, R.D.; Jones, C.K.; Cochrane, R.A.; Niederwerder, M.C.; et al. Effect of Dietary Medium-Chain Fatty Acids on Nursery Pig Growth Performance, Fecal Microbial Composition, and Mitigation Properties against Porcine Epidemic Diarrhea Virus Following Storage. *J. Anim. Sci.* **2020**, *98*, skz358. [\[CrossRef\]](#)
- Laowansiri, M.; Suwanchote, S.; Wannigama, D.L.; Badavath, V.N.; Hongsing, P.; Edwards, S.W.; Suratannon, N.; Chatchatee, P.; Lertpichitkul, P.; Rerknimitr, P.; et al. Monolaurin Inhibits Antibiotic-Resistant Staphylococcus Aureus in Patients with Atopic Dermatitis. *Sci. Rep.* **2025**, *15*, 23180. [\[CrossRef\]](#)
- Nitbani, F.O.; Tjitda, P.J.P.; Nitti, F.; Jumina, J.; Detha, A.I.R. Antimicrobial Properties of Lauric Acid and Monolaurin in Virgin Coconut Oil: A Review. *Chem. Bio. Eng. Rev.* **2022**, *9*, 442–461. [\[CrossRef\]](#)
- Yamamoto, Y.; Morikawa, T.; Kawai, T.; Nonomura, Y. Selective Bactericidal Activity of Divalent Metal Salts of Lauric Acid. *ACS Omega* **2017**, *2*, 113–121. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Cochrane, R.A.; Dritz, S.S.; Woodworth, J.C.; Stark, C.R.; Saensukjaroenphon, M.; Gebhardt, J.T.; Bai, J.; Hesse, R.A.; Poulsen, E.G.; Chen, Q.; et al. Assessing the Effects of Medium-Chain Fatty Acids and Fat Sources on PEDV Infectivity. *Transl. Anim. Sci.* **2020**, *4*, 1051–1059. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Jackman, J.A.; Boyd, R.D.; Elrod, C.C. Medium-Chain Fatty Acids and Monoglycerides as Feed Additives for Pig Production: Towards Gut Health Improvement and Feed Pathogen Mitigation. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* **2020**, *11*, 44. [\[CrossRef\]](#)
- Zhang, Q.; Yi, D.; Ji, C.; Wu, T.; Wang, M.; Guo, S.; Wang, L.; Zhao, D.; Hou, Y. Monolaurin Confers a Protective Effect Against Porcine Epidemic Diarrhea Virus Infection in Piglets by Regulating the Interferon Pathway. *Front. Immunol.* **2022**, *12*, 797476. [\[CrossRef\]](#)
- Jackman, J.A.; Lavergne, T.A.; Elrod, C.C. Antimicrobial Monoglycerides for Swine and Poultry Applications. *Front. Anim. Sci.* **2022**, *3*, 1019320. [\[CrossRef\]](#)
- Rebucci, R.; Comi, M.; Ghiringhelli, M.; Giorgi, S.; Cheli, F.; Bontempo, V. Lauric Acid Saponified with Calcium Ameliorates Indices of Intestinal Function and Gut Health in Weaned Piglets. *Ital. J. Anim. Sci.* **2021**, *20*, 1479–1490. [\[CrossRef\]](#)
- Lerner, A.B.; Cochrane, R.A.; Gebhardt, J.T.; Dritz, S.S.; Jones, C.K.; DeRouchey, J.M.; Tokach, M.D.; Goodband, R.D.; Bai, J.; Porter, E.; et al. Effects of Medium Chain Fatty Acid Application in Swine Feed on Porcine Epidemic Diarrhea Virus. *Kans. Agric. Exp. Stn. Res. Rep.* **2019**, *5*, 1. [\[CrossRef\]](#)
- Haspula, D.; Clark, M.A. Cannabinoid Receptors: An Update on Cell Signaling, Pathophysiological Roles and Therapeutic Opportunities in Neurological, Cardiovascular, and Inflammatory Diseases. *Int. J. Mol. Sci.* **2020**, *21*, 7693. [\[CrossRef\]](#)
- Tomaszewska-Zaremba, D.; Gajewska, A.; Misztal, T. Anti-Inflammatory Effects of Cannabinoids in Therapy of Neurodegenerative Disorders and Inflammatory Diseases of the CNS. *Int. J. Mol. Sci.* **2025**, *26*, 6570. [\[CrossRef\]](#)
- Gimsa, U.; Brückmann, R.; Tuchscherer, A.; Tuchscherer, M.; Kanitz, E. Early-Life Maternal Deprivation Affects the Mother-Offspring Relationship in Domestic Pigs, as Well as the Neuroendocrine Development and Coping Behavior of Piglets. *Front. Behav. Neurosci.* **2022**, *16*, 980350. [\[CrossRef\]](#)
- Puppe, B.; Tuchscherer, A. The Development of Suckling Frequency in Pigs from Birth to Weaning of Their Piglets: A Sociobiological Approach. *Anim. Sci.* **2000**, *71*, 273–279. [\[CrossRef\]](#)
- Salvo, A.; Chiaradia, E.; Sforza, M.; Della Rocca, G. Endocannabinoid System and Phytocannabinoids in the Main Species of Veterinary Interest: A Comparative Review. *Vet. Res. Commun.* **2024**, *48*, 2915–2941. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

24. Caruso, E.; De Nunzio, V.; Tutino, V.; Notarnicola, M. The Endocannabinoid System: Implications in Gastrointestinal Physiology and Pathology. *Int. J. Mol. Sci.* **2025**, *26*, 1306. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
25. Kongkeaw, A.; Charoensook, R.; Incharoen, T.; Hwanhlem, N.; Tartrakoon, W. Optimization of Phytocannabinoid Extraction from Hemp (*Cannabis sativa* L.) with Decarboxylation-Based Crude Palm Kernel Oil and Its Potential as an Energy Supplement Product for Suckling Piglets. *Int. J. Agric. Technol.* **2025**, *21*, 903–926. [\[CrossRef\]](#)
26. Somrup, S.; Saracharoen, P. Efficacy of Oral Toltrazuril in Newborn Piglet. *ASEAN J. Sci. Technol. Rep.* **2022**, *25*, 36–40. [\[CrossRef\]](#)
27. Blavi, L.; Solà-Oriol, D.; Llonch, P.; López-Vergé, S.; Martín-Orúe, S.M.; Pérez, J.F. Management and Feeding Strategies in Early Life to Increase Piglet Performance and Welfare around Weaning: A Review. *Animals* **2021**, *11*, 302. [\[CrossRef\]](#)
28. Chisoro, P.; Krogh, U.; Theil, P.K.; Eskildsen, M. Characteristics of Sows' Milk and Piglet Nutrient Utilization during a 28-d Lactation Period. *J. Anim. Sci.* **2023**, *101*, skad261. [\[CrossRef\]](#)
29. Peltoniemi, O.; Yun, J.; Björkman, S.; Han, T. Coping with Large Litters: The Management of Neonatal Piglets and Sow Reproduction. *J. Anim. Sci. Technol.* **2021**, *63*, 1–15. [\[CrossRef\]](#)
30. Miguel, J.; Mitjana, O.; Tejedor, M.T.; Martínez, A.; Falceto, M.V. Supplementing Colostrum from Multiparous Sows: Effects on Performance and Health in Piglets from Gilts in Farm Conditions. *Animals* **2021**, *11*, 2563. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
31. Thongkhuy, S.; Chuaychu, S.B.; Burarnrak, P.; Ruangjoy, P.; Juthamane, P.; Nuntapaitoon, M.; Tummaruk, P. Effect of Backfat Thickness during Late Gestation on Farrowing Duration, Piglet Birth Weight, Colostrum Yield, Milk Yield and Reproductive Performance of Sows. *Livest. Sci.* **2020**, *234*, 103983. [\[CrossRef\]](#)
32. Oliveira, L.R.; Simionatto, M.; Cruz, B.R.; Bittencourt, J.I.M.; Krum, E.A.; Moss, M.F.; Borato, D.C.K. Stability of Complete Blood Count in Different Storage Conditions Using the ABX PENTRA 60 Analyzer. *Int. J. Lab. Hematol.* **2018**, *40*, 359–365. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
33. Pinto, J.M.; Nogueira, L.S.; Rios, D.R.A. Hematological Parameters: Is There a Difference between Those Released by the Hematological Analyzer and to the Customer? *Einstein São Paulo* **2023**, *21*, eAO0501. [\[CrossRef\]](#)
34. Thrall, M.A.; Weiser, G.; Campbell, T.W. *Veterinary Hematology, Clinical Chemistry, and Cytology*; Wiley-Blackwell: Hoboken, NJ, USA, 2022; ISBN 978-1119500734.
35. Tóthová, C.; Link, R.; Kyzeková, P.; Nagy, O. Serum Protein Electrophoretic Pattern in Piglets during the Early Postnatal Period. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 17539. [\[CrossRef\]](#)
36. Garcia Moreira, V.; Beridze Vaktangova, N.; Martinez Gago, M.D.; Laborda Gonzalez, B.; Garcia Alonso, S.; Fernandez Rodriguez, E. Overestimation of Albumin Measured by Bromocresol Green vs Bromocresol Purple Method: Influence of Acute-Phase Globulins. *Lab. Med.* **2018**, *49*, 355–361. [\[CrossRef\]](#)
37. Wilk, I.; Kernberger-Fischer, I.; Gerritzen, M.A.; Kongsted, H.; Schrader, L. Review on Euthanasia of Suckling Piglets on Farm. 2021. Available online: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/591049> (accessed on 30 June 2024).
38. Skok, J.; Prevotnik, M.; Urek, T.; Mesarec, N.; Škorjanc, D. Behavioural Patterns Established during Suckling Reappear When Piglets Are Forced to Form a New Dominance Hierarchy. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2014**, *161*, 42–50. [\[CrossRef\]](#)
39. Dong, S.; Zhang, N.; Wang, J.; Cao, Y.; Johnston, L.J.; Ma, Y. Effects of Medium- and Short-Chain Fatty Acids on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Gut Microbiota and Immune Function in Weaned Piglets. *Animals* **2024**, *15*, 37. [\[CrossRef\]](#)
40. Nichols, J.M.; Kaplan, B.L.F. Immune Responses Regulated by Cannabidiol. *Cannabis Cannabinoid Res.* **2020**, *5*, 12–31. [\[CrossRef\]](#)
41. Pazos, M.R.; Mohammed, N.; Lafuente, H.; Santos, M.; Martínez-Pinilla, E.; Moreno, E.; Valdizan, E.; Romero, J.; Pazos, A.; Franco, R.; et al. Mechanisms of Cannabidiol Neuroprotection in Hypoxic–Ischemic Newborn Pigs: Role of 5HT1A and CB2 Receptors. *Neuropharmacology* **2013**, *71*, 282–291. [\[CrossRef\]](#)
42. Wang, C.; Zhang, Q.; Ji, C.; Hu, Y.; Yi, D.; Wu, T.; Wang, L.; Zhao, D.; Hou, Y. Effects of Monolaurin on Intestinal Barrier, Blood Biochemical Profile, Immunity and Antioxidant Function in Porcine Epidemic Diarrhoea Virus-Infected Piglets. *Br. J. Nutr.* **2024**, *131*, 185–192. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
43. Amdi, C.; Larsen, C.; Jensen, K.M.R.; Tange, E.Ø.; Sato, H.; Williams, A.R. Intrauterine Growth Restriction in Piglets Modulates Postnatal Immune Function and Hepatic Transcriptional Responses Independently of Energy Intake. *Front. Physiol.* **2023**, *14*, 1254958. [\[CrossRef\]](#)
44. Fabà, L.; Martín-Orúe, S.M.; Hulshof, T.G.; Pérez, J.F.; Wellington, M.O.; Van Hees, H.M.J. Impact of Initial Postweaning Feed Intake on Weanling Piglet Metabolism, Gut Health, and Immunity. *J. Anim. Sci.* **2025**, *103*, skaf099. [\[CrossRef\]](#)
45. Pearodwong, P.; Tummaruk, P. Oral Administration of Iron and Toltrazuril in Combination Improves Survival Rate and Growth Rate and Reduces Anaemia in Piglets. *Thai J. Vet. Med.* **2022**, *52*, 465–471. [\[CrossRef\]](#)
46. Ghany, S.S.H.A.E.; Ibrahim, R.A.; EL-Gendy, A.O.; El-Baky, R.M.A.; Mustafa, A.; Azmy, A.F. Novel Synergistic Interactions between Monolaurin, a Mono-Acyl Glycerol and β Lactam Antibiotics against Staphylococcus Aureus: An in Vitro Study. *BMC Infect. Dis.* **2024**, *24*, 379. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
47. Wei, K.; Yang, X.; Zhao, H.; Chen, H.; Bei, W. Effects of Combined Application of Benzoic Acid and 1-Monolaurin on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Gut Microbiome and Inflammatory Factor Levels in Weaned Piglets. *Porc. Health Manag.* **2023**, *9*, 46. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

48. Tadijan, A.; Vlašić, I.; Vlainić, J.; Đikić, D.; Oršolić, N.; Jazvinščak Jembrek, M. Intracellular Molecular Targets and Signaling Pathways Involved in Antioxidative and Neuroprotective Effects of Cannabinoids in Neurodegenerative Conditions. *Antioxidants* **2022**, *11*, 2049. [[CrossRef](#)]
49. Hassan Abd El-Ghany, S.S.; Azmy, A.F.; Osama EL-Gendy, A.; Abd El-Baky, R.M.; Mustafa, A.; Abourehab, M.A.S.; El-Beeh, M.E.; Ibrahim, R.A. Antimicrobial and Antibiofilm Activity of Monolaurin against Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Isolated from Wound Infections. *Int. J. Microbiol.* **2024**, *2024*, 7518368. [[CrossRef](#)]
50. Cortes, L.M.; Brodsky, D.; Chen, C.; Pridgen, T.; Odle, J.; Snider, D.B.; Cruse, G.; Putikova, A.; Masuda, M.Y.; Doyle, A.D.; et al. Immunologic and Pathologic Characterization of a Novel Swine Biomedical Research Model for Eosinophilic Esophagitis. *Front. Allergy* **2022**, *3*, 1029184. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
51. Perry, A.K.; Kuehn, L.A.; Wells, J.E.; Rempel, L.A.; Chitko-McKown, C.G.; Keel, B.N.; Oliver, W.T. Hematology Parameters as Potential Indicators of Feed Efficiency in Pigs. *Transl. Anim. Sci.* **2021**, *5*, txab219. [[CrossRef](#)]
52. Li, L.; Sun, X.; Zhao, D.; Dai, H. Pharmacological Applications and Action Mechanisms of Phytochemicals as Alternatives to Antibiotics in Pig Production. *Front. Immunol.* **2021**, *12*, 798553. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
53. Landa, L.; Sulcova, A.; Gbelec, P. The Use of Cannabinoids in Animals and Therapeutic Implications for Veterinary Medicine: A Review. *Veterinárni Medicína* **2016**, *61*, 111–122. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

