



การประยุกต์ใช้ฐานเห็ดถั่งเช่าสีทองเพื่อเป็นอาหารเสริมสำหรับสุกรอนุบาล



วัชรินทร์ อัมทองกลาง

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การประยุกต์ใช้ฐานเห็ดถั่งเช่าสีทองเพื่อเป็นอาหารเสริมสำหรับสุกรอนุบาล



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การประยุกต์ใช้ฐานเห็ดถั่งเช่าสีทองเพื่อเป็นอาหารเสริมสำหรับสุกรอนุบาล"

ของ วัชรินทร์ อัมทองกลาง

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วินิตี ทาตระกูล)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทศพร อินเจริญ)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรภัทร หวันเหลี่ยม)

อนุมัติ

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล มุณีสว่าง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การประยุกต์ใช้ฐานเห็ดถั่งเช่าสีทองเพื่อเป็นอาหารเสริมสำหรับสุกรอนุบาล
ผู้วิจัย	วัชรินทร์ อัมทองหลาง
ประธานที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี ทาตระกูล
กรรมการที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ทศพร อินเจริญ
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาสัตวศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564
คำสำคัญ	ฐานเห็ดถั่งเช่าสีทอง, สมรรถภาพการเจริญเติบโต, สุกรอนุบาล, ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการเสริมฐานเห็ดถั่งเช่าสีทองในอาหารสุกรในระดับต่างๆ ได้แก่ 0.25, 0.50 และ 1.00% ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว รวมทั้งสถานะความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในสุกร ฐานถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris* spent mushroom substrate; CM-SMS) เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตถั่งเช่า ซึ่งใน CM-SMS ที่ได้จากเพาะเห็ดถั่งเช่านี้มาจากการเพาะเห็ดถั่งเช่าบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีองค์ประกอบของสารสำคัญในการนำมาแปรรูปเป็นอาหารที่ใช้ในสัตว์ได้ โดยมีสารสำคัญใน CM-SMS คือ คอร์ดิเซปิน (Cordycepin) และอะดีโนซีน (Adenosine) ซึ่ง CM-SMS ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดเท่ากับดอกเห็ดถั่งเช่าสีทอง ดังนั้นหากนำส่วน CM-SMS มาทำการวิจัยและผลิตในรูปแบบอาหารเสริมที่ใช้ในสัตว์แล้ว จะเป็นการเพิ่มมูลค่าทางการตลาดได้ โดยการศึกษาที่ 1 ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์ของ CM-SMS ในรูปผง ในระดับการใช้ 0.25, 0.50 และ 1.00 % ในอาหาร ทดลองในสุกรอนุบาลพันธุ์ลูกผสม (ลาร์จไวท์ x แลนด์เรซ x ดุรอก) จำนวน 40 ตัว น้ำหนักเริ่มต้น 5.50 ± 0.50 กิโลกรัม สุ่มสุกรแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 10 ตัว ซ้ำละ 1 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เลี้ยงสุกรเป็นระยะเวลา 28 วัน แบ่งกลุ่มการทดลอง 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มควบคุมสุกรได้รับอาหารฐาน ใช้แหล่งวัตถุดิบอาหารหลัก คือ ปลายข้าว ข้าวโพด กากถั่วเหลือง เป็นหลัก กลุ่มที่ 2-4 สุกรได้รับอาหารฐาน เสริม CM-SMS 0.25, 0.50 และ 1.00 % ในอาหาร โดยนำ CM-SMS ทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารฐาน ผลการทดลองพบว่ากลุ่มที่เสริม CM-SMS 0.50% ในอาหารส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต (Average Daily Gain; ADG) ที่ดีกว่ากลุ่มที่เสริม CM-SMS 0.25% ($P < 0.05$) ในช่วงสองสัปดาห์แรกของการทดลอง โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) กับกลุ่มทดลองอื่น รวมทั้งไม่พบความแตกต่างสถิติ ($P > 0.05$) ระหว่างกลุ่มทดลองด้านปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Feed Intake; ADFI) อัตราการเปลี่ยนอาหาร

เป็นน้ำหนักตัว (Feed conversion ratio; FCR) อัตราการเกิดท้องเสีย ค่าเอนไซม์ Superoxide Dismutase (SOD) และ Glutathione peroxidase (GPx) แต่พบว่ากลุ่มที่มีการเสริม CM-SMS มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ ($P=0.07$) สำหรับการศึกษาที่ 2 การศึกษาการเสริม CM-SMS เปรียบเทียบกับ Heat-kill *Lactobacillus plantarum* L-137 (HK L-137) และการเสริมร่วมกันของ CM-SMS และ HK L-137 ในอาหารสุกรอนุบาล โดยปริมาณ CM-SMS ที่ใช้ใน ระดับการใช้ที่ได้ผลจากการศึกษาที่ 1 โดย สัตว์ทดลอง การจัดกลุ่มทดลอง จำนวนซ้ำ การวางแผน การทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ทดสอบในสุกรอนุบาลลูกผสม (ลาร์จไวท์ x แลนด์เรซ x ดู รอค) จำนวน 40 ตัว น้ำหนักเริ่มต้น 6.64 ± 0.5 กิโลกรัม แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมสุกร ได้รับอาหารฐาน ใช้แหล่งวัตถุดิบอาหารหลัก คือ ปลายข้าว ข้าวโพด กากถั่วเหลือง เป็นหลัก กลุ่มที่ 2 ได้รับอาหารฐานผสม 0.50% CM-SMS กลุ่มที่ 3 ได้รับอาหารฐานผสม 0.02% HK L-137 และ กลุ่มที่ 4 ได้รับอาหารฐานผสม 0.050% CM-SMS + 0.02% HK L-137 โดยเสริม CM-SMS ทดแทน ปลายข้าว และ HK K-137 ทดแทนข้าวโพด ในสูตรอาหารฐาน ทดลองเป็นระยะเวลา 42 วัน ผล การศึกษาพบว่า ไม่พบความแตกต่างสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างกลุ่มทดลอง ด้าน ADG และ ADFI และ ปริมาณ Immunoglobulin (Ig) ทั้งสามชนิด (IgA, IgG และ IgM) ในพลาสมาของสุกร แต่พบว่าสุกร กลุ่มที่มีการเสริม CM-SMS 0.50% เพียงอย่างเดียว มีค่า FCR ดีที่สุดในช่วงสัปดาห์ที่ 5-6 ของการ ทดลอง ($P<0.05$) แต่การเสริม HK L-137 0.02% ในอาหารเพียงอย่างเดียวทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาว ชนิด Monocyte ของสุกรต่ำกว่ากลุ่มอื่น ซึ่งการเสริม CM-SMS, HK L-137 และการเสริม CM-SMS และ HK L-137 ร่วมกัน ในอาหารสุกรอนุบาล ทำให้ระดับปริมาณเอนไซม์ SOD ในเลือดสูงขึ้น ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการศึกษาทั้งสองการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่า ทั้ง CM-SMS และ HK L-137 สามารถเป็นสารเสริมที่มีศักยภาพใช้ในอาหารสุกรอนุบาลได้

Title	APPLICATION OF <i>CORDYCEPS MILITARIS</i> SPENT MUSHROOM SUBSTRATE FOR NURSERY PIG FEED SUPPLEMENTS
Author	WATCHARIN OMTHONGLANG
Advisor	Associate Professor Wandee Tartrakoon, Dr. Sci. Agr.
Co-Advisor	Associate Professor Tossaporn Incharoen, Ph.D.
Academic Paper	M.S. Thesis in Animal Science - (Type A2), Naresuan University, 2021
Keywords	Cordyceps militaris spent mushroom substrate, Growth performance, Nursery pigs, Oxidative stress

ABSTRACT

This research aimed to study the effect of *Cordyceps militaris* spent mushroom substrate supplementation at different levels of 0.25, 0.50 and 1.00% in nursery pig feed on the growth performance, feed conversion ratio and oxidative stress conditions. *Cordyceps militaris* spent mushroom substrate (CM-SMS) is a by-product of Cordyceps manufacturing industry. The CM-SMS obtained from cultivating cordyceps mushroom material is derived from the culture medium containing substantial constituents for processing into animal feed. The main substances in CM-SMS are cordycepin and adenosine. Therefore, if the CM-SMS part is researched and produced into a supplement for use in animals. It will add a lot of marketing value. In the first experiment, 40 (Duroc x Large White x Landrace) nursery pigs starting weight at 5.50 ± 0.50 kg and were divided into four experimental groups. Each group contained one pig per replication using a completely randomized design (CRD). Each pig was randomly fed experimental diet as following: 1) control group feed basal diet, which contains soybean meal, broken rice, and corn meal as the main ingredients; 2) to 4) control group fed the basal diet supplemented with CM-SMS at 0.25, 0.50 and 1.00 %, respectively by which CM-SMS was to replace the broken rice in the basal diet. The experimental period lasted for 28 days. The results found that the group-fed diet supplemented with CM-SMS 0.50% had a higher ($P < 0.05$) average daily gain (ADG) than the group-fed diet supplemented with CM-SMS 0.25% in the

first two weeks of the trial. There were no significant differences among the treatment group of the pigs ($P>0.05$) in average daily feed intake (ADFI), feed conversion ratio (FCR), diarrhea incidence, Superoxide Dismutase (SOD) and Glutathione peroxidase (GPx) in pig serum. The results found that the pigs in the CM-SMS supplemented groups tended to increase lymphocytes ($P=0.07$) in blood plasma. For the second experiment, it was between CM-SMS supplementations (by the same levels used the first experiment) compared with Heat-kill *Lactobacillus plantarum* L-137 (HK L-137) and CM-SMS+HK L-137. The amount of CM-SMS used in the experiment at the level resulted from the first study. The experimental design also followed the first experiment's at which the total of 40 (Duroc x Large White x Landrace) pigs at starting weight at 6.64 ± 0.5 kg were divided in to four groups with the feeds of the experimental diets as follows: 1) control group was fed basal diet, which contains soybean meal, broken rice, and corn meal as the main ingredients; 2) to 4) control group fed the basal diet supplemented with 0.50% CM-SMS, 0.02% HK L-137 and 0.50% CM-SMS+0.02% HK L-137, respectively by which CM-SMS was to replace the broken rice and HK L-137 to replace the corn meal in the basal diet. This experiment period lasted for 42 days. The result found no significance among the treatment groups ($P>0.05$) on ADG, ADFI, Immunoglobulin in blood plasma (IgA, IgG, and IgM). However, some pigs with only the 0.50% CM-SMS supplementation had the best FCR at 5-6 weeks of the experimental period. Whereas Monocyte of blood serum of the pigs in the diet supplemented with only HK L-137 were lower than other groups ($P<0.05$) instead. The supplementation of CM-SMS, HK L-137, CM-SMS+HK L-137 all resulted in increasing the serum SOD enzyme levels ($P< 0.05$) compared to the control. Therefore, CM-SMS and HK L-137 could be the potential supplements in the nursery pig feed.

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยกราบขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร. วันดี ทาตระกูล ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาเป็นทีปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ทศพร อินเจริญ กรรมการวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรภัทร หวันเหลี่ยม กรรมการวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์ ผู้เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

ขอขอบคุณ โครงการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วมเอกชนในเชิงพาณิชย์จากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) ประจำปีงบประมาณ 2563 บริษัท ไฮคูตส์ โปรดักท์ จำกัด และ บริษัท House Wellness Foods ประเทศญี่ปุ่น ที่สนับสนุนเงินอุดหนุนการทำวิจัย และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ ในเครื่องมือในการทำวิจัย จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ นายนิทัศน์ วิชาสีทธิ์ ว่าที่ ร.ต. อติศักดิ์ คงแก้ว นางสาวอรปรีญา โชติ นางสาวรุ่งทิวา ใจมาศรี และนิสิตบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาสัตวศาสตร์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนทั้งกำลังร่างกาย และกำลังใจเสมอมา จนทำให้ฟันผ่านอุปสรรคต่างๆ มาได้ด้วยดี

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศให้แต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพการเลี้ยงสุกร และผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อย

วัชรินทร์ อัมทองหลาง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
ประกาศคุุณูปการ	ช
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เห็ดถั่งเช่า.....	3
2.2 สารคอร์เดเซปิน (Cordycepin).....	6
2.3 สารอะดีโนซีน (Adenosine).....	8
2.4 สุกรระยะหลังหย่านม.....	10
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของสุกรหลังหย่านม	14
2.6 ระบบภูมิคุ้มกัน	20

2.7 กลไกการเกิดความเครียดจากการออกซิเดชัน (Oxidative stress)	24
2.8 การนำเห็ดถั่งเช่ามาใช้ในมนุษย์	27
2.9 การนำเห็ดถั่งเช่าสีทองมาใช้ในสัตว์	28
2.10 Heat-killed <i>Lactobacillus plantarum</i> L-137 (HK L-137)	29
2.11 การใช้ HK L-137 ในสัตว์.....	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	33
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	33
3.2 สารเคมี.....	33
3.3 การทดลองที่ 1 การศึกษาการใช้ประโยชน์ของ CM-SMS ในรูปผง ในระดับการใช้ 0.25, 0.50 และ 1.00% ในอาหารสุกรอนุบาล	34
3.4 การทดลองที่ 2 การศึกษาการเสริม CM-SMS เปรียบเทียบกับ HK L-137 และการ เสริมร่วมกันของ CM-SMS และ HK L-137	39
3.5 สถานที่ทำการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล	43
3.6 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....	43
บทที่ 4 ผลการวิจัย	44
4.1 ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ของ CM-SMS ในระดับการใช้ 0.25, 0.5 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรอนุบาล	44
4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการเสริม CM-SMS เปรียบเทียบกับ HK L-137 และการ เสริมร่วมกันของ CM-SMS และ HK L-137	47
บทที่ 5 บทสรุป	52
5.1 วิจารณ์ผล	52
5.2 สรุปผลการวิจัย	61
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	62

บรรณานุกรม.....63

ภาคผนวก.....82

ประวัติผู้วิจัย90



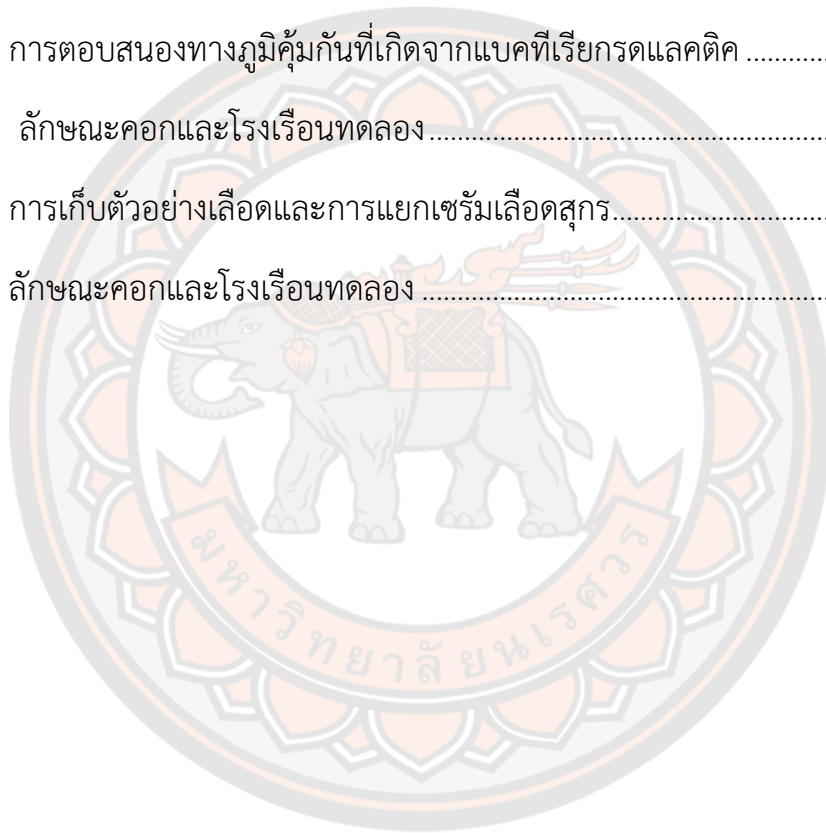
สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 Suitable of inside housing ventilation for pigs at diffent ages.	12
ตาราง 2 Proper ventilation rate and housing temperature for pigs at diffent ages.	12
ตาราง 3 Ingredients and nutrient composition of experimental diets with different level of CM-SMS.....	37
ตาราง 4 Ingredients and nutrient composition of experimental diets different level of CM-SMS and HK L-137	41
ตาราง 5 The effect of dietary CM-SMS supplementation on growth performance in nursery pigs	45
ตาราง 6 The effect of dietary CM-SMS supplementation on oxidative stress-related enzymes and blood parameters in nursery pigs.....	46
ตาราง 7 The effect of dietary CM-SMS and HK L-137 supplementation on growth performances of nursery pigs.....	48
ตาราง 8 The effect of dietary CM-SMS and HK L-137 supplementation on oxidative stress-related enzymes and immunological function of nursery pigs.....	49
ตาราง 9 The effect of dietary CM-SMS and HK L-137 supplementation on hematological changes of nursery pigs	50

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 ภาพแสดงโครงสร้างของผนังภายในลำไส้เล็ก เยื่อบุผนังลำไส้เล็ก (Enterocyte) ..14	
ภาพ 2 อิทธิพลของน้ำหนักรยานมและอัตราการเจริญเติบโตในช่วงสัปดาห์แรกหลัง หย่านม	17
ภาพ 3 การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันที่เกิดจากแบคทีเรียกรดแลคติก	31
ภาพ 4 ลักษณะคอกและโรงเรือนทดลอง	35
ภาพ 5 การเก็บตัวอย่างเลือดและการแยกเซรัมเลือดสุกร	38
ภาพ 6 ลักษณะคอกและโรงเรือนทดลอง	40



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

การหย่านมลูกสุกร มักส่งผลทำให้สุกรเกิดความเครียด ทั้งจากการขนส่งและปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมใหม่ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในสรีรวิทยาระบบทางเดินอาหาร และภูมิคุ้มกันในลูกสุกร (Lewis and Robert, 2006; Campbell et al., 2013) อีกทั้งทางการปศุสัตว์ได้ประกาศการงดใช้ยาปฏิชีวนะอย่างเข้มงวด ห้ามผลิต นำเข้า ขาย และห้ามใช้เคมีภัณฑ์ต่างๆ หลายชนิด จึงเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดความสูญเสียเกิดขึ้น ทั้งเรื่องของสมรรถภาพการผลิตโดยรวม และในเรื่องของกำไรจากผู้ประกอบการธุรกิจเลี้ยงสุกรขุน จากปัญหาและข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้อุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกรมองหาทางเลือกใหม่สำหรับเป็นสารเสริมในอาหารเพื่อเพิ่มอัตราการรอดชีวิต และสมรรถภาพการผลิตของสุกรหลังหย่านม ไม่ว่าจะเป็นการเสริมสมุนไพรชนิดต่างๆ หรือวัตถุดิบจากธรรมชาติ เป็นต้น ถึงเข้าสู่ทองที่ได้อีกชื่อว่ามีคุณประโยชน์ในเรื่องของการนำมาเป็นสารภูมิคุ้มกัน หรือเรื่องของการเสริมสมรรถภาพร่างกาย และทางเพศ จากกระบวนการเพาะเห็ดถึงเข้าสู่ทองพบว่ามิของเหลือจากกระบวนการผลิตนี้ คือ ฐานถึงเห็ดทอง (*Cordyceps militaris* spent mushroom substrate; CM-SMS) เป็นผลพลอยได้ และพบว่ายังคงมีสารออกฤทธิ์คงเหลืออยู่ เช่น Cordycepin, Adenosine และ Polysaccharides จากการศึกษาในสุกรพบว่า การเสริมเห็ดถึงเห็ดทองไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตแต่มีผลต่อระบบสืบพันธุ์ และความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในแม่สุกรและยังช่วยลดการถ่ายเหลวในลูกสุกรได้ (วัลย์วิณี อาจริชัย และคณะ, 2562) นอกจากนี้พบว่าการเสริมเห็ดถึงเห็ดทองมีผลกระตุ้นประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสุกรระยะอนุบาล (Richert et al., 2018) และยังพบว่าการเสริม CM-SMS ต่อเนื่องจนถึงสัปดาห์ที่ 6 จะส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตดีขึ้นในสุกรระยะขุน (Boontiam et al., 2019) CM-SMS เป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตเห็ดถึงเห็ดซึ่งเดิมวัตถุดิบเหล่านี้ไม่ได้ใช้ประโยชน์หรือไม่มีมูลค่าเทียบเท่ากับส่วนของดอกและลำต้นของเห็ดถึงเห็ด และยังไม่มียางานการนำมาใช้ของ CM-SMS อย่างแพร่หลาย ทางภาคอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงเห็ดถึงเห็ดจึงต้องการเพิ่มมูลค่าของฐานเห็ดถึงเห็ด โดยการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านปศุสัตว์ นอกจากจะเป็นผลดีต่อสัตว์แล้วยังช่วยตอบสนองความต้องการของ

ผู้บริโภคอีกทางหนึ่ง จึงเป็นการพัฒนาผลผลิตจากผลพลอยได้จากการเพาะเห็ดถั่งเช่า คือฐานเห็ดถั่งเช่า เพื่อเป็นสารเสริมภูมิคุ้มกันและประสิทธิภาพการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหาร และลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในสุกรอนุบาล

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อนำ CM-SMS มาใช้ประโยชน์เป็นอาหารเสริมเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- 2) เพื่อพัฒนารูปแบบของการนำไปใช้สารเสริม CM-SMS ที่เหมาะสมในสุกรอนุบาล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สิ่งทดลอง ฐานเห็ดถั่งเช่า (*Cordyceps militaris* spent mushroom substrate; CM-SMS)

การทดลอง การเสริม CM-SMS ในอาหารสุกรอนุบาล

สถานที่ทดลอง สถานีวิจัยและฝึกอบรมบึงราชนก คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

ช่วงเวลาวิจัย กรกฎาคม – ธันวาคม 2563

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

CM-SMS ที่เสริมในอาหารสุกร จะสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการเจริญเติบโต เพิ่มการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันโรค และลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบผลของการใช้ CM-SMS สำหรับใช้เป็นทางเลือกเป็นสารเสริมที่ผสมในอาหารสุกรอนุบาล เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่สามารถเป็นอีกหนึ่งในสิ่งที่สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตในสุกรอนุบาล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เห็ดถั่งเช่า

เห็ดถั่งเช่า ที่มีสรรพคุณอยู่ 2 ส่วน ส่วนแรกคือส่วนที่เป็น เห็ด กับอีกส่วนหนึ่งคือส่วนที่เป็น หนอน หรือ ถั่งเช่า และยังเป็นต้นกำเนิดของสมุนไพรเห็ดชนิดนี้อีกด้วย ซึ่งหนอนที่ให้กำเนิดถั่งเช่านั้นคือหนอนผีเสื้อที่อาศัยอยู่แถบที่ราบสูงของทิเบต โดยหนอนชนิดนี้จะได้รับหรือกินเชื้อราถั่งเช่าตอนอยู่ใต้ดิน ทำให้มีหนอนหญ้าที่เป็นส่วนผสมระหว่างหนอนและเชื้อราถั่งเช่าแตกขึ้นมา นี่จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมถั่งเช่าถึงมีโคนเหมือนกับตัวหนอน ซึ่งตามต้นกำเนิดธรรมชาติของเห็ดถั่งเช่านี้ส่วนใหญ่จะพบได้บนที่ราบสูงของประเทศจีน เช่น มณฑลชิงไห่ รวมถึงเทือกเขาหิมาลัยของทิเบต แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากเห็ดสมุนไพรถั่งเช่านี้มีสรรพคุณซึ่งเป็นประโยชน์จนเป็นที่ต้องการในปัจจุบัน จึงมีการวิจัยและเพาะปลูกกันเองภายในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ

2.1.1 ประเภทของเห็ดสมุนไพรถั่งเช่า มีหลายประเภท ซึ่งหลัก ๆ แล้วสามารถแบ่งประเภทถั่งเช่าได้ 4 ประเภท ดังนี้

- 1) ถั่งเช่าทิเบต (*Cordyceps sinensis*) เห็ดถั่งเช่าประเภทนี้จะเป็นแบบต้นตำรับ เกิดจากหนอนผีเสื้อบนที่ราบสูงจากทิเบตอย่างที่ได้อธิบายไปข้างต้น ซึ่งสรรพคุณของถั่งเช่าทิเบตนี้ได้รับการยอมรับมาอย่างยาวนาน แต่การเพาะเลี้ยงเพื่อให้ได้เห็ดสมุนไพรถั่งเช่าทิเบตนั้นค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน
- 2) ถั่งเช่าหิมะ หรือ ถั่งเช่าเกาหลี (*Isaria tenuipes*) ในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมา เห็ดสมุนไพรถั่งเช่าหิมะได้รับความนิยมในประเทศเกาหลีมาก โดยการเพาะเลี้ยงถั่งเช่าเกาหลีนั้นต้องพ่นเชื้อราใส่หนอนไหมในช่วงที่กำลังลอกคราบ เชื้อราดังกล่าวจะเจริญเติบโตในตัวหนอนไหม ซึ่งจะเติบโตเต็มที่ตอนที่หนอนไหมเปลี่ยนเป็นดักแด้ หลังจากนั้นผู้เพาะถั่งเช่าก็จะตัดดักแด้ออกจากรังไหม นำไปใส่ไว้ในภาชนะที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอย่างดีเพื่อให้ได้ถั่งเช่าหิมะ หรืออีกชื่อก็คือ ถั่งเช่าเกาหลี

- 3) ถังเช่าจ๊กจั่น หรือ ว่านจ๊กจั่น (*Isaria sinclairii*) ถังเช่าชนิดนี้เกิดขึ้นจากจ๊กจั่นตามชื่อที่เรียก ซึ่งภายในตัวจ๊กจั่นนั้นมีเชื้อรา *Isaria sinclairii* ซึ่งจะทำให้ถังเช่าเกิดการแตกหน่อ ซึ่งความพิเศษของถังเช่าประเภทนี้ก็คือไม่จำเป็นต้องเพาะในห้องที่มีอากาศเย็น
- 4) ถังเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) เนื่องจากสรรพคุณถังเช่าที่มีประโยชน์มาก ทำให้เป็นที่ต้องการของคนทั่วโลก แต่ก็ไม่ใช่ทุกคนที่สามารถเพาะพันธุ์ถังเช่าแบบที่เบตที่เป็นต้นตำรับได้ จึงเกิดถังเช่าสีทอง ซึ่งเป็นเห็ดที่มาจาก การเพาะในห้องที่ควบคุมสภาพแวดล้อม โดยเห็ดถังเช่าสีทองนี้ถือเป็นเห็ดตระกูลเดียวกับถังเช่าที่เบต แต่ต่างสายพันธุ์หรือสปีชีส์ สำหรับการเพาะเห็ดสมุนไพรถังเช่าสีทองนั้นมีอยู่หลายสูตรด้วยกัน แต่อย่างไรก็ตามสิ่งหนึ่งที่ทุกสูตรมีเหมือนกันก็คือต้องเพาะ ถังเช่าสีทอง นี้ในที่ที่อุณหภูมิต่ำ มีอากาศเย็น และสามารถใช้ขวดโหลในการเพาะได้เนื่องจากสามารถเก็บความชื้นได้ดี ซึ่งเห็ดถังเช่ามีสรรพคุณหลายอย่างจึงเป็นที่ต้องการของตลาดและมีราคาแพง ปัจจุบันเห็ดถังเช่าสามารถเพาะได้ 2 แบบ คือ การเพาะด้วยตัวหนอนและการเพาะด้วยอาหาร เนื่องด้วยทุกส่วนของถังเช่าสีทองสามารถนำไปใช้เป็นสารเสริมสำหรับคนได้ ซึ่งวัสดุที่เหลือจากการเพาะเห็ดถังเช่าที่ไม่สามารถนำมาแปรรูปเป็นอาหารหรือยาสำหรับคนได้ เมื่อมีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญต่อการผลิตเห็ดถังเช่า 1 กิโลกรัม พบว่ามีสาร Cordycepin อยู่ซึ่งสารออกฤทธิ์ดังกล่าวคล้ายกับเห็ดถังเช่า จากงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์พบว่า ถังเช่ามีสาร Cordycepin ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนของเลือดและต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคหลายชนิด สาร Adenosine ช่วยต้านการแข็งตัวของเลือดและต้านการเกิดลิ่มเลือดในร่างกาย สาร Cordycepic acid ช่วยเพิ่มเมแทบอลิซึม ต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบ และ Polysaccharides ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันแก่ร่างกาย ลดคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ (ธัญญา ทะพิงค์แก, 2555) ซึ่งเห็ดชนิดนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มีการซื้อขายถังเช่าสีทองในประเทศไทยแบบอบแห้งอยู่ที่ กิโลกรัมละประมาณ 4 หมื่นถึง 2.5 แสนบาทต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง โดยราคาขึ้นอยู่กับปริมาณสารคอร์เดซิปีน (Cordycepin) ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในเห็ดถังเช่า (ประภาพรรณ ซอหะซัน, 2559)

2.1.2 สารสำคัญที่พบได้ในถั่งเช่าและสรรพคุณถั่งเช่า

สารทั่วไปในถั่งเช่า เช่น อนุพันธ์โปรตีน ดีเอ็นเอ วิตามินบี 12 กรดอะมิโน 18 ชนิด ในอาซิน สังกะสี ทองแดง แมงกานีส โครเมียม และแร่ธาตุอื่น ๆ กรดคอร์เดเซปิก (Cordycepic Acid) ในถั่งเช่านั้นมีคุณสมบัติและสรรพคุณในการช่วยเพิ่มเมแทบอลิซึมของร่างกาย คอร์เดเซปิน (Cordycepin) พบได้ในสมุนไพรเห็ดถั่งเช่าโดยเฉพาะ มีสรรพคุณช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการไหลเวียนเลือด ด้านเชื้อแบคทีเรีย บำรุงไต รวมถึงบำรุงร่างกายขณะที่อยู่ในช่วงอ่อนแอ สเตียรอยด์ที่พบในถั่งเช่าโดยเฉพาะคอร์ดีสเตป สเตอรอล (Cordycep Sterol) สเตียรอยด์ของเห็ดสมุนไพรถั่งเช่าจัดเป็น สเตียรอยด์ธรรมชาติ ไม่ใช่สเตียรอยด์สังเคราะห์ ซึ่งปกติแล้วสเตียรอยด์มีสรรพคุณลดการอักเสบ ลดอาการปวดต่าง ๆ ลดความเครียด รวมถึงฟื้นฟูสภาวะร่างกายที่อ่อนแอให้แข็งแรง นอกจากนี้ สรรพคุณเห็ดถั่งเช่า ที่กล่าวไปข้างต้น ในถั่งเช่ายังพบสารชนิดอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอีกมากมาย ได้แก่ อะดีโนซีน (Adenosine) ที่ช่วยสลายลิ่มเลือด และ โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides) หรือ เบต้า-กลูแคน (β -Glucan) ช่วยต้านการเกิดอนุมูลอิสระ เพิ่มภูมิคุ้มกัน ลดระดับน้ำตาลในเลือด และที่สำคัญยังต้านเซลล์มะเร็งได้อีกด้วย ส่วนสารทั่วไปในถั่งเช่าก็เช่น โปรตีน ดีเอ็นเอ (DNA) อาร์เอ็นเอ (RNA) วิตามินบี 12 กรดอะมิโน 18 ชนิด ในอาซิน สังกะสี ทองแดง แมงกานีส โครเมียม และแร่ธาตุอื่น ๆ มากมาย เนื่องจากสรรพคุณของเห็ดถั่งเช่า ไม่ว่าจะ เป็นถั่งเช่าที่เบตแท้ หรือถั่งเช่าสีทอง ที่มีอยู่มากมาย เช่น ช่วยบำรุงร่างกาย บำรุงกำลัง เพิ่มภูมิต้านทานโรคทำให้ร่างกายสดชื่น ช่วยแก้อาการอ่อนเพลีย ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย ชะลอความแก่และความเสื่อมของเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย ลดความดันโลหิตสูง ลดระดับน้ำตาลในเลือด ลดระดับคลอเรสเตอรอล และรักษาสมดุลของคลอเรสเตอรอลในหลอดเลือด ช่วยในด้านอารมณ์ ระวังประสาท ทำให้ผ่อนคลาย ช่วยเพิ่มความจำ ป้องกันโรคความจำเสื่อมในผู้สูงอายุ (จีเอ็มโอ ไทยแลนด์, 2560) และยังพบว่าถั่งเช่าช่วยให้ผู้ป่วยไตวายเรื้อรังมีอาการดีขึ้นมากถึง 51% หลังจากบริโภคถั่งเช่า 1 เดือน นอกจากนี้สรรพคุณที่เป็นที่สนใจกันมากก็คือบำรุงและเสริมสมรรถภาพทางเพศ ซึ่งได้มีรายงานวิจัยจากต่างประเทศในสัตว์ทดลองและมนุษย์มาแล้ว จึงทำให้มีผู้สนใจเป็นอย่างมากจากกลุ่มที่เป็นผู้รักสุขภาพ (ปริญญา จันทร์ศรี, ม.ป.ป.) จากความต้องการของผู้บริโภค ทำให้ราคาของเห็ดถั่งเช่ามีราคาที่สูงมากขึ้นไปด้วย ซึ่งปัจจุบันทำให้ราคาของเห็ดถั่งเช่านี้มีราคาที่สูงขึ้นตามปริมาณของสารที่อยู่ภายใน ซึ่งราคาจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 18,000 บาท จนถึง 250,000 บาท ต่อกิโลกรัม โดย

ราคานี้อ้างอิงจากบริษัท ไฮกู๊ดส์ โปรดักท์ จำกัด ทั้งนี้ถ้าหากได้รับมาตรฐานจากองค์การอาหารและยา (อย.) ก็จะทำให้ราคาของเห็ดชนิดนี้เพิ่มขึ้นอีกด้วย

2.2 สารคอร์เดเซปิน (Cordycepin)

สารคอร์เดเซปิน (Cordycepin หรือ 3'-deoxyadenosine) คือ สารอนุพันธ์ของอะดีโนซีนที่อยู่ในกลุ่มนิวคลีโอไซด์ (Nucleosides) ที่จัดเป็นสารออกฤทธิ์ที่พบตามธรรมชาติ โดยมีสูตรโมเลกุลคือ $C_{10}H_{13}N_5O_3$ ซึ่งสารสารคอร์เดเซปินยังมีการศึกษาวิจัยพบว่ามีฤทธิ์ในการช่วยบำรุงอวัยวะภายในร่างกายและช่วยป้องกันการเกิดโรคต่างๆได้มากมายหลายโรค ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป และสำหรับประเภทของคอร์เดเซปินนั้น พบว่ามีประเภทเดียวเท่านั้น สารคอร์เดเซปิน จัดเป็นสารเฉพาะที่พบได้ในสมุนไพรถั่งเช่าเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันพบสารคอร์เดเซปินได้ ทั้งถั่งเช่าจากธรรมชาติคือ ถั่งเช่าทิเบต หรือถั่งเช่าจีน (*Cordyceps sinensis*) และที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในห้องทดลองคือ ถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) โดยมีการศึกษาวิจัยพบว่า ถั่งเช่าจีน (*Cordyceps sinensis*) มีปริมาณสารคอร์เดเซปิน ไม่เกิน 1,000 ppm และมีการอะดีโนซีนมี 1,500-1,600 ppm สำหรับ ถั่งเช่าสีทองมีปริมาณสารคอร์เดเซปินแตกต่างกัน ซึ่งมีตั้งแต่ต่ำกว่า 100-3,000 ppm และยังพบว่า ส่วนของถั่งเช่าที่มีสารคอร์เดเซปินมากที่สุดคือ ส่วนของดอกเห็ด (Fruiting body) รองลงมาคือในส่วนเส้นใย (Mycelium) นอกจากนี้ ยังพบว่าสารคอร์เดเซปินอยู่ในส่วนของฐานเห็ดอีกด้วย สำหรับปริมาณการใช้และปริมาณที่ควรได้รับต่อวันของสารคอร์เดเซปินนั้นในปัจจุบันยังไม่มีกำหนดเกณฑ์การใช้ หรือขนาดที่ควรได้รับต่อวัน เพราะการได้รับสารคอร์เดเซปินนั้นจะเป็นการได้รับจากการรับประทานสมุนไพรถั่งเช่ามากกว่าการได้รับสารสารคอร์เดเซปินในรูปแบบสารสกัด สำหรับประโยชน์ของสารคอร์เดเซปินนั้น มีผลการศึกษาวิจัยหลายฉบับได้ระบุถึงคุณสมบัติทางเภสัชวิทยาหลายด้าน เช่น ช่วยปรับระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ด้านเซลล์มะเร็งและเซลล์เนื้องอก การต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านอนุมูลอิสระ ลดระดับน้ำตาลในเลือด เพิ่มอัตราการปฏิสนธิ ลดไขมันในเลือด ลดการสร้างเม็ดสีเมลานิน ฤทธิ์ควบคุมการแบ่งตัว (Antiproliferative) ทำให้เกิด Apoptosis (Proapoptotic) มีฤทธิ์ลดการอักเสบ (Anti-inflammatory) มีฤทธิ์ช่วยเพิ่มพลังภายในร่างกาย มีคุณสมบัติบำรุงไตและปอด ช่วยในการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง กระตุ้นการไหลเวียนของโลหิต ช่วยลดกรดยูริกในกระแสเลือด และยังช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้อีกด้วย มีผลการศึกษาวิจัยถึงฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารคอร์เดเซปินหลายฉบับ เช่น มีการศึกษาวิจัย

สารคอร์เดเซปิน พบว่ามีคุณสมบัติเป็นสารต้านมะเร็งเนื่องจากสารคอร์เดเซปินจะทำหน้าที่ขัดขวางการสร้างพิวรีน (Purine) เนื่องจากพิวรีนเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์สารชีวโมเลกุลต่างๆ ซึ่งเซลล์มะเร็งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็วกว่าเซลล์ปกติ โดยที่สารคอร์เดเซปินจะเข้าไปทำลายการถอดรหัสลำดับเบสของ DNA เป็น mRNA เมื่อไม่มีการถอดรหัส DNA ทำให้ไม่เกิดการสร้างโปรตีนที่เป็นอาหารของเซลล์มะเร็ง ดังนั้นจึงทำให้เซลล์มะเร็งเจริญเติบโตช้า หรือ หยุดการเจริญเติบโต และยังมีการศึกษาสารสกัดคอร์เดเซปินจากถั่งเช่าสีทองที่สกัดด้วยน้ำ พบว่าแสดงผลการต้านมะเร็งผ่านการกระตุ้นของ Adenosine A3 receptor ตามด้วยการกระตุ้น Glycogen synthase kinase (GSK)-3 β และการระงับ Cyclin D1 (ดิสไทย, ม.ป.ป.)

การศึกษาวิจัยพบว่าสารคอร์เดเซปินมีฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดอย่างมีนัยสำคัญ โดยส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการสังเคราะห์ในตับที่เพิ่มขึ้น ส่วนในปี ค.ศ. 2018 มีนักวิจัยกลุ่มเดียวกันตั้งสมมติฐานว่าสารคอร์เดเซปินจากเห็ดถั่งเช่าสีทองอาจเป็นสารป้องกันภาวะกรดยูริกสูงในหนู จึงได้ทำการศึกษาผลของสารคอร์เดเซปินที่ระดับความเข้มข้น 15, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักหนู 1 กิโลกรัม ในหนูที่มีภาวะกรดยูริกในเลือดสูง (337 ไมโครโมลต่อลิตร) โดยมียา Allopurinol และยา Benzbromarone เป็นตัวควบคุมเชิงบวก พบว่าคอร์เดเซปินส่งผลต่อการลดกรดยูริกในซีรัม (Serum uric acid) ลงมาที่ปริมาณ 216, 210 และ 203 ไมโครโมลต่อลิตร ที่คอร์เดเซปินระดับความเข้มข้น 15, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักหนู 1 กิโลกรัม ตามลำดับและจากการวิเคราะห์การทำงานของตัวรับสัญญาณของตัวขนส่งกรดยูริก (Uric acid transporter) ชนิด URAT1 ด้วยการตรวจด้วยวิธี Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) และ Western blot พบว่า คอร์เดเซปินส่งผลทำให้ตัวรับสัญญาณ URAT1 ลดลง ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า คอร์เดเซปินมีบทบาททั้งช่วยลดระดับกรดยูริกสูงในซีรัม โดยทำให้ระดับกรดยูริกลดลงเข้าสู่ค่าของหนูปกติ คือ 202 ไมโครโมลต่อลิตร และออกฤทธิ์ขัดขวางการทำงานของ URAT1 จึงยับยั้งการดูดซึมกลับของกรดยูริกที่ไต (Uric acid transporter inhibitor หรือ Uric acid reabsorption inhibitor) ทำให้ช่วยลดภาระการทำงานของไตที่มากเกินไป (Renal overload) ที่มีผลใกล้เคียงกับยา Benzbromarone (ดิสไทย, ม.ป.ป.) นอกจากนี้ยังมีศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าคอร์เดเซปินจาก *Cordyceps militaris* สามารถช่วยป้องกันภาวะไขมันในเลือดสูงโดยกระตุ้นการทำงานของ Phosphor-AMP-activated

protein kinase (AMPK) และสามารถเพิ่มความไวของอินซูลินได้อย่างมีประสิทธิภาพได้อีกด้วย (ดิสไทย, ม.ป.ป.)

จะเห็นว่าคอร์เตเซป็นเป็นสารสำคัญในแง่เข้าที่สามารถออกฤทธิ์ได้เท่าฮอร์โมนเพศชาย หรือ เทสโทสเตอโรน (Testosterone) ทำให้คอร์เตเซป็นมีผลโดยตรงในการควบคุมสมรรถภาพทางเพศชายทั้งระบบให้ทำงานได้อย่างเต็มที่ โดยที่คอร์เตเซป็นเองไม่ได้เป็นฮอร์โมนจึงไม่รบกวนสมดุลฮอร์โมนภายในร่างกาย สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย ให้ผลเพิ่มเสริมสมรรถภาพทางเพศ และลักษณะอื่น ๆ ที่แสดงออกถึงความเป็นเพศชาย ที่สำคัญจะยิ่งเห็นผลชัดเจนมากในผู้ที่อายุมากเพราะจะเริ่มมีปริมาณเทสโทสเตอโรนต่ำลง ฉะนั้นการได้รับ คอร์เตเซป็นเท่ากับได้สารที่ทำงานในระบบสมรรถภาพทางเพศแทนเทสโทสเตอโรน นอกจากนี้คอร์เตเซป็นยังเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนของเลือดและต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคอีกด้วย (Montaguez, 2013)

2.3 สารอะดีโนซีน (Adenosine)

อะดีโนซีนเป็นนิวคลีโอไซด์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในทุกเซลล์ของร่างกาย ในทางเคมีคือ 6-amino-9-beta-D-ribofuranosyl-9-H-purine โครงสร้างและระดับเลือด อะดีโนซีนประกอบด้วยอะดีนีนที่ติดอยู่กับโมเลกุลน้ำตาลไรโบส (ไรโบฟูราโนส) พันธะที่ยึดติดกับอะดีนีนและน้ำตาลไรโบสเรียกว่าพันธะ β -N9-Glycosidic ระดับอะดีโนซีนในพลาสมาปกติอยู่ระหว่าง 0.04 ถึง 0.2 ไมโครโมล อะดีโนซีนในแง่เข้า เป็นสารออกฤทธิ์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่รองจากสารคอร์เตเซป็นในเหตุตระกูลแง่เข้า ซึ่งมีคุณสมบัติกระตุ้นการจับออกซิเจนในกระแสเลือด ช่วยเรื่องระบบหายใจ โรคหอบหืด และภูมิแพ้ รวมถึงอะดีโนซีนยังช่วยในการสลายลิ่มเลือด ไม่ให้เกิดการแข็งตัว เพิ่มการไหลเวียนของโลหิตให้ดีขึ้น และควบคุมการเต้นของหัวใจให้ทำงานเป็นปกติ (ธัญญา ทะพิงค์แก, 2555)

บทบาททางสรีรวิทยาและเภสัชวิทยาของอะดีโนซีนในร่างกาย อะดีโนซีนช่วยในการถ่ายเทพลังงานของเซลล์โดยสร้างโมเลกุล เช่น อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต (ATP) และอะดีโนซีน ไดฟอสเฟต (ADP) อะดีโนซีนยังมีบทบาทในการส่งสัญญาณเส้นทางและการทำงานต่างๆ ในร่างกายด้วยการสร้างโมเลกุลสัญญาณเช่น Cyclic adenosine monophosphate (cAMP) สำหรับอวัยวะอื่นๆ เช่น สมอง ในสมองอะดีโนซีนเป็นสารสื่อประสาทที่ยับยั้ง ซึ่งอะดีโนซีนสามารถทำหน้าที่เป็นสารกดประสาทส่วนกลาง ในสภาวะปกติจะส่งเสริมการนอนหลับและระงับความตื่นตัว เมื่อตื่นขึ้นระดับ

ของอะดีโนซีนในสมองจะเพิ่มขึ้นทุกชั่วโมง อะดีโนซีนในหัวใจ ซึ่งในหัวใจอะดีโนซีนทำให้เกิดการขยายหลอดเลือดหัวใจ ช่วยเพิ่มการไหลเวียนของเลือดไปยังหัวใจ อะดีโนซีนยังช่วยเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดในอวัยวะส่วนปลาย อะดีโนซีนในหัวใจ ควบคุมความสม่ำเสมออัตราการเต้นของหัวใจ และในเลือดมีฤทธิ์ต้านการเกิดเกล็ดเลือด ซึ่งช่วยป้องกันการรวมตัวของเกล็ดเลือดและการแข็งตัวของเลือด อะดีโนซีนในเลือด ถูกทำลายลงโดยอะดีโนซีนดีอะมิเนส (Adenosine deaminase) เอนไซม์นี้มีอยู่ในเซลล์เม็ดเลือดแดงและผนังหลอดเลือด Dipyridamole เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์อะดีโนซีนดีอะมิเนส และทำให้ระดับของอะดีโนซีนในเลือดสูงขึ้น สิ่งนี้นำไปสู่การขยายตัวของหลอดเลือดและปรับปรุงการไหลเวียนของเลือดผ่านหลอดเลือดหัวใจที่ส่งกล้ามเนื้อหัวใจ อะดีโนซีนในไต ปอด และตับ อะดีโนซีนจะลดการไหลเวียนของเลือดในไต และลดการผลิตเรนินจากไต ในปอดทำให้เกิดการหดตัวของทางเดินหายใจและในตับทำให้หลอดเลือดตีบและเพิ่มการสลายตัวของไกลโคเจนเพื่อสร้างกลูโคส (Ananya, 2010)

จากการศึกษาก่อนหน้านี้รายงานเกี่ยวกับอะดีโนซีนซึ่งเป็นสารต้านการอักเสบ (Nakav et al., 2008) การรักษาเฉพาะทางโดยใช้อะดีโนซีนต่อบาดแผลที่เท้าของผู้ป่วย โรคเบาหวาน จากการทดลองในสัตว์ทดลองเพื่อเพิ่มการซ่อมแซมและสร้างเนื้อเยื่อใหม่ การให้อะดีโนซีนเฉพาะที่เพื่อใช้ในการรักษาบาดแผล และโรคเบาหวานในมนุษย์อยู่ระหว่างการตรวจสอบทางคลินิก ฤทธิ์ต้านการอักเสบของอาจเกิดจากการกระตุ้นการปลดปล่อยอะดีโนซีน (Cronstein, 2010) โดยทั่วไปอะดีโนซีนมีผลยับยั้งในระบบประสาทส่วนกลาง ผลของการกระตุ้นจะได้รับการให้ปัจจัยเป็นหลัก ความสามารถในการปิดกั้นตัวรับอะดีโนซีนซึ่งจะช่วยลดการยับยั้งการทำงานของอะดีโนซีนในระบบประสาทส่วนกลาง การลดลงของกิจกรรมอะดีโนซีนนำไปสู่การเพิ่มกิจกรรมของ สารสื่อประสาท โดปามีน และ กลูตาเมต (Solinas et al., 2002) หลักฐานการทดลองแสดงให้เห็นว่าอะดีโนซีนและ adenosine agonists สามารถกระตุ้นได้ ผ่านกลไกที่ต้องใช้อะดีโนซีนเป็นตัวรับ (Lee and Chao, 2001) มีการศึกษาในมนุษย์เกี่ยวกับการใช้อะดีโนซีนในการเพิ่มปริมาณเส้นผมสำหรับผู้ที่มีปริมาณเส้นผมน้อย (Oura et al., 2008; Hwang et al., 2012) การศึกษาในปี 2013 เปรียบเทียบอะดีโนซีนเฉพาะที่กับ ไมน็อกซิดิล (Minoxidil) ในเพศชายที่มีผมร่วงแบบแอนโดรเจน พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อเพศชายและไม่แตกต่างจากไมน็อกซิดิล และการศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาเพียงแต่พื้นฐานการใช้อะดีโนซีนจึงจำเป็นต้องมีการทดลองการใช้อะดีโนซีนเพิ่มเติม (Faghihi et al., 2013) จากการศึกษารักษาอาการหลับช้าในหนู โดยศึกษาจากองค์ประกอบหลักของกัญชาคือ Δ -

9-tetrahydrocannabinol (THC) และ เอนโดแคนนาบินอยด์ (Endocannabinoid) โดยใช้อะดีโนซีนเป็นสารชักนำเพื่อให้เกิดการง่วงนอนในหนู โดยการเพิ่มระดับอะดีโนซีนในสมองส่วนฐาน พบว่าหนูเริ่มมีอาการนอนหลับในช่วงชั่วโมงที่สาม ซึ่งเป็นการทำงานของตัวรับ CB1 การค้นพบนี้ระบุถึงศักยภาพในการใช้ Cannabinoids และอะดีโนซีนเพื่อกระตุ้นให้นอนหลับในสภาวะที่พบว่าหนูมีอาการนอนหลับช้า (Murillo-Rodriguez et al., 2003) นอกจากนี้อะดีโนซีนยังมีบทบาทในการควบคุมการไหลเวียนของเลือดไปยังอวัยวะต่างๆ หรือขยายหลอดเลือด อย่างไรก็ตามรายงานการศึกษาผลของอะดีโนซีนที่ผ่านมามีส่วนใหญ่นำมาใช้ในการศึกษาในมนุษย์ และในสัตว์ทดลอง เช่น หนู ซึ่งยังไม่พบรายงานการวิจัยในสุกรแต่อย่างใด

2.4 สุกรระยะหลังหย่านม

สุกรระยะหลังหย่านม หรือ สุกรระยะอนุบาล คือ ลูกสุกรที่ถูกแยกออกจากแม่สุกร ไม่ได้รับน้ำนมจากแม่สุกรอีกต่อไป เมื่อสุกรอายุประมาณ 21 - 25 วัน จะถูกคัดแยกจากฟาร์มสุกรพันธุ์ส่งไปเลี้ยงยังโรงเรือนอนุบาลอีกเป็นระยะเวลา 3 - 4 สัปดาห์ พร้อมกับการจัดการ เช่น ให้ความอบอุ่นที่เพียงพอเหมาะสมกับสุกรอนุบาลในแต่ละช่วงอายุ ประกอบกับการได้รับอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพสูง ส่งผลให้สุกรอนุบาลมีการเจริญเติบโตที่ดี พร้อมทั้งจะส่งออกสู่ฟาร์มสุกรขุน หรือ จำหน่ายแก่ลูกค้าภายนอกสำหรับเลี้ยงเป็นสุกรขุนต่อไป การรับลูกสุกรหย่านมเข้าเลี้ยงในโรงเรือนสุกรอนุบาล จะต้องเตรียมอุปกรณ์ โรงเรือนและการจัดการก่อนรับสุกรเข้าและในระหว่างการเลี้ยงต้องปฏิบัติดังนี้

- 1) เตรียมไฟกก แผ่นรองกก อาหารลูกสุกรอนุบาลและเตรียมน้ำกินที่ละลายวิตามินให้ลูกสุกรที่จะรับเข้า เพื่อช่วยลดความเครียดของสุกรที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย
- 2) เปิดพัดลม เพื่อดึงอากาศเก่าภายในโรงเรือนออกไปโดยใช้ที่ความเร็ว 100% เป็นเวลา 15 - 20 นาที จากนั้นปรับเหลือ 70 - 80% ก่อนที่นำสุกรเข้าโรงเรือน
- 3) ทำความสะอาดรางอาหารลูกสุกรด้วยน้ำสะอาด เพื่อล้างน้ำยาฆ่าเชื้อโรคและยาฆ่าแมลงที่ตกค้างออก
- 4) นำสุกรเข้าโรงเรือนด้วยการคัดสุกร โดยให้สุกรที่อยู่ในคอกเดียวกันต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน เป็นเพศและสายพันธุ์เดียวกัน พร้อมกับการนับจำนวนสุกร ภายในโรงเรือนอนุบาลจะมีคอกสำหรับเลี้ยงสุกร และคอกสำหรับสุกรที่ป่วยซึ่งจะจัดเตรียมไว้ทางด้านท้ายของโรงเรือน

5) ฝึกให้ลูกสูกรกินอาหาร โดยการให้อาหารสำหรับลูกสูกรที่มีส่วนประกอบของนม และผสมกับน้ำ ซึ่งจะทำให้อาหารมีกลิ่น และรสชาติดึงดูดลูกสูกรเพื่อให้ลูกสูกรกินง่ายขึ้น

6) ฝึกการกินน้ำให้ลูกสูกร โดยการนำยางรัดที่หัวของนิปเปิ้ลเพื่อให้น้ำไหลอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ลูกสูกรจดจำตำแหน่งกินน้ำแต่ละจุดภายในคอก

7) ฝึกให้ลูกสูกรถ่ายมูลในที่ต้องการให้ลูกสูกรขับถ่าย ส่วนใหญ่จะเป็นตำแหน่งท้ายคอก โดยการฉีดน้ำให้ชุ่มที่บริเวณท้ายคอกเนื่องจากพฤติกรรมถ่ายมูลของลูกสูกร พบว่าลูกสูกรมักจะถ่ายมูลในบริเวณที่เปียกชื้น ซึ่งการฝึกดังกล่าวจะช่วยให้ลูกสูกรไม่ถ่ายมูลในบริเวณที่นอน ที่กินอาหาร และบริเวณที่ลูกสูกรเล่น เป็นต้น

การปรับสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนสุกรอนุบาล การเตรียมอุปกรณ์ให้ความอบอุ่น และวัสดุรองนอนให้พร้อม ปรับอุณหภูมิภายในโรงเรือน การจะปรับอุณหภูมิภายในโรงเรือนต้องทำควบคู่กับการสังเกตพฤติกรรมของลูกสูกร ซึ่งลูกสูกรจะแสดงพฤติกรรมที่แตกต่างกันออกไป เช่น หากอุณหภูมิสูงสูกรจะแสดงอาการนอนกระจายตัวกันหรือเข้าไปนอนกองกันในส้วมน้ำ และกินอาหารในปริมาณที่น้อยลงเนื่องจากต้องการลดพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเผาผลาญอาหารที่กินเข้าไป หากอุณหภูมิต่ำลูกสูกรจะแสดงอาการนอนสุมกัน เนื่องจากต้องการเพิ่มความอบอุ่นให้กับร่างกาย หรือ สูกรนอนทับขาตัวเอง เพื่อลดการสัมผัสกับพื้น และนอนหลบตามบริเวณขอบคอกเพื่อลดการโดนลมโกรกภายในโรงเรือน หากอุณหภูมภายในโรงเรือนปกติสูกรจะแสดงอาการร่าเริง การกินอาหารจะกินได้ปกตินอนกระจายกัน การตรวจสอบสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนจะต้องทำเป็นประจำทุกวัน นอกจากระดับของอุณหภูมิแล้ว การระบายอากาศก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคอยตรวจสอบ เนื่องจากการระบายอากาศมีผลต่อการสะสมแก๊สที่ไม่พึงประสงค์ภายในโรงเรือน เช่น ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งหากมีก๊าซดังกล่าวสะสมในโรงเรือนในระดับสูง จะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของสูกรได้ การปรับการระบายอากาศต้องอาศัยการปรับรอบความเร็วของการทำงานของพัดลม ซึ่งระดับของสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อความต้องการของสูกรที่ระดับอายุแสดงในตาราง 1 และ 2

การดูแลสุขภาพของลูกสูกรอนุบาล การดูแลสุขภาพของลูกสูกรอนุบาลจะเริ่มจากตรวจเช็คคุณภาพของลูกสูกรก่อนรับเข้า ต้องไม่พบปัญหาด้านสุขภาพ เช่น ขอบวม ไล่เลื้อน สะดือจุ่น และแผลต่าง ๆ ในช่วง 3 วันแรกของการรับลูกสูกรเข้าควรให้วิตามินละลายน้ำให้ลูกสูกรกิน เพื่อช่วยลดความเครียดจากการเคลื่อนย้าย และทำการตรวจสุขภาพลูกสูกรทุกวันอย่างละเอียดสม่ำเสมออย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง

ตาราง 1 Suitable of inside housing ventilation for pigs at diffent ages.

Age (Week)	Body Weight (Kg)	Temperature (°C)	ventilation requirements (m ³ / min / pig)
3 – 9	6.8 – 27	28 – 32	0.2 - 2.0
10 – 14	27.1 – 54	26 – 29	1.0 - 2.0
15 – 24	54.1 – 107	24 – 28	1.3 - 4.3
Mixed - Gestation	180	24 – 28	3.0 - 12.0
farrowing	220	24 – 28	14.0 – 35.0

ที่มา: นิรัตน์ ฮ่อยี่ซี่, 2559

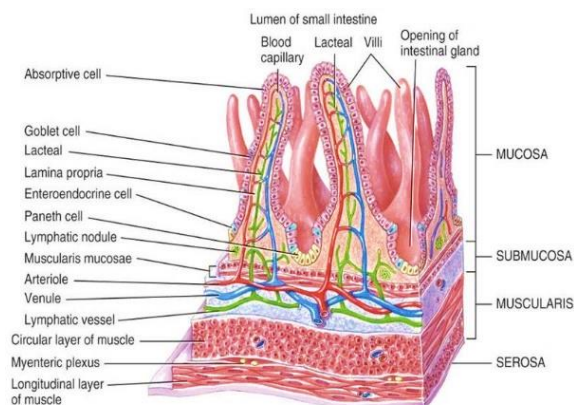
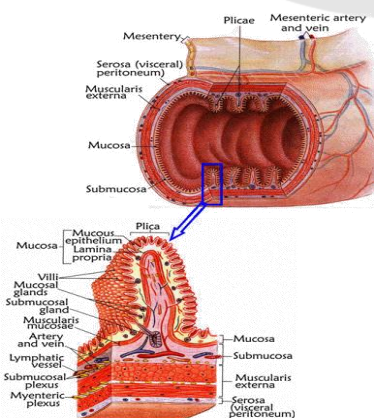
ตาราง 2 Proper ventilation rate and housing temperature for pigs at diffent ages.

Age (Week)	Proper ventilation (m ³ / pig)		Suitable temperature range (°C)
	Min	Max	
3 – 4	0.2	0.5	32 – 34
5 – 6	0.4	1	30 – 32
7 – 8	0.62	1.57	29 – 30
9 – 10	0.85	2.14	28 – 30

ที่มา: นิรัตน์ ฮ่อยี่ซี่, 2559

กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของระบบย่อยอาหารสุกร สุกรเป็นสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Simple nonruminant หรือ Monogastric) หมายถึงกระเพาะที่มีลักษณะเป็นถุง ไม่มีการแบ่งพื้นที่กระเพาะเป็นห้องๆ และไม่ขึ้นอยู่กับการย่อยจุลินทรีย์ในท่อกๆส่วนๆของทางเดินอาหาร มีการย่อยโดย

ตัวสัตว์เอง จากการทำหน้าที่ของเอนไซม์ที่หลั่งเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร (วันดี ทาตระกูล, 2546) ลำไส้เล็ก (Small intestine) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) ลำไส้เล็กส่วนกลาง (Jejunum) และลำไส้เล็กส่วนปลาย (Ileum) เมื่อสุกรโตเต็มที่แล้วลำไส้เล็กยาวประมาณ 16-21 เมตร แบ่งออกเป็นลำไส้เล็กส่วนต้น 4-5% ลำไส้เล็กส่วนกลาง 88-91% และลำไส้เล็กส่วนปลาย 4-5% โดยขนาดความยาวของลำไส้สุกรเกิดใหม่เพียงแค่ 24 เมตรเท่านั้น สัตส่วนของลำไส้เล็กส่วนต้นในสุกรแรกเกิดจะเหมือนกับสุกรโต แต่การพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงของลำไส้เล็กส่วนกลางและลำไส้เล็กส่วนปลายยังไม่มีอาการอธิบายไว้อย่างชัดเจน ในส่วนของลำไส้เล็กส่วนต้น (ตั้งอยู่ในส่วนที่อาหารและของผสม) (Digesta) จากกระเพาะถูกผสมกับสารที่หลั่งจากลำไส้เล็ก จากตับ และตับอ่อน ส่วนท่อน้ำดีที่เปิดสู่ลำไส้เล็กส่วนต้น ในส่วนของ เมเจอร์ พาพิลา (Major papilla) ประมาณ 2-5 เซนติเมตร ห่างจากพีลอร์สของกระเพาะ ส่วนน้ำย่อยจากตับอ่อน เข้าสู่ส่วนของ ไมเนอร์ พาพิลา (Minor papilla) ทางด้านหลังห่างออกมาประมาณ 12-20 เซนติเมตร จากส่วนที่ส่งน้ำดีเข้าไป ในส่วนของลำไส้เล็กส่วนกลาง มีลักษณะยาวประกอบด้วยลักษณะเป็นบ่วง (Loop) เล็กๆจำนวนมากมาย ในส่วนของลำไส้เล็กส่วนปลาย แบ่งออกจากลำไส้เล็กส่วนกลาง โดยกล้ามเนื้อเหนียวที่หุ้มอยู่ และเป็นส่วนต่อกับลำไส้ ถึงแม้ว่าลักษณะโดยทั่วไปของลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วนสามารถแบ่งแยกได้ แต่ทั้ง 3 ส่วนก็มีลักษณะพื้นฐานที่ใกล้เคียงกัน ลักษณะโครงสร้างผนังทางเดินอาหารของผนังลำไส้เล็กดังแสดงในภาพ 1 ผนังลำไส้เล็กประกอบด้วยเนื้อเยื่อต่างๆ 4 ชั้น หลักๆ คือ ชั้นเยื่อบุทางเดินอาหาร (Mucosa) ชั้นที่สองคือชั้นเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) ชั้นที่สามคือชั้นเซลล์เยื่อบุผิว (Epithelium) และชั้นที่ 4 เยื่อบุด้านในสุดคือ เยื่อฐานราก (Basement)



ภาพ 1 ภาพแสดงโครงสร้างของผนังภายในลำไส้เล็ก เยื่อบุผนังลำไส้เล็ก (Enterocyte)

ที่มา: (Yen et al., 2001)

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการใส่สารเสริมลงในอาหารสุกร ก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดเม็ด ซึ่งอาหารถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมากทำให้ระบบทางเดินอาหารของสุกรในระยะอนุบาลนั้นมีความสมบูรณ์ และแข็งแรง ส่งผลต่อในเรื่องของสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกร ซึ่งจะสามารถประเมินได้โดยอ้อมจากผลของประสิทธิภาพการใช้อาหาร หรืออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกร ภายหลังจากมีการกินอาหารนั้นเข้าไป หากสุกรไม่สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารที่ให้นั้นจะส่งผลเสียต่อระบบทางเดินอาหารและจะส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตโดยรวมทั้งหมด เพราะในช่วงระยะอนุบาลระบบสรีรวิทยาทางเดินอาหารสุกรนั้น ถือว่าเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมาก

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของสุกรหลังหย่านม

โดยเป็นที่ทราบกันเกี่ยวกับของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นของสุกรหลังหย่านม และเข้าสู่กระบวนการของการขุนอย่างเต็มระบบ เนื่องจากสุกรในช่วงนี้สำหรับภาคอุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกรถือว่าเป็นช่วงที่วิกฤตที่สุด สาเหตุหลักเนื่องจากในเรื่องการขนส่ง การเปลี่ยนอาหารจากการได้รับนมจากแม่มาเป็นอาหารที่มีวัตถุดิบหลักจากธรรมชาติ เช่น ข้าว ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำละเอียด เป็นต้น ซึ่งจะเกี่ยวข้องในเรื่องของระบบสรีรวิทยาทางเดินอาหาร ที่ในสุกรในช่วงหย่านมยังไม่พัฒนา จึงเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการจัดการดูแล ทั้งในเรื่อง น้ำ อาหาร และอากาศ ให้พร้อมสำหรับการดูแลสุกรหลังหย่านมนี้ ทั้งนี้หากจัดการสุกรหลังหย่านมบกพร่องก็อาจจะเกิดความเสียหายทั้งในเรื่องของอัตราการรอดชีวิตของสุกร หรือสุกรโตช้า แคร่แกรน และอาจรวมไปถึงผลผลิตโดยรวมนั้นลดลงไปด้วย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของสุกรหลังหย่านมสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเด็นดังนี้

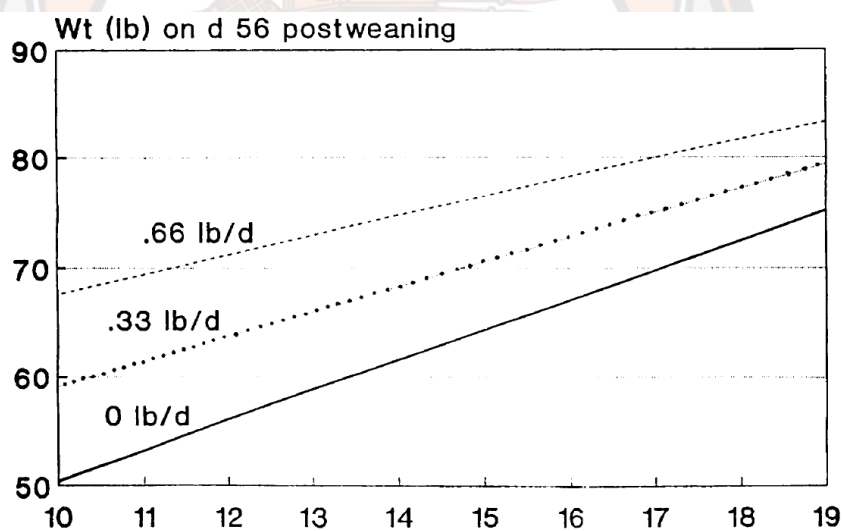
ผลกระทบต่อเนื่องหลังคลอดของสุกร (Carry over effect) เช่น น้ำหนักแรกเกิดมีผลกระทบต่อน้ำหนักหย่านม น้ำหนักหย่านมมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตในช่วงอนุบาล หรืออัตราการเจริญเติบโตในช่วงสัปดาห์แรกของอนุบาลมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตตลอดช่วงอนุบาล ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญ เพราะสุกรหย่านมลงมาสัปดาห์แรกเป็นช่วงวิกฤต ต้องดูแลเอาใจใส่อย่างดีใน

ขณะที่อัตราการเจริญเติบโตในช่วงฤดูหนาวก็มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตในช่วงฤดูร้อน ดังนั้นหากต้องการให้ฤดูร้อนมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี ต้องเริ่มต้นตั้งแต่น้ำหนักแรกเกิดดี เพราะกระทบต่อน้ำหนักหย่านมหากลูกสุกรแรกคลอดตัวใหญ่น้ำหนักหย่านมก็มีแนวโน้มดีตามไปด้วย โดยน้ำหนักแรกเกิดที่เพิ่มขึ้นทุก 100 กรัม ทำให้น้ำหนักหย่านมเพิ่มขึ้น 700 กรัม ดังนั้นหากลูกสุกรไม่สม่ำเสมอหรือลูกสุกรตัวเล็กก็มีโอกาสทำน้ำหนักหย่านมดีได้ยาก นอกจากนี้ น้ำหนักแรกเกิดที่ 1.9 กิโลกรัม ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารในฤดูร้อนดีกว่าลูกสุกรที่มีน้ำหนักแรกเกิดต่ำ (ต่ำกว่า 1.2 กิโลกรัม) น้ำหนักหย่านมมีผลต่อการเจริญเติบโตในอนาคต หากน้ำหนักหย่านมดี การเติบโตในอนาคตจะดีตามไปด้วย หากน้ำหนักหย่านมดีก็ลดปัญหาการชะงักการเจริญเติบโต (Set back) ในช่วงสัปดาห์แรกของช่วงอนุบาลด้วย ถือเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญที่สำคัญน้ำหนักหย่านมที่ดีช่วยให้ฤดูร้อนขยายได้เร็วขึ้น โดยน้ำหนักหย่านมที่ต่างกัน 1 กิโลกรัม ช่วยให้ฤดูร้อนขยายได้เร็วขึ้น 3-5 วัน ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง ขณะที่น้ำหนักหย่านมต่ออัตราการเจริญเติบโตในฤดูร้อนอนุบาลพบว่า มีผลประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่า น้ำหนักหย่านม 6.5 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาเลี้ยงอนุบาล 5 สัปดาห์ มีอัตราการเจริญเติบโต 379.5 กรัมต่อวัน แต่ถ้าน้ำหนักหย่านม 7.5 กิโลกรัม อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มเป็น 410.7 กรัมต่อวัน หรือน้ำหนักออกอนุบาลต่างกันประมาณ 2 กิโลกรัม เพราะจากการงานวิจัยในต่างประเทศพบว่า ลูกหย่านมตัวใหญ่ มีปัญหาทรุดหลังหย่านมต่ำ การเติบโตในอนาคตดีขึ้น และยังพบว่าอายุหย่านม น้ำหนักหย่านม มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตในอนาคตและขุน ช่วยให้การตายในอนาคตลดลง สุกรแข็งแรง เพราะได้รับนมจากแม่อย่างเต็มที่ (สัตว์เศรษฐกิจ, 2559)

การเพิ่มอัตราการกินได้ และการจัดการลูกสุกรในเล้าคลอดที่ถูกต้องเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มน้ำหนักหย่านมได้ อัตราการเจริญเติบโตในเล้าคลอด หรือผลจากน้ำหนักหย่านมกับระยะเวลาเลี้ยงลูกมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตในฤดูร้อนประมาณ 24-25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นหากต้องการให้อัตราการเจริญเติบโตในฤดูร้อนดี ต้องทำให้อัตราการเจริญเติบโตในเล้าคลอด หรือน้ำหนักหย่านมให้ดีกว่า ซึ่งต้องเริ่มตั้งแต่การใส่ใจกับสุขภาพแม่พันธุ์ การจัดการในเล้าคลอด เพื่อให้ฤดูร้อนอนุบาลและขุนมีประสิทธิภาพการผลิตดีช่วยให้รอบการผลิตของฟาร์มเร็วขึ้น ได้รับผลตอบแทนเร็ว ต้นทุนการผลิตลดลง (สัตว์เศรษฐกิจ, 2559) ซึ่งจากรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบผลกระทบของน้ำหนักหย่านม และอัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านมสุกร พบว่าในสัปดาห์แรกน้ำหนักหย่านมไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตของสุกร แต่สุกรที่หย่านมมีน้ำหนักตัวที่มากนั้นพบว่าจะมีอัตรา

การเจริญเติบโตต่อตัวต่อวันที่ดีขึ้นตั้งแต่ 8 ถึง 42 วันหลังหย่านม (Faccin et al., 2020) นอกจากนี้ยังมีรายงานเพิ่มเติมถึงอิทธิพลของน้ำหนักหย่านมนั้นจะส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวันหลังจากวันที่ 7 ภายหลังจากหย่านมเท่านั้น (Collins et al., 2017) อาจเป็นไปได้ว่าลูกสุกรไม่สามารถปรับตัวได้ในระยะก่อนหย่านม ซึ่งทำให้ส่งผลเกิดความเครียดในเวลาเดียวกัน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางโภชนาการ การแยกตัวจากแม่ และต้องปรับตัวกับสภาพแวดล้อมใหม่ จากความเครียดเหล่านี้ส่งผลให้มีการกินอาหารได้ในปริมาณน้อยลง จึงทำให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นโดยไม่สัมพันธ์กับน้ำหนักที่หย่านม (Wolter & Ellis, 2001) จากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของน้ำหนักหย่านมต่อประสิทธิภาพการผลิต อย่างไรก็ตามพบว่าการไม่มีการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตเพื่อทดแทนสำหรับสุกรหย่านมที่มีน้ำหนักตัวน้อย ถึงแม้ว่าจะมีการให้นมเทียมเสริมเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตในสุกรที่น้ำหนักน้อย ซึ่งยังรายงานเพิ่มเติมอีกว่า ต้องทำการให้นมเทียมติดต่อกันอย่างน้อย 15 วันเพื่อให้ได้น้ำหนักเทียบเท่ากับสุกรที่มีน้ำหนักมาก (Mahan & Lepine, 1991; Mahan et al., 1998) จากการศึกษาของ Collins et al. (2017) มีการรายงานเพิ่มเติมว่าการให้การกระตุ้นอาหารสามารถนำมาใช้กับสุกรที่มีน้ำหนักที่น้อยในการหย่านมได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตตลอดอายุของสุกร นอกจากนี้ยังช่วยเรื่องการจัดการความเครียด ที่เป็นผลโดยตรงกับการหย่านม ซึ่งเป็นสิ่งที่เป็นปัญหาสำหรับสุกรในช่วงสัปดาห์แรก หากเกิดความเครียดเกินและมีน้ำหนักน้อยในช่วงสัปดาห์แรก จะทำให้สุกรมีน้ำหนักลดลงและไม่สามารถส่งออกเข้าสู่ระบบขุนได้ โดยทั่วไปสุกรจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์โดยประมาณ 3.8 กิโลกรัม (Faccin et al., 2020) จากการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสุกรได้แสดงให้เห็นว่าการรวมผลิตภัณฑ์นมหรือเลือดปนในอาหาร เช่น อาหารเลียรางช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตในช่วงระยะเวลาอนุบาล-ขุน ทั้งนี้อาจเป็นผลเพิ่มเติมเกี่ยวกับโปรแกรมโภชนาการอาหารที่ออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสุกรในระยะเริ่มต้นหรือช่วงอนุบาล และยังมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในระหว่างระยะรุ่นจนถึงขุนเพื่อขาย การเปลี่ยนแปลงในช่วงหย่านมเป็นเรื่องยากที่จะควบคุมในสุกรอนุบาลให้สามารถอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ต่างกัน เพราะลูกสุกรมักเกิดมาจากแม่สุกรที่มีช่วงคลอดเป็นช่วงๆ และมักจะไม่ทราบอายุหย่านมของแต่ละตัวเมื่อเข้าสู่โรงเรือนสำหรับอนุบาล จากรายงานการศึกษาผลกระทบของน้ำหนักตัวหลังหย่านม และการเพิ่มของน้ำหนักต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตในช่วงอนุบาล อายุหย่านมแตกต่างกันตั้งแต่ 5 ถึง 8 วัน (Skinner et al., 2014; Wolter & Ellis, 2001; Collins et al., 2017; Kats et al., 1992) เป็นตัวแปรที่ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อประสิทธิภาพการ

เจริญเติบโตของสุกร เพราะประสิทธิภาพในช่วงอนุบาลได้รับผลกระทบจากอายุหย่านม (Grau et al., 2005; Main et al., 2004) และในแต่ละวันของการเพิ่มอายุหย่านมอัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวันโดยรวมจะลดลง 22 กรัม ในระยะอนุบาล (Main et al., 2004) ดังนั้นอายุสุกรแต่จึงถือเป็นสิ่งสำคัญ เพราะสุกรช่วงหย่านมยังคงมีน้ำหนักที่ยังเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหลักสำหรับการประเมินประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสุกร จากการศึกษาของ Kats et al. (1992) รายงานว่าน้ำหนักก่อนหย่านมมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในช่วงอนุบาล-ขุน โดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสามารถทำนายน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้ คือ 0.91 กิโลกรัมโดยประมาณ จากผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเพิ่มการผลิตน้ำนมในระหว่างการให้นมเพื่อเพิ่มน้ำหนักของการหย่านมสุกร นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารที่ให้สุกรนั้นยังมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสุกรตั้งแต่หลังหย่านมจนถึงระยะขุน (Kats et al., 1992) ภาพ 2



ภาพ 2 อิทธิพลของน้ำหนักการหย่านมและอัตราการเจริญเติบโตในช่วงสัปดาห์แรกหลังหย่านม

ที่มา: (Kats et al., 1992)

จากภาพ 2 บ่งชี้ว่าอัตราการเจริญเติบโตในช่วงสัปดาห์แรกหลังหย่านมของสุกรมีผลต่อน้ำหนักสุกรในวันที่ 56 หลังหย่านม อย่างไรก็ตามการเริ่มต้นการจัดการที่ดีในช่วงอนุบาลมีความสำคัญเป็นพิเศษสำหรับสุกรที่หย่านมโดยมีน้ำหนักตัวที่น้อย (Kats et al., 1992)

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เริ่มจากอุณหภูมิที่เหมาะสมกับแต่ละช่วงอายุ โดยอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีผลต่อการกินได้ของสุกรอนุบาล หากอุณหภูมิสูงขึ้นการกินได้มีแนวโน้มลดลง และยังเห็นชัดเจนเมื่อสุกรตัวใหญ่ขึ้น โดยเฉพาะสุกรรุ่นขุนที่ต้องทำให้โรงเรือนโล่งโปร่งเย็นสบาย หรือเลี้ยงในโรงเรือนระบบปิดที่ดี อุณหภูมิในโรงเรือนเหมาะสม ช่วยให้สุกรกินอาหารได้มากขึ้น แต่ในช่วงอนุบาลและสุกรเล็กต้องปรับอุณหภูมิให้เหมาะสม เพราะหลังหย่านมสุกรอนุบาลยังต้องการอุณหภูมิสูง หลังจากนั้นก็ลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งหลายฟาร์มทำส่วนน้ำไว้ที่ท้ายเล้าอนุบาล เพื่อไว้ให้สุกรคลายร้อนในช่วงทำอนุบาล ส่งผลให้การกินได้และประสิทธิภาพการผลิตต่อเนื่อง การจัดการอุณหภูมิและการระบายอากาศที่ดี ช่วยป้องกันปัญหาความเครียดจากความหนาวเย็นที่กระทบต่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะสุกรอนุบาล ที่ในช่วง 2 สัปดาห์แรกต้องการความอบอุ่น ต้องการอุณหภูมิเฉลี่ย 31 องศาเซลเซียส จากนั้นก็ลดลงสัปดาห์ละ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งต้องจัดการให้พร้อมทั้งกล่องกก ไฟกก กกให้อุ่นเมื่ออายุ 7-8 สัปดาห์ เปิดพัดลม ให้โรงเรือนเย็น แต่การทำให้โรงเรือนอบอุ่นไม่เพียงพอ ต้องให้มีการระบายอากาศที่ดี เพราะอาจจะเกิดความเครียดและสูญเสียจากการป่วยได้ ดังนั้น โรงเรือนอนุบาลต้องมีผ้าม่านและต้องระบายอากาศดี คือ ปิดผ้าม่านด้านล่างป้องกันไม่ให้ลมปะทะตัวสุกรโดยตรง แต่ด้านบนไม่กั้น เพื่อให้ระบายแก๊สต่างๆ ช่วยให้สุกรอยู่สบายไม่เครียด และเจริญเติบโตดี (สัตว์เศรษฐกิจ, 2559) การมีสภาพแวดล้อมที่ดี และการจัดหานมเสริมในช่วงสองสัปดาห์หลังหย่านม เพื่อเร่งการเจริญเติบโตในระยะอนุบาล แม้ว่าสุกรที่โตเร็วจะมีน้ำหนักเพิ่มมากกว่าปกติ 1.3 กก. ที่อายุ 56 วัน แต่อัตราการเติบโตในช่วงเริ่มต้นจะไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตภายหลังจากอายุ 35 วัน จนรวมไปถึงน้ำหนักก่อนส่งโรงฆ่า (Wolter & Ellis, 2001)

ความสะอาดของโรงเรือน หากโรงเรือนสกปรกมีปริมาณเชื้อโรคมก อัตราการเจริญเติบโตของสุกรก็ลดลง แสดงให้เห็นถึงปัญหาของการได้สัมผัสเชื้อ และเมื่อสุกรได้รับเชื้อก็ต้องเปลี่ยนสารอาหารไปเป็นภูมิคุ้มกันต่อสู้กับเชื้อโรค ดังนั้น จึงต้องเน้นการทำ ความสะอาดโรงเรือน ป้องกันเชื้อโรคสะสม มีการล้างฟักคอกตามมาตรฐาน และทำความสะอาดคอกเป็นประจำ นอกจากนั้นควรเลี้ยงสุกรแบบเข้าออกหมด เพื่อสะดวกต่อการจัดการ นอกจากนั้นโรงเรือนต้องมีการระบายอากาศดี ไม่มีปัญหาแก๊สแอมโมเนียสะสม (สัตว์เศรษฐกิจ, 2559)

ปริมาณการกินอาหาร มีผลต่อการเจริญเติบโตในสุกรอนุบาล จึงต้องหาวิธีการให้สุกรกินได้มากที่สุด พื้นที่กินอาหารต้องเพียงพอ มีอาหารให้กินอย่างเพียงพอ สุกรอนุบาลต้องการพื้นที่กินมาก คุณภาพอาหารดี สดใหม่ ขณะที่สุกรทุกช่วงอายุชอบอาหารเปียก ดังนั้นการทำอาหารเปียกจะช่วยให้เพิ่มการกินได้ และหากสุกรมีปัญหาแตกไซต์เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ต้องตรวจสอบว่าอาจเกิดจากพื้นที่การกินไม่เพียงพอ และที่สำคัญการดูแลและเอาใจใส่สุกรในช่วงระยะเวลาดังกล่าวต้องมีคุณภาพในการจัดการเพื่อเพิ่มการกินได้ ซึ่งสุกรยิ่งกินได้มากอัตราการเจริญเติบโตยิ่งดีขึ้นในช่วงสุกรอนุบาล (สัตว์เศรษฐกิจ, 2559)

ปัจจัยที่ส่งผลทำให้สุกรโตช้าและสุกรตาย Douglas et al. (2014) รายงานว่าสุกรที่โตช้าไม่ได้พิจารณาจากน้ำหนักตัวของสุกรแรกคลอด สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Fix et al. (2010) ให้คำจำกัดความของสุกรที่โตช้าโดยพิจารณาจากน้ำหนักแรกเกิด (Larriestra et al. (2006) และ Mahan & Lepine, 1991) ให้คำจำกัดความของสุกรที่โตช้าโดยพิจารณาจากน้ำหนักก่อนการหย่านม เนื่องจากน้ำหนักตัวแรกคลอดต่ำไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่ส่งผลทำให้สุกรโตช้า เพราะสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตให้ดีขึ้นก่อนหย่านม (Douglas et al., 2013) ดังนั้นจึงให้คำจำกัดความว่า Slow สำหรับการเลี้ยงสุกรตามที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่ามาตรฐานก่อนส่งออกตลาด (Douglas et al., 2014) ดังนั้นสุกรที่โตช้าจึงไม่ใช่สุกรที่มีน้ำหนักแรกคลอดต่ำ แต่เป็นสุกรมีลักษณะตามน้ำหนักและอายุต่ำกว่าตามที่ตลาดต้องการ ในทำนองเดียวกันสุกรที่โตเร็วถูกกำหนดโดยพิจารณาจากน้ำหนักมากกว่า 125 กก. เมื่ออายุ 170 วัน อย่างไรก็ตามอิทธิพลของเพศยังมีส่วนสำคัญในเรื่องของอัตราการเจริญเติบโตของสุกร ซึ่งอิทธิพลของเพศที่มีผลต่อลักษณะทางเศรษฐกิจบางประการของสุกร พบว่าสุกรขุนเพศผู้ตอน มีปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวันสูงกว่าเพศเมีย (2.13 และ 2.00 กิโลกรัม) ยังรายงานเพิ่มเติมอีกว่าสุกรสาวมีแนวโน้มที่จะตายหรือกลายเป็นสุกรโตช้าประมาณ 2 เท่าเมื่อเทียบกับสุกรเพศผู้ การศึกษาก่อนหน้านี้พบความแตกต่างเล็กน้อยในอัตราการเติบโตระหว่างเพศผู้และเพศเมียในช่วงระยะการดูนมและการเลี้ยงลูก (Hyun & Ellis, 2000; Skorjanc et al., 2007) ความแตกต่างของประสิทธิภาพการเจริญเติบโตระหว่างเพศมีความสำคัญเมื่อสุกรมีน้ำหนักถึง 44 กก. (Friesen et al., 1994) โดยทั่วไปสุกรเพศผู้มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสุกรเพศเมียในช่วงระยะอนุบาล-ขุน (Wolter & Ellis, 2001; Wolter et al., 2002) แสดงให้เห็นว่าสุกรเพศเมียมีแนวโน้มที่จะเป็นสุกรโตช้าหรือตายมากกว่าเมื่อเทียบกับเพศผู้ อย่างไรก็ตามสุกรเพศผู้จะมีโอกาสรอดน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสุกรเพศเมียในช่วงก่อนหย่านม (Lay et

al., 2002) และในช่วงอนุบาล (Larriestra et al., 2006) มีการสันนิษฐานว่าความแตกต่างในการอยู่รอดก่อนหย่านมอาจเป็นผลมาจากระดับฮอร์โมนเทสโทสเตอโรนและคอร์ติซอลที่สูงขึ้นในสุกรเพศผู้แรกเกิด (Ruis et al., 2000)

2.6 ระบบภูมิคุ้มกัน

ระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์มีอยู่ทั่วร่างกาย ประกอบด้วย ต่อม้ำเหลือง (เป็นที่อยู่ของเซลล์เม็ดเลือดขาว) ที่ภายในจะเป็น น้ำเหลือง และเซลล์เม็ดเลือดขาว เชื่อมต่อระหว่างต่อม้ำเหลืองด้วยกันเอง และเชื่อมต่อเข้ากับเส้นเลือด คือ เส้นทางเดินทัพของทหาร ม้าม ไชกระดูก ต่อมทอนซิล Payer's patch ที่อยู่ตามเยื่อบุทางเดินอาหาร เป็นจุดที่รวมกันของประชากรจุลินทรีย์ สิ่งแปลกปลอมต่างๆรวมทั้งจุลชีพก่อโรคมักจะผ่านเข้าสู่ต่อม้ำเหลืองจากตำแหน่งที่เข้าสู่ร่างกาย เข้าสู่ต่อม้ำเหลืองเฉพาะที่ และผ่านทางเส้นเลือดและท่อน้ำเหลืองกระจายไปทั่วร่างกาย (กัญญภัส สิริรุ่งวนิช และคณะ, 2557) แอนติบอดี หรือ อิมมูโนโกลบูลิน (Immunoglobulin) เป็นโปรตีนที่มีรูปร่างคล้ายตัว Y ที่จะเปลี่ยนสีและรูปร่าง ตามลักษณะของเชื้อโรคที่จำเพาะนั้นๆ โดยที่ส่วนยอดของตัว Y จะมีความหลากหลายมากไม่เหมือนกันในแอนติบอดีจำเพาะต่อแอนติเจนแต่ละชนิด เรียกว่า Variable region เป็นตำแหน่งที่จับกับแอนติเจน ส่วนที่โคนตัว Y ของโมเลกุลแอนติบอดีจะบ่งบอกถึงชนิดของแอนติบอดีว่าเป็น Class ไหน เช่น IgG, IgA, IgM, IgD, IgE เรียกว่า Constant region แอนติบอดีกระจายอยู่ตามท่อน้ำเหลือง และเส้นเลือด แอนติบอดีจะจับกับสิ่งแปลกปลอมหรือจุลชีพที่เข้ามาในร่างกาย เพื่อการทำลายจุลชีพนั้นๆ แอนติบอดีชนิด Secretory IgA จะอยู่ตามช่องเยื่อต่างๆ ในน้ำตา น้ำลาย สารหลั่งในช่องทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ ท่อปัสสาวะ ช่องคลอด เป็นต้น เพื่อยับยั้งไม่ให้จุลชีพ หรือสิ่งแปลกปลอมผ่านเข้าร่างกายทางเยื่อ (กัญญภัส สิริรุ่งวนิช และคณะ, 2557) ไซโตไคน์ (Cytokines) เป็นโปรตีนที่สร้างจากเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันเพื่อสื่อสารกันระหว่างเซลล์ไซโตไคน์ที่สร้างจาก T-cell และ B-cells ที่เรียกว่า Lymphokines ได้แก่ Interleukin (IL) และ Interferon ส่วนที่สร้างจาก Monocytes และ Macrophage เรียกว่า Monokines โดยไซโตไคน์ที่หลั่งออกมาอาจทำหน้าที่เรียกเซลล์เม็ดเลือดขาวให้มารวมกันที่ตำแหน่งที่มีสิ่งแปลกปลอม กระตุ้นการเพิ่มจำนวนเซลล์ ทำให้เซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันมีการเปลี่ยนแปลง และทำลายเซลล์ (กัญญภัส สิริรุ่งวนิช และคณะ, 2557)

ภูมิคุ้มกันโดยกำเนิด (Innate immunity) หรือภูมิคุ้มกันชนิดไม่จำเพาะ เป็นด่านแรกในการต่อสู้และป้องกันเชื้อโรคที่เข้ามาในร่างกาย กลไกนี้ไม่จำเพาะเจาะจง (Specificity) กับเชื้อโรคชนิดใดชนิดหนึ่ง แต่ป้องกันโรคได้หลายชนิดและไม่มี ความจำจำเชื้อโรค (Memory) กลไกนี้จำแนกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ การป้องกันด่านที่ 1 และการป้องกันด่านที่ 2 ดังนี้ การป้องกันด่านที่ 1 จะเป็นการป้องกันที่บริเวณผิวหนังหรือเยื่อต่างๆ ประกอบด้วย 3 กลไก กลไกทางกายภาพ กลไกทางเคมี และ กลไกทางพันธุกรรม การป้องกันด่านที่ 2 เป็นการป้องกันโดยปฏิกิริยาทางเคมีระดับเซลล์ ซึ่งตอบสนองทันทีที่เชื้อโรคผ่านการป้องกันด่านแรกบุกรุกเข้าสู่ร่างกายได้

ระบบภูมิคุ้มกันจำเพาะ (Acquired immunity) เป็นภูมิคุ้มกันที่ก่อขึ้นเมื่อร่างกายได้รับแอนติเจนภูมิคุ้มกันที่ก่อเอง (Active Immunization) เป็นการสร้างภูมิคุ้มกัน โดยการนำสารที่เป็นแอนติเจนทำให้อ่อนกำลังลง ไม่สามารถทำให้เกิดอันตรายได้ ใช้น้ำคั้น หรือนำมาทา เพื่อกระตุ้นให้ร่างกายสร้างแอนติบอดีขึ้นมาต่อต้านแอนติเจน เช่น วัคซีน ทำมาจากเชื้อโรคที่อ่อนกำลังลง เช่น ไอกอน ไทพอยด์ อหิวาตกโรค วัณโรค โปลิโอ หัด คางทูม ทอกซอยด์ ทำมาจากสารพิษที่หมดสภาพความเป็นพิษ เช่น คอตีบ บาดทะยัก ภูมิคุ้มกันที่รับมา Passive Immunization เป็นภูมิคุ้มกันที่ได้จากแอนติบอดีที่สร้างจากร่างกายของสัตว์อื่น มาใช้ในการป้องกันเชื้อโรค ซีรัม หรือเซรัม ส่วนน้ำใสของน้ำเลือด ที่ได้รับการกระตุ้นให้สร้างแอนติบอดีมาฉีดให้กับผู้ป่วย เช่น คอตีบ และ พิษุน้ำนมที่ทารกได้จากการดูดน้ำนมแม่ และภูมิคุ้มกันที่ทารกในครรภ์ได้รับผ่านทางรก (อรวดี หาญวิวัฒน์วงศ์, 2551)

อิมมูโนโกลบูลิน สารภูมิต้านทาน หรือ แอนติบอดี (Antibody) หรือ อิมมูโนโกลบูลิน (Immunoglobulin) เป็นโปรตีนขนาดใหญ่ในระบบภูมิคุ้มกันที่ร่างกายมนุษย์หรือสัตว์ชั้นสูงอื่นๆ สร้างขึ้นเพื่อตรวจจับและทำลายฤทธิ์ของสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย เช่น แบคทีเรีย และไวรัส แอนติบอดีแต่ละชนิดจะจดจำโมเลกุลเป้าหมายที่จำเพาะของมันคือ แอนติเจน (Antigen) แอนติบอดีส่วนใหญ่ถูกหลั่งออกมาจากเซลล์พลาสมา (Plasma cell) ซึ่งเป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดบีลิมโฟไซต์ (B lymphocyte) การกำจัดสิ่งแปลกปลอมโดยการสร้างแอนติบอดีเป็นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันที่เรียกว่า Humoral immune response โครงสร้างโมเลกุลของแอนติบอดีอยู่ในรูปตัววาย (Y shape) ประกอบด้วยสายพอลิเพปไทด์ 4 เส้น คือ เส้นหนัก (heavy chain) เหมือนกัน 2 เส้น และเส้นเบา (Light chain) เหมือนกัน 2 เส้น โดยเปรียบเทียบจากขนาดน้ำหนักโมเลกุล บริเวณปลายทั้งสองของตัว Y (ปลาย N-terminal) จะเป็นตำแหน่งที่ใช้จับกับแอนติเจน เรียกว่า Antigen

binding site ลำดับกรดอะมิโนของบริเวณนี้จึงมีความหลากหลายสูง โดยจะแตกต่างกันไปตามแอนติบอดีแต่ละตัว ทำให้แอนติบอดีแต่ละตัวมีความจำเพาะต่อแอนติเจนคนละชนิดกัน บริเวณปลายทั้งสองนี้จึงว่าบริเวณแปรผัน (Variable region) อย่างไรก็ตาม ในแอนติบอดีตัวเดียวกัน Antigen binding site ทั้งสองจะเหมือนกันและจะจับกับเอพิโทปของแอนติเจนชนิดเดียวกัน ดังนั้นเพื่อให้ระบบภูมิคุ้มกันสามารถตรวจจับแอนติเจนได้มากชนิดที่สุด ร่างกายจึงต้องผลิตแอนติบอดีให้มี Antigen binding site ได้นับล้านรูปแบบ ความหลากหลายของ antigen binding site เกิดขึ้นได้จากกระบวนการ Somatic recombination ถัดลงมาจากบริเวณแปรผันจนถึงโคนของตัว Y (ปลาย C-terminal) นั้นเรียกว่า บริเวณคงที่ (constant region) เพราะแอนติบอดีในคลาสเดียวกันจะมีลำดับของกรดอะมิโนบริเวณนี้เหมือนกัน บริเวณคงที่จะแสดงลักษณะการทำงานของแอนติบอดี รวมถึงบ่งบอกถึงชนิดของแอนติบอดีว่าเป็นคลาสใด บริเวณคงที่อยู่ใน IgG, IgA และ IgD จะประกอบด้วยสายโปรตีนเส้นหนักที่มี 4 โดเมน ส่วนใน IgM และ IgE จะประกอบด้วยสายโปรตีนเส้นหนักที่มี 5 โดเมน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2558)

อิมมูโนโกลบูลินจี (IgG) เป็นแอนติบอดีที่พบมากที่สุดในซีรัม คือประมาณ 13 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หรือคิดเป็นประมาณ 80% ของ Ig ทั้งหมดในซีรัม (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2558; David et al., 2012) ทำหน้าที่กำจัดแบคทีเรีย ไวรัส และสารพิษในเลือด และน้ำเหลือง IgG จะอยู่ในรูปโมโนเมอร์ (โครงสร้างรูปตัว Y) IgG ในมนุษย์แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อยเรียงตามปริมาณที่พบในซีรัม คือ IgG1, IgG2, IgG3 และ IgG4 ทั้ง 4 กลุ่มย่อยนี้มีลำดับกรดอะมิโนคล้ายกันประมาณ 90-95% (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2558) แต่จะมีโครงสร้างแตกต่างกันบ้าง เช่น จำนวนของพันธะไดซัลไฟด์ที่เชื่อมบริเวณข้อพับ (Hinge region) ของเส้นหนักสองเส้น IgG ในระบบเลือดของแม่สามารถเข้าไปสู่ฟัตัสในครรภ์ได้ผ่านทางรก จัดเป็นการสร้างเสริมภูมิคุ้มกันแบบรับมา (Passive immunization) ให้แก่ทารก

อิมมูโนโกลบูลินเอ (IgA) เป็นแอนติบอดีหลักที่หลั่งออกนอกร่างกาย พบในน้ำลาย น้ำตา เหงื่อ น้ำนม เมือก น้ำอสุจิ และสารคัดหลั่งอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบที่บริเวณเยื่อเมือก (Mucosal membrane) ที่บุทางเดินอาหารและทางเดินหายใจ ทำหน้าที่กำจัดสิ่งแปลกปลอมบริเวณชั้นเยื่อผิวเพื่อไม่ให้ผ่านเข้าไปในร่างกายได้ นอกจากนี้ IgA ในน้ำนมแรก (Colostrum) ยังช่วยป้องกันการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหารของทารกแรกเกิด IgA ที่พบในซีรัมมักอยู่ในรูปของโมโนเมอร์ (โครงสร้างรูปตัว Y) สำหรับ IgA ที่หลั่งออกมา (Secretory IgA) จะอยู่ในรูปไดเมอร์ ซึ่งก็คือโมโนเมอร์ 2

โมเลกุล (ตัว Y สองตัว) เชื่อมกันด้วยสายเชื่อม (Joining chain หรือ J chain) ขั้นตอนการหลัง IgA ออกมาที่ชั้นเนื้อเยื่อผิว เซลล์พลาสมาหลัง IgA ออกมาในรูปไดเมอร์ IgA จะถูกลำเลียงไปสู่เนื้อเยื่อข้างใต้ชั้นเนื้อเยื่อผิว ซึ่งมักเป็นเยื่อบุผิวทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ ช่องสืบพันธุ์ ต่อมไขมัน ต่อมน้ำลาย และต่อมน้ำตา IgA เข้าไปเกาะกับตัวรับที่เรียกว่าพอลิเมอร์ิก อิมมูโนโกลบูลิน รีเซปเตอร์ (Polymeric immunoglobulin receptor หรือ PlgR) บนเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์เยื่อผิว และถูกรับเข้าไปในเซลล์โดยเอนโดไซโทซิส (Receptor-mediated endocytosis) IgA ถูกปล่อยออกสู่ด้านนอกของเซลล์เยื่อผิว โดย plgR ส่วนหนึ่งจะหลุดติดไปพร้อมกับ IgA ด้วย กลายเป็นส่วนที่เรียกว่าตัวคัดหลัง (secretory component) ทำหน้าที่ช่วยปกป้อง IgA จากกรดและเอนไซม์ในทางเดินอาหาร

อิมมูโนโกลบูลินเอ็ม (IgM) เป็นแอนติบอดีชนิดแรกๆ ที่เซลล์พลาสมาผลิตออกมาสู่กระแสเลือดเมื่อพบกับแอนติเจน IgM ในเลือดมักอยู่ในรูปของเพนตะเมอร์ (Pentamer) คือเป็นโมโนเมอร์ 5 หน่วยเชื่อมกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ทำให้มีตำแหน่งสำหรับจับกับแอนติเจนรวมกัน 10 ตำแหน่ง (2 ตำแหน่งจากแต่ละโมโนเมอร์) จากการศึกษาเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกันที่มีผลในการชะลอการเจริญเติบโตหลังคลอด (Post-natal growth retardation; PGR) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงและเพิ่มอัตราการตาย (Wu et al., 2006) เป็นเรื่องสามารถพบได้ในอุตสาหกรรมการผลิตสุกร การศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า PGR มีประสิทธิภาพในการเติบโตที่ต่ำ (Zhang et al., 2019; Bruininx et al., 2006) และพบว่าการเกิด PGR สามารถนำไปสู่การเติบโตของอวัยวะแต่ละส่วนได้ (Greenwood & Bell, 2003) การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสัมพันธ์กับขนาดของตับ ม้าม และไตในสุกร PGR การศึกษาจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักสัมพันธ์ที่ลดลงของตับ ซึ่งบ่งชี้ถึงสัญญาณการอักเสบของตับ และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นยังสัมพันธ์กับน้ำหนักของของม้าม ซึ่งอาจเกี่ยวข้องข้องกับการตอบสนองต่อการอักเสบสูง เช่น การหลังไซโตไคน์ด้านการอักเสบที่เพิ่มขึ้น (Fischer et al., 2018; Gotoh et al., 2017) การเกิดการอักเสบของอวัยวะสามารถสะท้อนให้เห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงของดัชนีทางชีวเคมีในซีรัม เช่น ยูเรียไนโตรเจนในเลือด แอมโมเนีย และ C4 (Dong et al., 2018) การกระตุ้นการอักเสบที่มากเกินไปอาจทำให้ตับบกพร่อง (Nakamoto et al., 2017) อะลานีนทรานซามิเนสในซีรัมที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระดับน้ำตาลในซีรัมจากสุกร PGR ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งกลูโคสที่เป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับการเจริญเติบโตของลูกสุกรในขณะตั้งท้อง และการจำกัดพลังงานทำให้การเจริญเติบโตลดลง (Greenwood et al., 2003) สำหรับภูมิคุ้มกันสุกร PGR พบว่าระดับ IgG ในพลาสมาที่สูงขึ้นและไซโตไคน์ที่อักเสบบางชนิด IgG ในซีรัมที่เพิ่มขึ้นอาจบ่งบอกถึง

ความเสียหายที่เป็นพิษหรือออกซิเดชันในสุกร (Frehn et al., 2014; Su et al., 2018) ฮอร์โมนมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโตและการเจริญเติบโตของอวัยวะ การเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมน อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อการพัฒนาและการทำงานของอวัยวะ (Ferenc et al., 2014) โดยสรุปคือสุกร PGR มีอะลานีนทรานซามิเนสในเลือดเพิ่มขึ้น ยูเรียไนโตรเจน แอมโมเนียในเลือด IgG และคอมพลีเมนต์ 4 แต่กลูโคสและอัลบูมินลดลง นอกจากนี้การหลั่งฮอร์โมนที่ผิดปกติซึ่งควบคุมการย่อยอาหารและการเจริญเติบโตของลำไส้ทำให้เกิดความผิดปกติ นอกจากนี้สุกร PGR ยังมีความเข้มข้นในพลาสมาที่สูงขึ้นของ IL-1 β , IL-6, IL-8 และ TGF β รวมทั้ง T-AOC, SOD, GSH-PX และ TNOS ในซีรัมที่ต่ำกว่า การแสดงออกของ mRNA ของยีนต่อต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดก็ลดลงในเยื่อบุลำไส้เล็กของสุกร PGR ด้วย ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่า PGR แสดงการทำงานของฮอร์โมนที่ผิดปกติ ภูมิคุ้มกันบกพร่อง และลดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งอาจเป็นตัวควบคุมการชะลอการเจริญเติบโตหลังคลอดในสุกร

2.7 กลไกการเกิดความเครียดจากการออกซิเดชัน (Oxidative stress)

ภาวะเครียดออกซิเดชัน คือภาวะที่มีอนุมูลอิสระ (Free radical) ในร่างกายมากจนสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายมีปริมาณไม่เพียงพอส่งผลให้เกิดการทำลายออกซิเดชัน (Oxidative damage) ต่อดีเอ็นเอ โปรตีน ไขมันและโมเลกุลขนาดต่างๆ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความชรา และเกิดความบกพร่องเกี่ยวกับทางด้านสรีรวิทยาอุบัติการณ์ของโรคเพิ่มขึ้น และลดอายุขัย (Kregel & Zhang, 2007) โรคบางโรคมีสาเหตุจากการที่ดีเอ็นเอโปรตีน และ ไขมัน ถูกทำลายด้วยกระบวนการออกซิเดชัน ในขณะที่บางโรคนั้นภาวะเครียดออกซิเดชันไม่ได้เป็นสาเหตุเบื้องต้น แต่เป็นผลสืบเนื่องจากกระบวนการของโรคที่ส่งผลให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อ อาทิ การติดเชื้อ (Infection) การบาดเจ็บ (Trauma) หรือการได้รับสารพิษ (Toxins) ซึ่งเป็นต้นเหตุของการสร้างและสะสมอนุมูลอิสระที่ก่อให้เกิดพยาธิสภาพของโรค ภาวะไม่สมดุลของปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายมีผลรบกวนการแสดงออกของยีนและภาวะของโรคต่างๆ จะเห็นได้ว่าความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมักจะเกี่ยวข้องกับโรคหลอดเลือดหัวใจ มะเร็ง และโรคเรื้อรังอื่นๆ โดยปกติแล้วสารต้านอนุมูลอิสระคือสารประกอบที่มีหน้าที่ยับยั้งกระบวนการออกซิเดชัน และทำให้ลดความไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ (Willcox et al., 2004) อนุมูลอิสระ เป็นสารหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (Unpaired electron) ที่ชั้นนอกสุด จึงทำให้อนุมูลอิสระมีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆ (Aruoma, 1998) สาร

หรือ โมเลกุลใดจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระหรือไม่ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางเคมีที่มีการรับหรือสูญเสีย อิเล็กตรอนหรืออาจเกิดจากการแตกหัก (Hemolyticfission) ที่อาศัยพลังงานจากความร้อนหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้อิเล็กตรอนออกมา อนุมูลอิสระสามารถเกิดได้แม้ในสภาวะการทำงานปกติของร่างกายในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการใช้ออกซิเจน ได้แก่ การทำงานของเอนไซม์บางชนิดในร่างกาย การขนส่งอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรีย การแสดงออกของยีน การกระตุ้นนิวเคลียร์ทรานสคริปชันแฟคเตอร์ (Nuclear transcription factor) การเกิดปฏิกิริยาภูมิคุ้มกันระหว่างแอนติเจนและแอนติบอดี (Antigen-antibody reaction) ตลอดจนการทำงานของแมคโครฟาจ ภาวะชราภาพของร่างกาย (Aging) หรือพยาธิสภาพของโรคต่างๆ นอกจากนี้การได้รับสารจากภายนอกในร่างกาย (Xenobiotics) หรือกระบวนการเมแทบอลิซึมผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative metabolism) ก็สามารถเหนี่ยวนำการสร้างอนุมูลอิสระได้ (Aruoma, 1998; Machlin & Bendich, 1987; Ames et al., 1993; Chidambaram & Venkatraman, 2010) อนุมูลอิสระแบ่งออกเป็นหลายประเภท ได้แก่ รีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ (Reactive Oxygen Species หรือ ROS) เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์แรดิคัล (superoxide radical) ไฮดรอกซิลแรดิคัล (hydroxyl radical) ซิงเกิลออกซิเจน (Singlet oxygen) บางครั้งอาจไม่จัดให้ซิงเกิลออกซิเจนเป็นอนุมูลอิสระ แต่โดยคุณสมบัติแล้วซิงเกิลออกซิเจนก็สามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ได้ เช่นในกระบวนการโฟโตเซินซิไทเซชัน (Photosensitization) ซัลเฟอร์เซนเตอร์แรดิคัล (Sulfur-centered radical) เช่น ไทอิลแรดิคัล (Thiyl radical หรือ RS) ซึ่งสามารถรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนได้และสามารถออกซิไดซ์ NADPH ได้ รวมถึงสามารถทำให้เกิดอนุมูลอิสระชนิดอื่นๆ ได้แก่ HO, O₂ และคาร์บอนเซนเตอร์แรดิคัล (Carbon-centered radical) เกิดจากโมเลกุลของพันธะ C-H เกิดการแตกหักได้คาร์บอนที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (Carbon radical) ที่สามารถรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนได้ และสามารถออกซิไดซ์ NADPH ได้ (Marnett, 2002 อ้างโดย กนกวรรณ และคณะ, 2557) การทำลายเซลล์ต่างๆ ของร่างกายจากอนุมูลอิสระส่งผลทำให้เซลล์เสียหายทั้งโครงสร้างและการทำงานโดยอาจเสียหายแค่เพียงบางส่วนไปจนกระทั่งสูญเสียสภาพโดยถาวร โดยอนุมูลอิสระมักจะทำลายที่เซลล์ไขมัน โปรตีน และ ดีเอ็นเอผ่านกระบวนการสำคัญ ดังนี้

ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน เป็นการทำลายไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated lipid) ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันและเกิดอนุมูลอิสระ ได้แก่ กรดไขมันไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Fatty acid hydroperoxides) และสารประกอบอัลดีไฮด์ (Aldehydes) จึงเป็นไปได้ว่าการเกิดลิปิดเปอร์

ออกซิเดชันเป็นอีกหนึ่งปัจจัยของความเสียหายของดีเอ็นเอภายในมนุษย์ ซึ่งอาจมีส่วนสำคัญต่อการเกิดโรคมะเร็ง และโรคทางพันธุกรรมอื่นๆ (Marnett, 2002)

อนุมูลอิสระสร้างความเสียหายแก่ดีเอ็นเอและนิวคลีโอโปรตีน (Nucleoproteins) ด้วยกลไกต่างๆ ทั้งโดยทางตรงจากการทำปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระหรือโดยทางอ้อมจากการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด เช่น แคลเซียมไอออนดีเพนเดนทเอนโดนิวคลีเอส (Ca^{2+} -dependent endonuclease) ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น การทำลายลำดับเบส (Base lesion) การทำลายโครงสร้างของน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบของดีเอ็นเอ (Sugar lesion) การแตกหักของดีเอ็นเอสายเดี่ยว (Single stranded breaks) และการจับตำแหน่งผิดพลาดของดีเอ็นเอและโปรตีน (DNA-protein cross-links) (Salas & Corcoran, 1997)

การทำลายโปรตีน โปรตีนเป็นเป้าหมายสำคัญหนึ่งที่มีมักจะถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ แม้ว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจไม่รุนแรงถึงขั้นทำให้เซลล์เสียหายเช่นเดียวกับการทำลายไขมันและดีเอ็นเอ แต่หากโปรตีนที่ถูกทำลายนั้นมีคุณสมบัติที่จำเพาะต่อการทำงานของเซลล์ เช่น เอนไซม์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากตำแหน่งของกรดอะมิโนที่ถูกทำลายเป็นตำแหน่งที่มีความสำคัญต่อการออกฤทธิ์ (Active site) ของเอนไซม์เหล่านั้น จะทำให้เอนไซม์สูญเสียคุณสมบัติและส่งผลให้เซลล์เสื่อมสภาพได้ โดยกรดอะมิโนที่มีแนวโน้มที่จะถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระได้มากที่สุด คือ เมธไธโอนีน (Methionine) และซิสเทอีน (Cystein) เนื่องจากเป็นกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์ (Sulfur) เป็นองค์ประกอบ (Rice & Gopinathan, 1995)

ระบบการต้านออกซิเดชัน (Antioxidation system) เป็นระบบที่สิ่งมีชีวิตสร้างขึ้นเองโดยธรรมชาติ สำหรับเพื่อใช้ป้องกันตนเองจากความเป็นพิษของอนุมูลอิสระ โดยออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระสูญเสียความไวในการเข้าทำปฏิกิริยา (Ames et al., 1993; Daiponmak et al., 2014) ได้แก่ เอนไซม์ที่ลดปริมาณอนุมูลอิสระโดยการกำจัดอนุมูลอิสระเช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (Superoxide dismutase หรือ SOD) คอะตาเลส (Catalase หรือ CAT) กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase หรือ GPx) โปรตีนที่ลดปริมาณโปรออกซิแดนซ์ (Prooxidant) ซึ่งเป็นตัวเร่งการสร้างอนุมูลอิสระหรือโปรตีนที่ช่วยป้องกันชีวโมเลกุล (Biomolecules) เช่น ฮอโรโมนต่างๆ จากการทำลายเซลล์โดยอนุมูลอิสระหรือสารโมเลกุลขนาดเล็กที่มีส่วนช่วยในการลดปริมาณอนุมูลอิสระโดยการกำจัดอนุมูลอิสระ เช่น กลูตาไธโอน (Glutathione) วิตามินอี (α -tocopherol) และ วิตามินซี (Ascorbic acid) เป็นต้นเมื่อเกิดอนุมูลอิสระซุปเปอร์

ออกไซด์แอนไอออนขึ้นภายในเซลล์เอนไซม์ SOD จะทำการเปลี่ยนอนุมูลอิสระดังกล่าวเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) ซึ่งจะถูกลดลงเป็นออกซิเจน (O_2) และน้ำ (H_2O) ต่อไปด้วยเอนไซม์ CAT และ GPx ตามลำดับ สมรรถนะของเอนไซม์เหล่านี้ในแต่ละอวัยวะในร่างกายจะตอบสนองต่อภาวะเครียดออกซิเดชันได้แตกต่างกัน (Szymonik-Lesiu et al., 2003) ยีนที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์และสมรรถนะของเอนไซม์ในระบบต้านภาวะเครียดออกซิเดชันจะเพิ่มสูงขึ้นในภาวะไขมันในเลือดสูง ภาวะเครียดออกซิเดชันนอกจากจะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาการของโรคแล้วยังส่งผลต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนอื่นๆ ด้วย (Barriuso et al., 2015)

2.8 การนำเห็ดถั่งเช่ามาใช้ในมนุษย์

ในปัจจุบันถึงแม้ว่าถั่งเช่าสีทอง จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายและมีราคาแพง แต่ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาในคน อย่างเป็นระบบมีอยู่มาส่วนใหญ่เป็นกรณีศึกษาเท่านั้นตัวอย่างเช่น กรณีศึกษาฤทธิ์กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายมนุษย์ โดยทำการศึกษาในผู้ชาย 5 คน อายุเฉลี่ย 35 ปี โดยที่ถูกลดภูมิต้านทานให้อีกเสดด้วย Lipopolysaccharide (LPS) พบว่าถั่งเช่ามีฤทธิ์ลดการสร้างสารที่ทำให้เกิดการอักเสบ เช่น Interlukin-1beta (IL-1beta), Interlukin-6 (IL-6), Interleukin-8 (IL-8), Interleukin-10 (IL-10) และ Tumor necrosis factor-alpha (TNF-alpha) จึงส่งผลให้ระบบภูมิคุ้มกันทำงานดีขึ้น (Shashidhar et al., 2013 อ้างโดย นพมาศ สุนทรเจริญนนท์ และ ธิธรัตน์ จันทรตอน, 2556) กรณีศึกษาฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือด โดยการให้ถั่งเช่าปริมาณ 3 กรัมต่อวัน กับผู้ป่วยเบาหวานโดยการรับประทาน พบว่าภายหลังการรับประทานถั่งเช่าสามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ถึง 95% ในขณะที่กลุ่มที่รักษาด้วยยาแผนปัจจุบัน สามารถควบคุมระดับน้ำตาลได้เพียง 54% (Shashidhar et al., 2013) กรณีศึกษาฤทธิ์ต่อการฟื้นฟู ระบบการทำงานของไต โดยให้ผู้ป่วยภาวะไตวายเรื้อรังรับประทานถั่งเช่าปริมาณ 3-5 กรัมต่อวัน พบว่าถั่งเช่าทำให้การทำงานของไตมีประสิทธิภาพดีขึ้น นอกจากนี้พบว่าภายหลังการได้ถั่งเช่าสีทองติดต่อกันเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าสามารถช่วยลดอาการการทำงานผิดปกติต่างๆ เช่น ภาวะไตวาย ความดันโลหิตต่ำ ระดับโปรตีนลดลง หรืออาจส่งผลต่อไปยังทำให้เลือดจาง และยังเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD) (Shashidhar et al., 2013) จากการรายงานว่าการให้ผู้ป่วยที่มีการทำงานของไตบกพร่องจากการใช้ยา Gentamicin รับประทานถั่งเช่าสีทองปริมาณ 4.5 กรัมต่อวัน มีผลทำให้ ระบบการทำงานของไตดีขึ้นเป็นปกติ 89 % (Shashidhar et al., 2013)

การศึกษาของ Rao et al. (2010) แสดงให้เห็นว่าถั่งเช่าสีทองมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของอนุมูลอิสระ และไซโตไคน์ (TNF- α และ IL-12) ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ลำไส้ใหญ่ ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวสามารถสนับสนุนทางวิทยาศาสตร์ สำหรับการนำถั่งเช่าสีทองเป็นสารป้องกันมะเร็งผ่านสารต้านการอักเสบ แสดงให้เห็นว่าสารออกฤทธิ์ที่อยู่ในถั่งเช่าสีทองสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเนื้องอกผ่านการควบคุมการตายของเซลล์มะเร็งได้ ทำให้เกิดการควบคุมการเกิดเนื้องอกขนาดเล็ก ผ่านการยับยั้งมะเร็งที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของมะเร็ง ดังนั้นถั่งเช่าสีทองอาจเป็นหนึ่งในอาหารเสริมที่สำคัญหรือยาทดแทนสำหรับการรักษาโรคมะเร็งได้ (Ye et al., 2018) จากการศึกษาของ Wada et al. (2017) ศึกษาการเกิดกิจกรรมการต้านการเกิดเนื้องอก พบว่าสารสกัดจากถั่งเช่าสีทองมีไซลิทอลในปริมาณมาก ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าเห็ดถั่งเช่าสีทองมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเกิดเนื้องอก ดังนั้นการเสริมหรือการได้รับถั่งเช่าสีทองมีส่วนช่วยอย่างมากในการนำมาเป็นสารเสริมเพิ่มสมรรถภาพของร่างกาย และการกระตุ้นภูมิคุ้มกันโดยใช้องค์ประกอบจากเห็ดถั่งเช่าสีทอง ในฐานะสารสมุนไพรต้านมะเร็ง จากการศึกษาของ Rao et al. (2010) ได้สนับสนุนการใช้ Ethnopharmacological ที่มีในเห็ดถั่งเช่าสีทองเป็นสารต้านการอักเสบและต้านมะเร็ง

2.9 การนำเห็ดถั่งเช่าสีทองมาใช้ในสัตว์

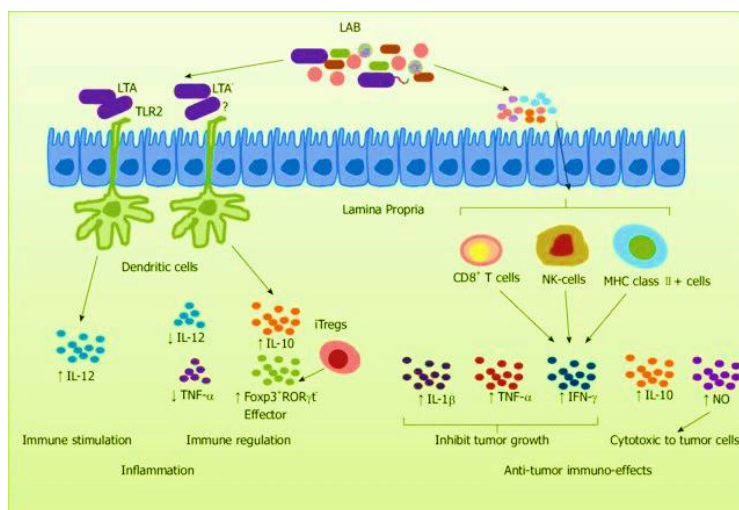
สารออกฤทธิ์ที่สำคัญทางชีวภาพของเห็ดถั่งเช่า เช่นคอร์เดเซปิน และ อะดีโนซีน เป็นต้น มีการศึกษาการนำเห็ดถั่งเช่าไปใช้ในมนุษย์พบว่า สามารถกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน ลดคอเลสเตอรอล ลดความเครียด บำรุงสมรรถภาพทางเพศ และยังมีส่วนช่วยยับยั้งเนื้องอกของเซลล์มะเร็งอีกด้วย (Shashidhar et al., 2013) จึงได้มีการพัฒนานำเห็ดถั่งเช่ามาประยุกต์เป็นสารเสริมในอาหารของสัตว์ เพื่อต่อยอดความรู้และเป็นการขยายตลาดสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเห็ดถั่งเช่า จากการศึกษาการเสริมวัสดุเพาะเห็ดถั่งเช่าสีทองต่อระบบภูมิคุ้มกัน และประสิทธิภาพการผลิตในไก่ไข่ จากการศึกษาของ ชัยวัฒน์ อาจिन และคณะ (2558) และ ชัยวัฒน์ อาจिन และคณะ (2559) ให้ถั่งเช่าสีทอง ที่ 0, 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร พบว่าได้รับผลด้านภูมิคุ้มกันของไก่ไข่ หลังจากได้รับถั่งเช่าสีทอง ทั้ง 4 ระดับ ปริมาณการกินอาหารของไก่ไม่มีความแตกต่างกัน แต่การศึกษาของ Wang et al. (2015) ที่พบว่าไก่กลุ่มที่มีการใช้ถั่งเช่าสีทองที่ระดับ 2.0 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร มีปริมาณการกินได้ต่ำกว่าการใช้ระดับ 0-1.0 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก พันธุ์ไก่และอายุที่ใช้ทดลองมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ Wang et al. (2013) รายงาน

ว่าถั่งเช่าสีทอง สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการตอบสนองของภูมิคุ้มกันจากการทำวัคซีนโรคนิวคาสเซิลอย่างมีนัยสำคัญ และจะกลายเป็นภูมิคุ้มกันชนิดใหม่ จากการทดสอบการเสริมถั่งเช่าสีทองในหนูพบว่าช่วยปรับปรุงการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในหนู เพิ่มดัชนีม้ามและโรมาอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และการตรวจสอบซีรัมของหนูภายหลังการเสริม ถั่งเช่าสีทองพบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญในหนูและลดระดับ Malondialdehyde (MOD) อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ถั่งเช่าสีทองควบคุมการแสดงออกของ TNF- α , IL-6 และ IL-1 β ในกลุ่มที่มีการเสริมถั่งเช่าสีทองในระดับที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมถั่งเช่าสีทอง จากการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ถั่งเช่าสีทองช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของภูมิคุ้มกันผ่านการป้องกันความเครียดที่เกิดจากอาการออกซิเดชัน (Oxidative stress) ดังนั้นถั่งเช่าสีทองจึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นยาและอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ (Liu et al., 2016) จากการศึกษาเสริมผงเห็ดถั่งเช่าหมักในลูกสุกรหย่านมเพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและสถานะภูมิคุ้มกัน (Cheng et al., 2016) โดยให้ระดับผงถั่งเช่าบดที่ระดับ 500, 1,000 และ 1,500 ไมโครกรัม เทียบกับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร พบว่าการเสริมที่ระดับ 1,000 ไมโครกรัม ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและสถานะภูมิคุ้มกันในลูกสุกรหย่านม การศึกษาของ ปรัชญา หนูพันธ์ และคณะ (2562) ยังรายงานอีกว่าวัสดุเพาะเห็ดถั่งเช่าสีทองสามารถใช้เสริมในอาหารไก่เนื้อระดับ 2.5-5.0 กรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ไขมันในเลือดต่ำลง การเสริมวัสดุเพาะเห็ดถั่งเช่าสีทองทุกระดับทำให้ไก่มีปริมาณของ จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ *Bifidobacteria* spp. และ *Lactobacillus* spp. สูงกว่าไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมยาปฏิชีวนะ สรุปได้ว่าวัสดุเพาะเห็ดถั่งเช่าสีทองสามารถใช้ทดแทนยาปฏิชีวนะได้ (มงคล ยะไชย และคณะ, 2558) และยังมีรายงานว่า การเสริมถั่งเช่าสีทองในอาหารแม่สุกรไม่กระทบต่อผลผลิต แต่มีผลต่อระบบสืบพันธุ์ ถั่งเช่าสีทอง สามารถลดความเครียดที่เกิดจากสภาวะออกซิเดชัน และช่วยลดปัญหาการถ่ายเหลวในลูกสุกร (วัลย์วิณี อาจวิชัย และคณะ, 2562)

2.10 Heat-killed *Lactobacillus plantarum* L-137 (HK L-137)

แบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic acid bacteria : LAB) เป็นเชื้อแบคทีเรียชนิดที่ไม่ก่อโรค ซึ่งส่วนใหญ่มีอยู่แล้วในลำไส้ของสัตว์ มีฤทธิ์ในการส่งเสริมสุขภาพ ช่วยในเรื่องระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ป้องกันการติดเชื้อในส่วนของชั้นเนื้อเยื่อลำไส้ นอกจากนี้ยังช่วยลดระดับคลอเลสเทอรอลในเลือด และยับยั้งการทำงานของเซลล์มะเร็ง (Nomoto, 2008) จุลินทรีย์ที่ถูกทำให้ตายด้วยความร้อน

(Heat-killed) ได้รับการยอมรับว่าเป็นจุลินทรีย์ชนิดโพรไบโอติก เนื่องจากแสดงให้เห็นว่ามีประโยชน์ เทียบเท่าจุลินทรีย์ที่มีชีวิต *Lactobacillus* ทั้งแบบที่มีชีวิตและแบบที่ตายแล้ว จะไปกระตุ้นการทำงานของ Macrophage และกิจกรรมต่างๆ ซึ่งแตกต่างกันออกไปตามสายพันธุ์ของ *Lactobacillus* (Yasui et al., 1999) จากการศึกษาเกี่ยวกับการทำหน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกันของ LAB ลักษณะของการทำงานซึ่งโดยปกติต่างสายพันธุ์จะทำงานต่างกันอยู่แล้ว แต่ในสายพันธุ์เดียวกัน ในบางครั้งยังมีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกันไปอีกด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานะและกระบวนการนำไปใช้งาน (Inactivation) ที่แตกต่างกันออกไปในด้านของความร้อน เช่น การฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Cai et al., 2010 อ้างโดย พชร พัดขำ, 2562) จากกระบวนการต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือองค์ประกอบทางเคมีของสารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน LAB สามารถกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันผ่านทางเดินหลักสองทาง คือการอักเสบ และการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน การอักเสบเกี่ยวข้องกับ Lipoteichoic acid (LTA) ซึ่งสามารถกระตุ้นให้ T cell ปลดปล่อย Interleukin (IL) เช่น IL-10, IL-12 และเพิ่มการทำงานของ Foxp3+, ROR γ t-Tregs LAB กระตุ้นเซลล์ภูมิคุ้มกัน เช่น T cell, Dendritic cell (DC), Natural killer (NK) และ MHC class II cells เพื่อกระตุ้น IL-10, Tumor Necrosis Factor (TNF)- α , Interferon (IFN)- γ และ IL-1 β เพื่อยับยั้งการเติบโตของเนื้องอก แบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ และมีคุณสมบัติในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันเรียกว่า Immunobiotics หรือ HK L-137 เป็นเชื้อแบคทีเรียจำพวก *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* จากการศึกษาหลายๆ การศึกษาได้ให้ข้อมูลที่แน่ชัดว่า Immunoregulatory เป็นกลไกที่อยู่เบื้องหลังประโยชน์ของ HK L-137 ที่เกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ในการปรับ Dendritic cells (DCs) ได้อย่างเหมาะสม งานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินผลของ Immunobiotics ส่วนใหญ่นิยมทำในหนู หรือในเซลล์ของมนุษย์ แต่ยังมีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับ HK L-137 ค่อนข้างน้อยในสัตว์เลี้ยง เช่น สุกร เป็นต้น (พชร พัดขำ, 2562)



ภาพ 3 การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันที่เกิดจากแบคทีเรียกรดแลคติก

ที่มา: Zhong et al. (2014)

HK L-137 เป็นจุลินทรีย์ที่ถูกทำให้ตายแล้ว เมื่อเข้าไปยังบริเวณลำไส้เล็กแล้วไปสัมผัสบริเวณวิลไล จึงเกิดการกระตุ้น M-Cell ที่อยู่ในวิลไล จากนั้น M-Cell จะทำหน้าที่คอยจับแอนติเจนหรือสิ่งแปลกปลอม HK L-137 จะเป็นตัวกลางในการกระตุ้นการเหนี่ยวนำการแสดงออกของ IL-2 และเพิ่ม IFN- β และ T-Cell อีกทั้งยังกระตุ้นมาโครฟาจ (Macrophage) เพื่อผลิตเซลล์ภูมิคุ้มกันที่แข็งแรงขึ้นเพื่อป้องกันเชื้อโรค (Zhong et al., 2014)

2.11 การใช้ HK L-137 ในสัตว์

จากการศึกษาสัตว์ฐานวิทยาลัยลำไส้และเยื่อที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันในไก่เนื้อ พบว่าไก่เนื้ออายุ 5 ถึง 22 วัน การเสริม HK L-137 ในอาหารสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการเจริญเติบโต เพิ่มความสูงของวิลไล (Villi) และความสูงของวิลไลต่อความลึกของคริป (Crypt) และยังมีรายงานต่ออีกว่าการ HK L-137 อาจเป็นสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันที่มีประโยชน์ และมีศักยภาพที่จะทดแทนการเจริญเติบโตของยาปฏิชีวนะเป็นทางเลือกในอุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อ (Zhong et al., 2014) นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นว่า HK L-137 มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการเจริญเติบโต และการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันในไก่เนื้อ และอาจเป็นทางเลือกสำหรับนำมาทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ

ในอุตสาหกรรมไก่เนื้อ (Incharoen et al., 2019) HK L-137 มีความเสถียรภาพในการย่อยสารอาหารในหลอดทดลอง และมีคุณสมบัติเป็นภูมิคุ้มกันในระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ HK L-137 ยังช่วยกระตุ้นเซลล์ม้ามของหนูให้ผลิต Interleukin-12p40 มากกว่า HK L-137 ที่ไม่ให้ความร้อน (พัชรี พัดขำ, 2562) การทำงานของ Interleukin-12p40 ในลำไส้เล็ก ของ HK L-137 ที่ไม่ให้ความร้อน มีการสังเคราะห์ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำไปสังเคราะห์กับน้ำย่อยในลำไส้เล็ก ในขณะที่ HK L-137 ยังคงรักษาการทำงานของ interleukin-12p40 อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ HK L-137 ยังสามารถป้องกันการเกิด DSS ที่ทำให้เกิดลำไส้ใหญ่บวมได้ดีกว่า L-137 ดังนั้น HK L-137 จึงอาจมีผลต่อการเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของการทำงานของเซลล์ได้ (พัชรี พัดขำ, 2562) นอกจากนี้การศึกษาในสุกรยังพบว่าการแสดงออกของยีน IFN- β ในเซลล์เม็ดเลือดทั้งหมดของสุกรที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริม HK L-137 พบว่าระดับ IFN- β mRNA ในกลุ่ม HK L-137 สูงกว่าในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และยังรายงานเพิ่มเติมว่าการได้รับ HK L-137 ในแต่ละวันช่วยเพิ่มการผลิต IFN ชนิดที่ 1 และการป้องกันโฮสต์ต่อการติดเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่ชนิด A ในหนูทดลอง (Arimori et al., 2012) นอกจากนี้การศึกษาของ พัทธ์ และคณะ (2561) ได้รายงานว่า การเสริม HK L-137 ในสุกรระยะดูดนม พบว่าการเสริม HK L-137 ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตโดยรวม และไม่ส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ท้องเสียในสุกรด้วย แต่หากมีการเสริมในระดับ 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ต่อเนื่องจนถึงช่วงอายุ 38-52 วัน จึงจะสามารถใช้ประโยชน์จาก HK L-137 เพื่อเป็นสารเสริมเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในสุกร และสามารถให้ HK L-137 ทดแทนยาปฏิชีวนะในอาหารสุกรเลี้ยงรางและสุกรระยะอนุบาลได้ (พัชรี พัดขำ และคณะ, 2561)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) ELIZA Colorimetric Microplate reader \ Bio Tek \ USA
- 2) Refrigerated centrifuge \ Miliot science \ Finland
- 3) Micro centrifuge tube \ biologixgroup \ China
- 4) Monovet clot \ Biomat \ Norway
- 5) Trip pipette \ Kirgen \ China
- 6) Microscope \ Nikon \ Japan
- 7) Micro pipette \ Joanlab \ China
- 8) 96 well plate flat bottom \ Merck KGaA \ Germany
- 9) Atellica NEPH630 \ Siemens \ Germany
- 10) CBC ABX Pentra 60 \ Horoba \ France
- 11) WiseCube Incubator \ Wids \ USA

3.2 สารเคมี

- 1) ddH₂O
- 2) Superoxide Dismutase Activity Assay Kit \ abcam \ USA
 - 2.1 WST solution
 - 2.2 SOD Assay Buffer
 - 2.3 Enzyme SOD
 - 2.4 SOD Dilution Buffer
- 3) Glutathione Peroxidase Assay Kit \ abcam \ USA
 - 3.1 GPx Peroxidase Buffer
 - 3.2 NADPH Aliquot Standard

3.3 Glutathione Reductase

3.4 Glutathione Peroxidase Enzyme

3.5 Assay Buffer

3.6 Glutathione Peroxidase (Positive Control)

การศึกษาในครั้งนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 การศึกษาการใช้ประโยชน์ของ CM-SMS ในรูปผง ในระดับการใช้ 0.25, 0.50 และ 1.00% ในอาหารสุกรอนุบาล และ การทดลองที่ 2 การศึกษาการเสริม CM-SMS เปรียบเทียบกับ HK L-137 และการเสริมร่วมกันของ CM-SMS และ HK L-137 ในอาหารสุกรอนุบาล โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

3.3 การทดลองที่ 1 การศึกษาการใช้ประโยชน์ของ CM-SMS ในรูปผง ในระดับการใช้ 0.25, 0.50 และ 1.00% ในอาหารสุกรอนุบาล

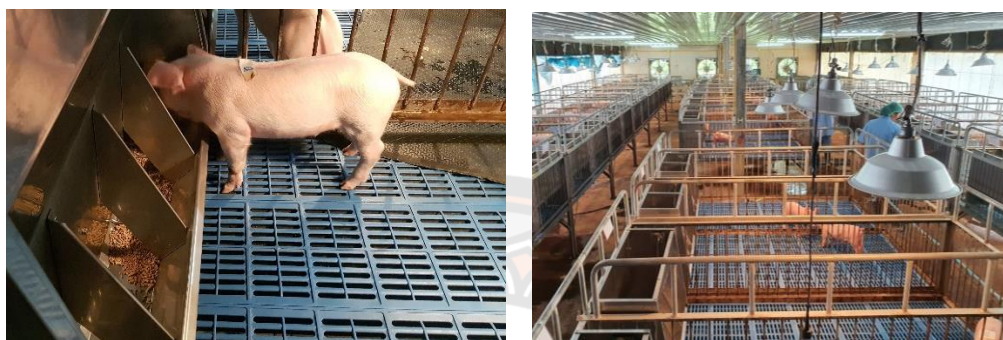
3.3.1 ตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

ใช้ตัวอย่างจากที่เป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตเห็ดถั่งเช่าสีทอง นั่นคือฐานเห็ดถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris* spent mushroom substrate; CM-SMS) โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไฮกู๊ดส์ โพรดัคท์ จำกัด จังหวัดฉะเชิงเทรา CM-SMS ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการตรวจสอบองค์ประกอบของ CM-SMS ด้วยวิธี HPLC พบว่ามีปริมาณ Cordycepin 1,053.65 มิลลิกรัม/100 กรัม และมี Adenosine ปริมาณ 103.06 มิลลิกรัม/100 กรัม (ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ, 2562) จากนั้นบดวัตถุดิบด้วยเครื่องบด ยี่ห้อ We2perfect, China โดยจะได้วัตถุดิบขนาด 0.1 Mesh จากนั้นนำวัตถุดิบที่ได้ไปผสมในส่วนผสมตามสูตร ดังแสดงในตาราง 3 และผ่านกระบวนการอัดเป็นเม็ด จากนั้นทำการตาก เพื่อไล่เอาความชื้นของอาหารและให้วัตถุดิบอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดคงรูปเดิมไม่เป็นผง

3.3.2 สัตว์ทดลอง

ศึกษาในสุกรอนุบาล (ลาร์จไวท์ x แลนด์เรซ x ดุรอก) จำนวน 40 ตัว เพศผู้ 20 ตัว และเพศเมีย 20 ตัว จาก ฟาร์มวิไลพร อำเภอตากลี จังหวัดนครสวรรค์ หย่านมที่อายุ 21 วัน น้ำหนักเริ่มต้น 5.50 ± 0.50 กิโลกรัม สุ่มสุกรแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 10 ซ้ำๆ ละ 1 ตัว ตามการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เลี้ยงในระบบโรงเรือนปิด ควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 50-60 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงสุกรบนกรงขนาด 1x2 เมตร กรงละ 1 ตัว

ทั้งหมด 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 กรง เป็นเวลา 28 วัน หรือ 4 สัปดาห์ ภายใต้โรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system) โดยควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนอยู่ที่ 30-32 องศาเซลเซียส และลดลงสัปดาห์ละ 1-2 องศาเซลเซียส ตามความต้องการของสุกร



ภาพ 4 ลักษณะคอกและโรงเรือนทดลอง

3.3.3 อาหารทดลอง

อาหารทดลองแบ่งออกเป็นทั้งหมด 4 กลุ่ม ตามการวางแผนการทดลอง โดยกลุ่มควบคุม (อาหารฐานที่ไม่มีส่วนผสม CM-SMS ในอาหาร) และกลุ่มได้รับอาหารพื้นฐานผสมด้วย CM-SMS ที่ระดับ 0.25, 0.50 และ 1.00% สูตรอาหารทดลองนี้ใช้แหล่งวัตถุดิบอาหารหลัก คือ ปลายข้าว ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และใช้ CM-SMS เสริมในอาหารโดยหักส่วนของปลายข้าวในสูตรอาหารออกตามระดับที่กำหนดในแต่ละกลุ่มทดลอง ผลิตอาหารทดลองในรูปแบบอาหารอัดเม็ด โดยกำหนดให้มีองค์ประกอบโภชนะดังนี้ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,354 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และมีโปรตีน ไลซีน เมทไธโอนีน แคลเซียม และฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ ดังแสดงในตาราง 3 ทั้งนี้สุกรทุกตัวจะได้รับอาหารที่มีโภชนะตามความต้องการ (NRC, 2012) อย่างเต็มที่และมีน้ำสะอาดกินตลอดเวลา

3.3.4 การเก็บข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง

บันทึกน้ำหนักสุกรเมื่อเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักสุกรทุก 2 สัปดาห์ และน้ำหนักสุกรเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการผลิต ได้แก่ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain; WG) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average Daily Gain; ADG) ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน

(Average Daily Feed Intake; ADFI) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Feed Conversion Ratio; FCR) เป็นรายสัปดาห์และตลอดการทดลอง (0-28 วัน)

แบ่งกลุ่มการทดลองให้มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน บันทึกปริมาณอาหารที่กิน คะแนนมูลสุกร ความรุนแรงของโรคท้องร่วงได้รับการประเมินและจำแนกเป็น 4 คะแนน ได้แก่ คะแนน 0 เป็นอุจจาระแข็งปกติ; คะแนน 1 กึ่งแข็งเป็นก้อน; คะแนน 2 เป็นน้ำอุจจาระปนด้วยอุจจาระแข็ง และคะแนน 3 เป็นอุจจาระที่มีน้ำมากมีปริมาณอุจจาระแข็งเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย (Sayan et al., 2018) ซึ่งคะแนนอุจจาระและอุบัติการณ์ท้องร่วง (Diarrhea Incidence; DI) ของแต่ละกลุ่มถูกคำนวณตามสูตรดังนี้

Diarrhea Incidence (DI) = ผลรวมของคะแนนอาการท้องร่วงตลอดการทดลอง/จำนวนวันทดลอง

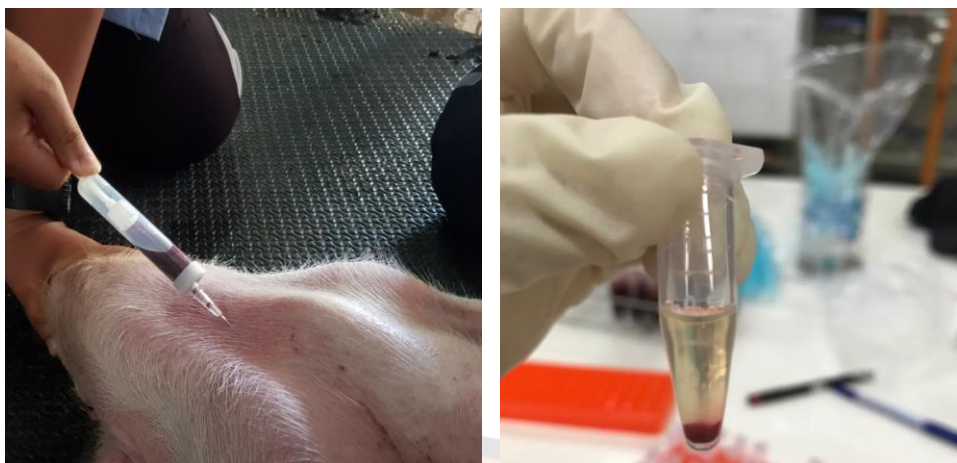
$$DI (\%) = (\text{จำนวนสุกรที่มีอาการท้องเสียที่มีคะแนน 3 ของแต่ละกลุ่ม} \times \text{วันที่ท้องเสีย} \times 100) / (\text{สุกรทั้งหมดในกลุ่ม} \times \text{วันทดลอง})$$

การเก็บตัวอย่างเลือดสุกร ทำการเก็บตัวอย่างภายหลังสิ้นสุดการทดลอง 3 วัน ซึ่งยังคงให้อาหารทดลองต่อเนื่องจนถึงวันทำการเก็บตัวอย่างเลือดโดยไม่อดอาหาร โดยทำการเก็บตัวอย่างเลือด (ประมาณ 5-10 มล.) จากสุกร จำนวน 20 ตัว แบ่งเป็นกลุ่มการทดลอง ละ 5 ตัว เจาะเลือดบริเวณคอ (Jugular Veins) โดยใช้เข็มขนาด 18 x 1 (0.9 x 25 mm) ด้วยหลอดเจาะเลือดแบบสุญญากาศ วางไว้ในอุณหภูมิต่ำเพื่อให้เลือดแข็งตัวและแยกชั้น (Clot) บีบเฉพาะเซรัมไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (5,200 x g เป็นเวลา 15 นาที) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำซ้ำ 2 ครั้ง และนำเฉพาะซีรัมมารักษาสภาพโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส (Zhang et al., 2019)

ตาราง 3 Ingredients and nutrient composition of experimental diets with different level of CM-SMS

Items	CM-SMS ratio			
	0%	0.25%	0.50%	1.00%
Broken rice	38.00	37.75	37.50	37.00
Grounded Corn	17.00	17.00	17.00	17.00
Soybean meal	30.25	30.25	30.25	30.25
Rice bran	5.00	5.00	5.00	5.00
Skim milk powder	5.00	5.00	5.00	5.00
CM-SMS	0.00	0.25	0.50	1.00
Soybean oil	1.50	1.50	1.50	1.50
Lysine	0.20	0.20	0.20	0.20
DL-Methionine	0.20	0.20	0.20	0.20
Dicalcium Phosphate	1.60	1.60	1.60	1.60
CaCO ₃	0.50	0.50	0.50	0.50
NaCl	0.35	0.35	0.35	0.35
Vitamin-mineral premix ¹	0.25	0.25	0.25	0.25
Anti-mycotoxin	0.10	0.10	0.10	0.10
Pellet binder	0.05	0.05	0.05	0.05
Calculated Nutrient composition (as fed basis)				
Crude protein (%)	21.50	22.07	22.13	22.18
Ether extract (%)	2.36	2.37	2.37	2.37
Crude fiber (%)	3.40	3.40	3.40	3.40
Metabolizable energy (kcal/kg)	3,353	3,466	3,476	3,477

Note: ¹Supplied (per kilogram diet): Vitamin A as retinol, 18.0 IU; Vitamin D3, 3.6 IU; Vitamin E, 20 g; Vitamin K3, 2 g; Vitamin B1 (thiamine), 1.5 g; Vitamin B2 (riboflavin), 3.5 g; Vitamin B6 (pyridoxine), 2.5 g; Vitamin B12 (cyanocobalamin), 15 mg; nicotinic acid, 15 g; pantothenic acid, 15 g; folic acid, 500 mg; biotin, 50 mg; choline, 150 g; copper as CuSO₄, 180 g; iron as FeSO₄, 180 g; manganese, 80 g; cobalt, 1 g; iodine, 1 g; selenium as Na₂SeO₃, 0.1 g



ภาพ 5 การเก็บตัวอย่างเลือดและการแยกเซรัมเลือดสุกร

3.3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การศึกษาด้านความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นำตัวชี้วัดเลือดที่ได้จากการเก็บตัวอย่างของสุกรแต่ละกลุ่มนั้นมาวิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์ในพลาสมา Glutathione peroxidase (GPx) และ Superoxide dismutase (SOD) ด้วยชุดวัดระดับความเข้มข้นของการเกิดออกซิเดชัน (Assay kits Colorimetric) วิธีตามผลิตภัณฑ์ (abcam® discover more, US) และนำมาวัดค่าความดูดกลืนแสง (Optical density, OD) ด้วยเครื่อง ELIZA microplate reader รุ่น Synergy H1 hybrid reader จาก BioTek Instruments, Inc., headquartered ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จากนั้นนำมาคำนวณหาระดับความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยคำนวณตามสูตรคำแนะนำของผลิตภัณฑ์ แยกเป็นประเภทได้ดังนี้

ก) Glutathione peroxidase (GPx)

$$\Delta A_{340 \text{ nm}} = (\text{sample A1} - \text{sample A2}) - (\text{Reagent control A1} - \text{Reagent control A2})$$

ใช้ $\Delta A_{340 \text{ nm}}$ กับเส้นโค้งมาตรฐาน NADPH เพื่อรับ NADPH จำนวน B

$$B = (\Delta A_{340} - \text{intercept}) / \text{Slope}$$

ความเข้มข้นของ GPx ในตัวอย่างทดสอบคำนวณโดย (nmol/min/mL=mU/mL):

$$\text{GPx Activity} = B / ((T2 - T1) \times V) \times D$$

B	=	ปริมาณ NADPH ที่ลดลงระหว่าง T1 และ T2 (nmol)
T1	=	เวลาของการอ่านครั้งแรก (A1) (นาที)
T2	=	เวลาอ่านวินาที (A2) (นาที)
V	=	ปริมาตรตัวอย่างสำเร็จรูปที่เติมลงในหลุมปฏิกิริยา (มล.)
D	=	ปัจจัยการเจือจางตัวอย่าง

นิยามหน่วย: หนึ่งหน่วยถูกกำหนดให้เป็นปริมาณของเอนไซม์ที่จะทำให้เกิดออกซิเดชัน 1.0 μmol ของ NADPH ถึง NADP⁺ ภายใต้เงื่อนไขชุดทดสอบที่อุณหภูมิ 25 °C

ข) Superoxide dismutase (SOD) คำนวณการทำงานของ SOD (% อัตราการยับยั้ง) โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{SOD Activity (inhibition rate\%)} = \frac{[(\text{Ablank1} - \text{Ablank2}) - (\text{Asample} - \text{Ablank2})]}{(\text{Ablank1} - \text{Ablank3})} \times 100$$

A = Absorbance

3.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดจะถูกนำข้อมูลของทุกค่าสังเกต มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Steel & Torrie, 1980) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 20

3.4 การทดลองที่ 2 การศึกษาการเสริม CM-SMS เปรียบเทียบกับ HK L-137 และการเสริมร่วมกันของ CM-SMS และ HK L-137

3.4.1 ตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

ทดสอบฐาน CM-SMS มาเสริมในอาหารจากระดับการใช้ CM-SMS ที่ได้ผลจากการศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบและผสม HK L-137 สัตว์ทดลอง การจัดกลุ่มทดลอง จำนวนซ้ำ การวางแผนการทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยที่ HK L-137 ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท House Wellness Foods Corporation Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น โดยใน HK L-137 1 กิโลกรัมนั้น

จะประกอบไปด้วย เวย์โปรตีน 495 กรัม เดกซ์ตริน 400 กรัม HK L-137 100 กรัม และสารปรุงแต่งอาหารอีก 5 กรัม จากนั้นนำวัตถุดิบที่ได้ไปผสมในอาหารสุกรส่วนผสมตามสูตร ดังแสดงในตาราง 4

3.4.2 สัตว์ทดลอง

ศึกษาในสุกรอนุบาล (ลาร์จไวท์ x แลนด์เรซ x ดูรอก) จำนวน 40 ตัว เพศผู้ 20 ตัว และเพศเมีย 20 ตัว จาก ฟาร์มวิไลพร อำเภอตากลี จังหวัดนครสวรรค์ หย่านมที่อายุ 21 วัน น้ำหนักเริ่มต้น 6.64 ± 0.50 กิโลกรัม สุ่มสุกรแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 10 ซ้ำๆ ละ 1 ตัว ตามการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เลี้ยงในระบบโรงเรือนปิด ควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 50-60 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงสุกรบนกรงขนาด 1x2 เมตร กรงละ 1 ตัว ทั้งหมด 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 กรง เป็นเวลา 42 วัน หรือ 6 สัปดาห์ ภายใต้โรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system) โดยควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนอยู่ที่ 30-32 องศาเซลเซียส และลดลงสัปดาห์ละ 1-2 องศาเซลเซียส ตามความต้องการพื้นฐานของสุกร



ภาพ 6 ลักษณะคอกและโรงเรือนทดลอง

3.4.3 อาหารทดลอง

เป็นการนำผลระดับการเสริม CM-SMS ในอาหารสุกรอนุบาลที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 1 มาเพื่อใช้เป็นปริมาณหลักสำหรับเพื่อทดสอบเปรียบเทียบกับ HK L-137 โดยอาหารทดลองแบ่งออกเป็นทั้งหมด 4 กลุ่มตามการวางแผนการทดลอง โดยนำฐานถั่วที่ได้นำมาทำการอบให้แห้ง และนำไปบดด้วยเครื่องบดเครื่องเทศ ยี่ห้อ we2perfect โดยจะได้วัตถุดิบขนาด 0.1 Mesh และ HK L-137 เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปซึ่งมีลักษณะเป็นผงจึงสามารถนำมาผสมในสูตรอาหารได้ โดยกลุ่มควบคุม (อาหารฐาน) กลุ่มที่ 2 ได้รับอาหารพื้นฐานเสริม CM-SMS 0.50% กลุ่มที่ 3 อาหารฐานเสริม

HK L-137 0.02% และกลุ่มที่ 4 อาหารฐานเสริม CM-SMS 0.50% และ HK L-137 ที่ 0.02% ในสูตรอาหาร (พัชรี พัดขำ และคณะ, 2561) สูตรอาหารทดลองนี้ใช้แหล่งวัตถุดิบอาหารหลัก คือ ปลายข้าว ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และใช้ CM-SMS ทดแทนปลายข้าว และ HK L-137 ทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารตามระดับที่กำหนดในแต่ละกลุ่มทดลอง โดยมีองค์ประกอบโภชนะดังนี้ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,416 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และมีโปรตีน ไลซีน เมทไธโอนีน แคลเซียม และฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ ร้อยละ 22, 1.35, 0.59, 0.86, และ 0.76 ตามลำดับ ดังแสดงตาราง 4 ทั้งนี้สุกรทุกตัวจะได้รับอาหารที่มีโภชนาการตามความต้องการ (NRC, 2012) อย่างเต็มที่และมีน้ำสะอาดกินตลอดเวลา

ตาราง 4 Ingredients and nutrient composition of experimental diets different level of CM-SMS and HK L-137

Ingredients	Control	CM-SMS ^{1/}	HK L-137 ^{2/}	CM-SMS
		0.50%	0.02%	+HK L-137
Broken rice	35.50	35.00	35.50	35.00
Grounded Corn	17.25	17.25	17.23	17.23
Soybean meal	35.00	35.00	35.00	35.00
Rice bran	3.00	3.00	3.00	3.00
Skim milk powder	5.00	5.00	5.00	5.00
CM-SMS	0.00	0.50	0.00	0.50
HK L-137	0.00	0.00	0.02	0.02
Soybean oil	1.00	1.00	1.00	1.00
Lysine	0.20	0.20	0.20	0.20
DL-Methionine	0.20	0.20	0.20	0.20
Dicalcium Phosphate	1.60	1.60	1.60	1.60
CaCO ₃	0.50	0.50	0.50	0.50
NaCl	0.35	0.35	0.35	0.35

ตาราง 4 (ต่อ)

Ingredients	Control	CM-SMS ^{1/}	HK L-137 ^{2/}	CM-SMS
		0.50%	0.02%	+HK L-137
Vitamin-mineral premix ¹	0.25	0.25	0.25	0.25
Anti-mycotoxin	0.10	0.10	0.10	0.10
Pellet binder	0.05	0.05	0.05	0.05
Calculated Nutrient composition (as fed basis)				
Crude protein (%)	22.00	22.78	22.83	22.87
Ether extract (%)	2.04	1.68	1.68	1.68
Crude fiber (%)	2.43	3.11	3.10	3.10
Metabolizable energy (kcal/kg)	3,426	3,490	3,507	3,508

Note: ¹Supplied (per kilogram diet): Vitamin A as retinol, 18.0 IU; Vitamin D3, 3.6 IU; Vitamin E, 20 g; Vitamin K3, 2 g; Vitamin B1 (thiamine), 1.5 g; Vitamin B2 (riboflavin), 3.5 g; Vitamin B6 (pyridoxine), 2.5 g; Vitamin B12 (cyanocobalamin), 15 mg; nicotinic acid, 15 g; pantothenic acid, 15 g; folic acid, 500 mg; biotin, 50 mg; choline, 150 g; copper as CuSO₄, 180 g; iron as FeSO₄, 180 g; manganese, 80 g; cobalt, 1 g; iodine, 1 g; selenium as Na₂SeO₃, 0.1 g

3.4.4 การเก็บข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง

บันทึกน้ำหนักสุกรเมื่อเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักสุกรทุก 2 สัปดาห์ และน้ำหนักสุกรเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการผลิต ได้แก่ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average Daily Gain; ADG) ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน (Average Daily Feed Intake; ADFI) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Feed Conversion Ratio; FCR) เป็นรายสัปดาห์และตลอดการทดลอง (0 - 42วัน)

การเก็บตัวอย่างเลือดสุกร ทำการเก็บตัวอย่างภายหลังจากการทดลอง 3 วัน ซึ่งยังคงให้อาหารทดลองต่อเนื่องจนถึงวันทำการเก็บตัวอย่างเลือดโดยไม่อดอาหาร ทำการเก็บตัวอย่างเลือดสุกร ประมาณ 10 มิลลิลิตร จากสุกร จำนวน 32 ตัว แบ่งเป็นกลุ่ม 4 การทดลอง ละ 8 ตัว เจาะเลือดบริเวณคอ (Jugular Veins) โดยใช้เข็มขนาด 18 x 1 (0.9 x 25 mm) ด้วยหลอดเจาะเลือดแบบสุญญากาศ วางไว้ในอุณหภูมิห้องเพื่อให้เลือดแข็งตัวและแยกชั้น (Clot) ปิดเฉพาะเซรั่มไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ($5,200 \times g$ เป็นเวลา 15 นาที) 4 องศา ทำซ้ำ 2 ครั้ง และนำเฉพาะซีรั่มรักษาสภาพโดยการแช่เย็น -20 องศาเซลเซียส (Zhang et al., 2019) และตรวจวิเคราะห์ลักษณะ และปริมาณของเม็ดเลือด โดยนำเลือดมาตรวจบนแผ่นสไลด์ และส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และตัวอย่างเลือดส่วนที่เหลือนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบหาปริมาณของอิมมูโนโกลบูลิน (IgG IgA และ IgM) โดยใช้หลักการของ Immunonephelometry ด้วยเครื่อง Atellica

3.5 สถานที่ทำการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) หน่วยวิจัยโภชนศาสตร์สุกร สถานีวิจัยและฝึกอบรมบึงราชนก คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยนเรศวร
- 2) ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 3) ห้องปฏิบัติการทางสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.6 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2563

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ของ CM-SMS ในระดับการใช้ 0.25, 0.5 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรอนุบาล

ผลการทดลองการใช้ CM-SMS ในอาหารสุกรอนุบาลทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ที่ 0, 0.25, 0.50 และ 1.00 % ในสูตรอาหารตามลำดับ พบว่าสุกรทั้ง 4 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังแสดงในตาราง 5 และไม่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักตัว ประสิทธิภาพการกินอาหารของลูกสุกรอนุบาล และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตลอดระยะเวลาทำการทดลอง แต่พบว่าการเสริมที่ระดับ 0.50 และ 1.00 % ในอาหารสุกรอนุบาล มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่อวันของลูกสุกรอนุบาลในสัปดาห์ที่ 2 ดีกว่ากลุ่มที่เสริมที่ระดับ 0.25 แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) และหลังจากสัปดาห์ที่ 2 หลังการทดลองก็ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง

สภาวะความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันพบได้จากระดับเอนไซม์ Superoxide Dismutase (SOD) พบว่าทั้ง 4 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าความเข้มข้นของเอนไซม์ SOD ดังนี้ กลุ่มควบคุมมีค่า 92.52 U/ml กลุ่มที่เสริม CM-SMS 0.25% มีค่า 88.77 U/ml กลุ่มที่เสริม CM-SMS 0.50% มีค่า 90.64 U/ml และกลุ่มที่เสริม CM-SMS 1.00% มีค่า 88.77 U/ml และสภาวะความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันพบได้จากระดับเอนไซม์ Glutathione Peroxidase; GPx ในพลาสมาของสุกร จากตาราง 6 พบว่าทั้ง 4 กลุ่มการทดลองมีกิจกรรมของเอนไซม์ GPx ของกลุ่มที่เสริม CM-SMS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง อย่างไรก็ตามกลุ่มที่ได้รับ CM-SMS 0.25% และ 1.00% มีเกณฑ์การเกิดกิจกรรมดีที่สุดในเมื่อเทียบกับกลุ่มที่มีการเสริม 0.50% และกลุ่มควบคุม

ตาราง 5 The effect of dietary CM-SMS supplementation on growth performance in nursery pigs

Item	CM-SMS (%)				SEM	P
	0	0.25	0.50	1.00		
Body weight (kg)						
BW 21 d old	5.51	5.38	5.47	5.58	0.10	0.64
BW 35 d old	7.79	7.26	8.00	7.81	0.13	0.08
BW 49 d old	13.79	12.78	13.92	13.64	0.22	0.13
Average daily feed intake (g)						
Week 1-2	216.99	163.92	240.97	229.35	11.33	0.07
Week 3-4	533.05	497.21	528.47	496.52	16.76	0.81
Week 1-4	375.02	330.55	384.72	326.93	9.66	0.23
Average daily gain (g)						
Week 1-2	162.79 ^{ab}	134.13 ^b	186.9 ^a	159.13 ^{ab}	6.73	0.03
Week 3-4	428.57	394.44	416.67	417.06	11.16	0.76
Week 1-4	295.68	264.29	301.79	288.10	6.29	0.16
Feed conversion ratio						
Week 1-2	1.36	1.29	1.30	1.47	0.07	0.79
Week 3-4	1.25	1.27	1.26	1.22	0.03	0.96
Week 1-4	1.28	1.25	1.28	1.28	0.03	0.99
Diarrhea incidence (%)	7.40	8.00	4.75	3.64	0.04	0.12

Note: ^{a,b} Different superscripts in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$) among treatment groups.

ตาราง 6 The effect of dietary CM-SMS supplementation on oxidative stress-related enzymes and blood parameters in nursery pigs

Item	CM-SMS (%)				SEM	P
	0	0.25	0.50	1.00		
Superoxide Dismutase ^{1/}	92.52	88.77	90.64	88.77	16.55	0.76
Glutathione Peroxidase ^{1/}	409.02	419.26	388.54	418.44	10.74	0.58
Total blood cell						
Red blood cell ^{2/}	6.50	5.98	6.39	6.14	0.77	0.63
Hemoglobin (g/dL)	11.58	11.12	11.72	11.52	0.22	0.81
Platelet count ^{2/}	3.47	4.86	3.49	3.79	2.52	0.15
White blood cells ^{2/}	1.67	1.81	1.46	1.72	0.73	0.42
Hematocrit (%)	34.00	33.40	35.20	34.60	0.71	0.82
Neutrophil (%)	25.66	24.80	22.60	26.60	0.91	0.46
Lymphocyte (%)	55.40	64.80	66.8	63.60	1.80	0.07
Monocyte (%)	8.20	8.20	8.00	8.20	0.41	0.99
Eosinophil (%)	1.50	1.20	2.40	1.40	0.27	0.44
Basophil (%)	1.00	1.00	0.20	0.00	0.18	0.14

Note: ^{a,b} Different superscripts in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$) among treatments.

^{1/} (U/ml), ^{2/} ($\times 10^6$ /cu.mm)

องค์ประกอบของเลือดของสุกร คือ Red blood cell, Hemoglobin, Platelet count, White blood cell, Hematocrit, Neutrophil, Lymphocyte, Monocyte, Eosinophil และ Basophil พบว่าทั้ง 4 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

สังเกตได้ว่าจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซตในเลือดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะกลุ่มที่เสริม 0.50%

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการเสริม CM-SMS เปรียบเทียบกับ HK L-137 และการเสริม ร่วมกันของ CM-SMS และ HK L-137

จากการศึกษาในสุกรทั้ง 4 กลุ่มการทดลองคือ สุกรกลุ่มควบคุม สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริม CM-SMS สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริม HK L-137 และสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริม CM-SMS กับ HK L-137 เข้าด้วยกัน จากการศึกษาพบว่าสุกรทั้ง 4 กลุ่มการทดลองไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการกินอาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของสุกรอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตาราง 7) ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าในสุกรกลุ่มที่มีการเสริม CM-SMS 0.50% ในอาหาร (กลุ่มที่ 2) มีปริมาณอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวในสัปดาห์ที่ 5-6 ของการทดลอง มีผลดีที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่ม ($P < 0.05$)

สถานะภูมิคุ้มกันในสุกรอนุบาลภายหลังการเสริม CM-SMS และ HK L-137 จากการตรวจสอบความเข้มข้นของอิมมูโนโกลบูลิน (IgM IgG และ IgA) พบว่าทั้ง 4 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 8) จะสังเกตได้ว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ IgG ในสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีการเสริม CM-SMS หรือ HK L-137

ตาราง 7 The effect of dietary CM-SMS and HK L-137 supplementation on growth performances of nursery pigs

Item	Control	CM-SMS ^{1/} 0.50%	HK L-137 ^{2/} 0.02%	CM-SMS+ HK L-137	SEM	P
Body weight (kg)						
BW 21 d old	6.82	6.85	6.63	7.06	0.16	0.86
BW 35 d old	9.18	9.33	9.16	9.33	0.17	0.97
BW 49 d old	14.93	14.69	15.03	15.04	0.25	0.96
BW 63 d old	21.75	21.68	22.21	21.65	0.36	0.95
Average Daily Feed Intake (ADFI, g/d)						
Week 1-2	244.04	233.88	254.98	244.10	17.17	0.98
Week 3-4	554.87	527.64	526.12	450.56	35.67	0.78
Week 5-6	727.55	606.65	731.58	675.43	21.89	0.14
Week 1-6	508.82	456.06	478.09	431.21	16.31	0.52
Average Daily Gain (ADG, g/d)						
Week 1-2	168.58	177.42	180.74	162.50	10.81	0.94
Week 3-4	410.60	382.87	419.05	407.70	9.12	0.56
Week 5-6	487.47	499.32	513.14	472.02	11.78	0.67
Week 1-6	355.55	353.20	370.98	347.41	6.53	0.64
Feed Conversion Ratio (FCR)						
Week 1-2	1.46	1.30	1.71	1.53	0.13	0.77
Week 3-4	1.36	1.35	1.25	1.10	0.08	0.66
Week 5-6	1.48 ^a	1.22 ^b	1.44 ^a	1.44 ^a	0.04	0.03
Week 1-6	1.43	1.29	1.42	1.30	0.05	0.55

Note: ^{a,b} Different superscripts in the same row indicate significant differences (P-value < 0.05) among treatment groups.

^{1/}CM-SMS = Cordyceps militaris spent mushroom substrate, ^{2/}Heat-killed *Lactobacillus plantarum* 137

ตาราง 8 The effect of dietary CM-SMS and HK L-137 supplementation on oxidative stress-related enzymes and immunological function of nursery pigs.

Item	Control	CM-SMS ¹ 0.50%	HK L-137 ² 0.02%	CM-SMS + HK L-137	SEM	P
Immunoglobulin (mg/dL)						
IgM	33.54	32.38	31.36	32.23	13.42	0.45
IgG	217.75	235.25	245.00	231.25	2.20	0.67
IgA	<26.00	<26.00	<26.00	<26.00	0.00	-
Oxidative stress (U/ml)						
Superoxide Dismutase ³	64.61 ^b	92.75 ^a	93.36 ^a	92.36 ^a	55.69	0.03
Glutathione Peroxidase ⁴	598.17	590.82	549.99	476.16	22.84	0.22

Note: ^{a,b} Different superscripts in the same row indicate significant differences (P-value < 0.05) among treatment groups.

^{1/}CM-SMS = Cordyceps militaris spent mushroom substrate, ^{2/}Heat-killed *Lactobacillus plantarum* 137

^{3/}Superoxide Dismutase, ^{4/}Glutathione Peroxidase

สภาวะความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบได้จากการวัดระดับเอนไซม์ SOD มีค่าดังนี้ ระดับฮอร์โมนเอนไซม์ SOD ในพลาสมาของสุกรกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริม CM-SMS กลุ่มที่เสริม HK L-137 และกลุ่มที่เสริม CM-SMS + HK L-137 มีค่าเท่ากับ 64.61, 92.75, 93.36 และ 92.36 U/ml ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีการเสริม CM-SMS และ HK L-137 ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองมีปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์ SOD ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสุกรกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และระดับเอนไซม์ GPx ในพลาสมาของสุกรระยะอนุบาล (ตาราง 8) สุกรกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริม CM-SMS กลุ่มที่เสริม HK L-137 และกลุ่มที่เสริม CM-SMS + HK L-

137 มีค่าเท่ากับ 598.17, 590.82, 549.99 และ 476.16 U/ml ตามลำดับ พบว่าทั้ง 4 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง 9 The effect of dietary CM-SMS and HK L-137 supplementation on hematological changes of nursery pigs

Item	Control	CM-SMS ^{1/} 0.50%	HK L-137 ^{2/} 0.02%	CM-SMS+HK L-137	SEM	P
WBC (x10 ⁴ cel/cu.mm)	2.57	2.02	1.76	1.82	0.18	0.31
RBC (x10 ⁶ /cu.mm)	7.36	7.34	7.58	7.11	0.12	0.65
Hemoglobin (g/dL)	13.06	12.60	13.94	13.02	0.23	0.21
Hct (%)	39.20	37.80	42.00	39.00	0.69	0.17
Platelet count ^{3/}	36.24	38.70	31.14	34.02	3.19	0.88
MCV (fL)	52.60	51.80	53.20	53.00	0.48	0.77
MCH (pg)	18.00	17.00	18.80	18.40	0.25	0.06
MCHC (g/dL)	33.60	33.20	33.00	33.60	0.13	0.28
RDW (%)	21.12	21.38	21.64	20.68	0.54	0.94
Neutrophil (%)	28.60	33.80	28.00	35.40	2.93	0.78
Lymphocyte (%)	62.20	56.60	65.80	54.80	3.19	0.63
Monocyte (%)	7.60 ^a	7.20 ^a	4.00 ^b	7.60 ^a	0.52	0.02
Eosinophil (%)	1.40	2.20	2.20	2.20	0.35	0.83
Basophil (%)	0.20	0.20	0.00	0.00	0.04	0.58

Note: ^{a,b} Different superscripts in the same row indicate significant differences (P-value < 0.05) among treatment groups.

^{1/}CM-SMS = *Cordyceps militaris* spent mushroom substrate, ^{2/}Heat-killed *Lactobacillus plantarum* 137, ^{3/}= Platelet count (cell/cu.mm)

การเปลี่ยนแปลงทางโลหิตวิทยาของสุกรภายหลังได้รับ CM-SMS และ HK L-137 (ตาราง 9) โดยมีองค์ประกอบดังนี้ Red blood cell, Hemoglobin, Platelet count, White blood cell, Hematocrit, Neutrophil, Lymphocyte, Monocyte Eosinophil และ Basophil พบว่า ทั้ง 4 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ยกเว้นในกลุ่มที่มีการเสริม HK L-137 ส่งผลทำให้เม็ดเลือดขาวชนิด Monocyte ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่น



บทที่ 5

บทสรุป

5.1 วิจารณ์ผล

1) ผลของการเสริมฐานถึงเข้าสีทองต่อประสิทธิภาพการผลิตและอัตราการเกิดท้องเสีย

ผลการทดลองการใช้ CM-SMS ในอาหารสุกรอนุบาลทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ที่ 0, 0.25, 0.50 และ 1.00 % ในสูตรอาหารตามลำดับ ไม่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกินอาหารของสุกรอนุบาล และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรวม แต่พบว่ามีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อวันของสุกรอนุบาลในสัปดาห์ที่ 2 ของสุกรกลุ่มที่เสริม CM-SMS ในระดับ 0.50% ในอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากแสดงว่าการเสริม CM-SMS มีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในสุกรระยะอนุบาล ซึ่งสอดคล้องกับ Richert et al. (2018) ที่พบว่าการเสริมผงเห็ดถึงเข้าที่ระดับ 300 และ 600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีผลกระตุ้นประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกร รวมทั้งพบว่ากลุ่มที่มีการเสริม CM-SMS มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรวม (FCR) ของสุกรดีที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่ม เช่นเดียวกับ Boontiam et al. (2019) ที่รายงานว่า การเสริม CM-SMS ต่อเนื่องจนถึงสัปดาห์ที่ 6 จะส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตดีขึ้นในสุกรระยะขุน จากผลการศึกษาเป็นไปได้ว่าการเสริมฐานถึงเข้าสีทองนั้น ให้ผลเชิงบวกทั้งนี้อาจเกิดจากการที่สุกรหย่านมสามารถรับสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และรักษาสถานะสุขภาพของสุกร จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตดีขึ้น อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการศึกษาในอนาคตเพื่อตรวจสอบผลของ CM-SMS เกี่ยวกับการย่อยได้ของสารอาหารในสุกรหย่านม ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าการรวมกันของสารออกฤทธิ์ที่สำคัญใน CM-SMS อาจมีการปรับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตที่สามารถทดแทนอาหารพื้นฐานตามปกติ และอาจได้รับการพิจารณาเพื่อทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะในช่วงระยะหย่านมจนถึงระยะขุน

การเสริม CM-SMS ต่ออัตราการท้องเสียในสุกร จากการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการเสริม CM-SMS ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการท้องเสียในสุกร จึงอาจเป็นไปได้ว่าการเสริมฐานถึงเข้าสีทองในอาหารไม่ส่งผลอัตราการเกิดท้องเสียในลูกสุกรเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีแนวโน้มทำให้เกิดการท้องเสียลดลง ทั้งนี้อาจมีผลเนื่องจากภายในโรงเรือนมีสภาพอากาศและความชื้นต่ำ จึงทำให้การติดเชื้อในตัวสุกรมีน้อยการเกิดท้องเสียจึงมีน้อย โดยการศึกษาอื่นยังพบว่าการเสริมฐานถึงเข้าสีทอง มี

ส่วนช่วยในเรื่องของการลดลงของจุลินทรีย์ก่อโรคเช่น *Clostridium* spp., Coliforms และ *E. coli* และยังช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ภายในไส้ตันไก่ไข่ (ชัยวัฒน์ อาจिन และคณะ, 2559) เช่นเดียวกับ Boontiam et al. (2020) ที่พบว่า การเสริม CM-SMS ในอาหารสุกรขุนไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออาการท้องเสียในสุกรขุน ซึ่งต่างจากบางรายงานที่พบว่าภายหลังการเสริมเห็ดถั่งเช่าสีทองช่วยลดคะแนนถ่ายเหลวของลูกสุกรดูดนม อีกทั้งในแม่สุกรยังแสดงถึงอุบัติการณ์การเกิดท้องเสียที่ต่ำลงด้วย (วัลย์วิณี อาจวิชัย และคณะ, 2562) ซึ่งมีการรายงานเพิ่มเติมพบว่าจุลินทรีย์ในลำไส้มีบทบาทสำคัญในสุขภาพสัตว์และผลผลิต (Crespo et al., 2019) อาจเป็นไปได้ว่าการเสริม CM-SMS จะมีส่วนช่วยในเรื่องของการเพิ่มประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ที่จะเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพและสมรรถภาพการผลิตโดยรวมสุกรหย่านม (Yu et al., 2004) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในส่วนของ CM-SMS ที่อุดมไปด้วยกาแลคโตส ที่สามารถพัฒนาเป็นแหล่งของโพลีแซ็กคาไรด์ในถั่งเช่า และมีประโยชน์สำหรับการทำหน้าที่เป็นพรีไบโอติก (Yu et al., 2004) จากการศึกษาในหลอดทดลองแสดงให้เห็นว่าเชื้อก่อโรคในลำไส้มีแนวโน้มที่จะยึดติดกับลำไส้เล็กกว่าเยื่อผิว ซึ่งช่วยลดการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของเชื้อก่อโรคได้ (Castillo et al., 2008; Liu et al., 2008) การลดจำนวนแบคทีเรียก่อโรคนี้อาจเพิ่มแบคทีเรียที่ส่งเสริมสุขภาพในระบบทางเดินอาหารจุลินทรีย์ประจำถิ่น (Bindels et al., 2015; Markowiak et al., 2018) จากการศึกษาของ Boontiam et al. (2020) การเสริม CM-SMS ยังได้ส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของ *Lactobacillus* spp. ในขณะที่พบการลดลงของ *E. coli* โดยสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Dobson et al., (2012) และ Yang et al. (2015) การเพิ่มประสิทธิภาพของแบคทีเรียเหล่านี้ จึงทำให้เกิดการกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในขณะที่ยับยั้งแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค ดังนั้น การเสริม CM-SMS อาจมีส่วนช่วยในเรื่องของการใช้ควบคุมอาการท้องร่วง เนื่องจากมีศักยภาพในการลดเชื้อ *E. coli* ในอุจจาระในสุกรหย่านมได้สูงกว่าการให้อาหารแบบพื้นฐานเพียงอย่างเดียว

จากการศึกษาของ Cheng et al. (2016) โดยศึกษาการเสริมถั่งเช่าหมัก *Cordyceps militaris* Fermentation (CMF) ในสุกรหย่านม แสดงให้เห็นว่า สามารถเพิ่มน้ำหนักตัวของลูกสุกร และลดอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกร นอกจากนี้ยังพบอีกว่าสารสกัดจากถั่งเช่าสีทองมีผลต่อประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ จากการศึกษาของ Koh et al. (2003) ก่อนหน้านี้ได้รายงานว่า การเสริมด้วยสารสกัดจากถั่งเช่าสีทองในไก่ส่งผลให้จำนวนประชากรของเชื้อ *Salmonella* spp. และ *E. coli* ลดลง และการเพิ่มขึ้นของ *Lactobacillus* spp. ในลำไส้เล็ก นอกจากนี้ CMF ยังแสดง

ให้เห็นกิจกรรมที่ยับยั้งการเจริญเติบโตที่มีศักยภาพต่อแบคทีเรียในลำไส้ที่ทำให้เกิดโรคบางชนิด เช่น *Clostridium* spp. โดยไม่มีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของ *Bifidobacteria* และ *Lactobacillus* ซึ่งเป็นไปได้ว่าสาร Cordycepin ส่งผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในช่องท้อง (Ahn et al., 2000) จากการรายงานของ ชัยวัฒน์ อาจีน และคณะ (2559) พบว่ามีการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Clostridium* spp., Coliforms และ *E.coli* และยังช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในไส้ตันไก่ไข่ ภายหลังการได้รับ CM-SMS เช่นเดียวกับ Boontiam et al. (2020) ที่พบว่าการเสริม CM-SMS ในอาหารสุกรขุนไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออาการท้องเสียในสุกรขุน นอกจากนี้ วัลย์วิณี อาจิวชัย และคณะ (2562) ยังได้รายงานเพิ่มเติมว่าภายหลังการได้รับเห็ดถั่งเช่าสีทอง ในแม่สุกรเลี้ยงลูกพบว่าช่วยลดคะแนนถ่ายเหลวในสุกรระยะระยะคลอดนมได้

2) ผลของการเสริมฐานถั่งเช่าสีทองต่อความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สภาวะความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันพบได้จากระดับเอนไซม์ SOD และ GPx ในพลาสมาของสุกร พบว่าในการทดลองที่ 1 สุกรทั้ง 4 กลุ่มการทดลองมีระดับเอนไซม์ SOD และ เอนไซม์ GPx ไม่แตกต่างกัน โดยทั่วไปการเกิดความเครียดจากปฏิกิริยาของซิเดชัน คือการที่มีการสร้างอนุมูลอิสระมากเกินไปที่ร่างกายจะสามารถทำลายได้หมด หรือความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลง (Schrader & Fahimi, 2006) ซึ่งสามารถเกิดได้ทั้งภายในและภายนอกร่างกาย ซึ่งการตรวจวัดอนุมูลอิสระในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการตรวจวัดอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจน ซึ่งสร้างขึ้นภายในร่างกาย ส่วนใหญ่มาจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน เช่น กระบวนการเบต้าออกซิเดชันของกรดไขมัน เป็นต้น โดยพบว่าในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตมีการหายใจแบบใช้ออกซิเจน และสร้างอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจนตลอดเวลา โดยพบว่าออกซิเจนประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ จะเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ (Kohen & Nyska, 2002) เมื่อเกิดความไม่สมดุลระหว่างการสร้างและการทำลาย จะทำให้อนุมูลอิสระเหล่านี้มีผลทำให้เกิดสภาวะความเครียดออกซิเดชัน จากรายงานของ Ananya (2010) พบว่าสารอะดีโนซีนในเห็ดถั่งเช่าสีทอง มีฤทธิ์ช่วยป้องกันการรวมตัวกันของเกล็ดเลือด และการแข็งตัวของเลือด สิ่งนี้นำไปสู่การขยายหลอดเลือดและการปรับปรุงการไหลเวียนของเลือดภายในร่างกาย และรายงานเพิ่มเติมว่าสารคอร์ไดเซปินยังมีส่วนช่วยในการลดไขมันในเลือดได้ดีด้วย นอกจากนี้ Liu et al. (2016) ยังรายงานว่าภายหลังการได้รับเห็ดถั่งเช่าสีทอง ทำให้ ควบคุมการแสดงออกของ TNF- α , IL-6 และ IL-1 β เพิ่มขึ้นตามระดับของการให้เห็ดถั่งเช่าสีทองเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จึงอาจเป็นไปได้ว่า ในการทดลองนี้การเสริม CM-

SMS มีส่วนช่วยในเรื่องของการทำงานของร่างกาย และสมรรถภาพการเจริญเติบโตที่ดี ซึ่งส่งผลที่ดีต่อการช่วยเรื่องการควบคุมความสมดุลของอนุมูลอิสระในสุกร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการเสริม *Cordyceps militaris* ในแม่สุกรพบว่าปริมาณ SOD ในพลาสมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (วัลย์วิณี อัจฉริยะ และคณะ 2562) และในการทดลองที่ 2 ของการศึกษานี้ กลุ่มที่มีการเสริม CM-SMS มีระดับเอนไซม์ SOD สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งต่างจากการศึกษาของ วัลย์วิณี อัจฉริยะ และคณะ (2562) ที่ศึกษาในแม่สุกรและการทดลองที่ 1 ของการศึกษานี้ พบว่าการเสริม CM-SMS ไม่ส่งผลต่อระดับเอนไซม์ SOD ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าน้ำหนักและสุขภาพสุกรเมื่อเริ่มทำการทดลองพบว่ามีน้ำหนักอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและมีสุขภาพแข็งแรง จึงส่งผลโดยตรงในเรื่องการลดความเครียดในระหว่างการขนส่ง ซึ่งความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเกี่ยวข้องกับโรคต่างๆ และอาจเชื่อมโยงกับการตอบสนองของภูมิคุ้มกันที่ผิดปกติ มักเกิดขึ้นเมื่อการสร้างอนุมูลอิสระในเซลล์ระหว่างกระบวนการเผาผลาญรวมไปถึงกลไกการป้องกันของร่างกาย เมื่อสิ่งนี้เกิดขึ้น อนุมูลอิสระ เช่น รีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ (ROS) และสปีชีส์รีแอกทีฟไนโตรเจน (RNS) จะสะสมและส่งผลที่เป็นอันตรายเช่น ลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (LPO) โปรตีนออกซิเดชัน ความเสียหายของดีเอ็นเอที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้าง การทำงาน หรือแม้แต่ การตายของเซลล์ในเนื้อเยื่อที่จำเป็นต่อการทำงานปกติ (Sordillo, 2009; Smith et al., 2013) สารต้านอนุมูลอิสระ เช่น SOD, CAT และ GSH-Px ร่วมกับผลิตภัณฑ์ LPO เช่น MDA มักได้รับการศึกษาว่าเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของความเสียหายที่เกิดจากความเครียดที่เกิดจากออกซิเดชัน (Malik et al., 2014) การศึกษาของ Liu et al. (2016) พบว่าการเสริม CMP ในปริมาณตั้งแต่ 100 mg/kg/d ในหนูสามารถยับยั้งการสร้าง MDA ในไต หัวใจ และตับได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งบ่งชี้ว่า CMP ปริมาณมากมีประสิทธิภาพกำจัดอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ และผลิตภัณฑ์ของอนุมูลอิสระ และป้องกันความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากการศึกษาของ Birben et al. (2012) รายงานความไม่สมดุลของสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อเพิ่มความเครียดออกซิเดชัน GSH-Px เป็นเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญซึ่งมักพบในเซลล์ ทำงานโดยการแปลงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นน้ำ และจำลองกลูตาไธโอน ออกซิไดซ์ผ่านกลูตาไธโอนไดซัลไฟด์ (Lubos et al., 2011) การลดลงของ GSH-Px นำไปสู่การกระตุ้นของชนิดออกซิเจนที่เกิดปฏิกิริยา ที่เพิ่มขึ้นซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อดีเอ็นเอ (Franco & Cidlowski, 2009) ผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสุกรที่เลี้ยงด้วย CM-SMS 0.50% สามารถต้านทานความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันผ่านการผลิต SOD ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ GPx เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับ

Ramesh et al. (2012) โดยรายงาน ว่า Cordycepin (3'-deoxyadenosine) เพิ่ม GSH-Px ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นเหล่านี้ อาจเป็นสาเหตุของ Cordycepin และ γ -oryzanol ในปริมาณสูงที่มีอยู่ใน CM-SMS ของเห็ดถั่งเช่าสีทองเมื่อเพาะเลี้ยงในข้าว ผลการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Xu et al. (2001) แสดงให้เห็นว่า γ -oryzanol เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่แข็งแกร่งกว่าวิตามินอี อาจเป็นไปได้ว่า สารออกฤทธิ์ทั้งสองชนิดที่แสดงใน CM-SMS มีประสิทธิภาพในการปรับสมดุลสถานะสารต้านอนุมูลอิสระและป้องกันการออกซิเดชันของไขมันในสุกรที่กำลังเติบโต

3) ผลของการเสริมฐานถั่งเช่าสีทองต่อค่าโลหิตวิทยา และ สถานะภูมิคุ้มกัน

สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม CM-SMS สังเกตได้ว่ามีจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ในเลือดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะกลุ่มที่เสริม CM-SMS 0.50% ซึ่งจากรายงานของ Kang et al. (2015) พบว่าถั่งเช่าสีทองช่วยเพิ่มการทำงานของเซลล์ NK cell และการแพร่กระจายของเซลล์เม็ดเลือดขาวและการหลั่งไซโตไคน์ ซึ่งสอดคล้องกับ Boontiam et al. (2020) ที่พบว่าการเสริม CM-SMS กระตุ้นการสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ ทั้งนี้พบว่าในสารออกฤทธิ์ที่สำคัญของฐานถั่งเช่าได้รับการยอมรับ และสามารถนำมาใช้แทนยาปฏิชีวนะได้ และที่สำคัญยังสามารถช่วยทำให้สุกรสุขภาพดี โดยการกระตุ้นการเพิ่มขึ้นของอิมมูโนโกลบูลิน และ ลิมโฟไซต์ ในสุกร สถานะภูมิคุ้มกันในสุกรอนุบาลจากการศึกษานี้ภายหลังการเสริม CM-SMS จากการตรวจสอบความเข้มข้นของอิมมูโนโกลบูลิน (IgM, IgG และ IgA) ผลที่ได้แตกต่างจากการรายงานของ Boontiam et al. (2020) ที่พบว่าการเสริม CM-SMS ในระดับที่สูงขึ้นมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณของอิมมูโนโกลบูลินในสุกร

จากการศึกษาที่ผ่านมาก่อนหน้านี้ อาจจะเห็นได้ว่าอิมมูโนโกลบูลินเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญสำหรับการกำหนดภูมิคุ้มกันทางร่างกายในสุกรทั้ง IgA และ IgG มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการบุกรุกของเชื้อก่อโรค ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงระดับโปรตีนเหล่านี้ อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสุกรและภูมิคุ้มกัน (Hedegaard et al., 2016) จากผลการศึกษาของ Boontiam et al. (2019) แสดงให้เห็นว่าสุกรที่กำลังเติบโตที่ได้รับอาหารเสริม CMS มีการหลั่ง IgA และ IgG มากขึ้น ในขณะที่ปริมาณของลิมโฟไซต์ที่ลดลงเมื่อเทียบกับสุกรที่เลี้ยงด้วยอาหารควบคุม เช่นเดียวกับ Cheng et al. (2016) และ Xiong et al. (2013) พบว่า Cordycepin ที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งผลิตโดยถั่งเช่าสีทองทำหน้าที่กระตุ้นภูมิคุ้มกัน อาจเป็นเพราะวัสดุเพาะ CMS มาจากข้าวของประเทศไทย (Henderson et al., 2012; Yang et al., 2014) มี γ -oryzanol ในปริมาณสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามี

ผลต่อภูมิคุ้มกันโดยการกระตุ้นการผลิต นอกจากนี้พบว่า γ -oryzanol กระตุ้นการหลั่งไซโตไคน์ และลดการอักเสบของเยื่อเมือกที่เกี่ยวข้องกับการติดเชื้อซัลโมเนลลา (Yang et al., 2014; Goodyear et al., 2015) หมายความว่า การเพิ่มขึ้นของฟังก์ชันมาโครฟาจาอาจป้องกันเนื้อเยื่อจากความเสียหาย ในสุกรที่กำลังเติบโตที่เลี้ยงด้วย CMS ระหว่างการบุกรุกของแบคทีเรียก่อโรค IgA และ IgG มีบทบาทสำคัญในการสร้างภูมิคุ้มกันทางร่างกายในสัตว์

การผลิตอิมมูโนโกลบูลินจะลดลงในช่วงระยะหย่านม (Tao et al., 2016) การผลิตโปรตีนระยะเฉียบพลันยังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงการเจริญเติบโตของสุกร โดยเฉพาะอย่างยิ่งฮีโมโกลบินในซีรัม (Sauerwein et al., 2005) ซึ่งทำให้การทำงานของสิ่งกีดขวางในลำไส้ลดลงและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสุกรลดลง (Hiss et al., 2011) แสดงว่าความเข้มข้นของ IgA ที่เพิ่มขึ้นในสุกรหย่านมที่ได้รับการเสริม เห็ดถั่งเช่าสีทอง ซึ่งอธิบายโดยการเสริมถั่งเช่าสีทองอาจได้รับอิทธิพลจากปริมาณ Mannan oligosaccharides (MOS) ที่มากขึ้น การศึกษาก่อนหน้านี้ได้แสดงให้เห็นผลในเชิงบวกของอาหารที่เสริมด้วย MOS ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการหลั่งของ IgA (Nochta et al., 2009) เป็นผลมาจากการปรับการตอบสนองของภูมิคุ้มกันในท้องถิ่นผ่านทางตัวรับที่มีผลผูกพันกับ Mannan oligosaccharides ซึ่งอยู่ในพื้นที่ผิวของเซลล์เยื่อเมือก (Watzl et al., 2005) จากการศึกษาของ Davis et al. (2004) พบว่าการเสริมแมนแนนที่มีฟอสโฟรีเลต (2 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร) เปลี่ยนแปลง T lymphocytes ของสุกรหย่านมหลังจากให้อาหาร 21 วัน การศึกษาดังกล่าวยังมีการตั้งข้อสังเกตว่าการหลั่งของโปรตีนระยะเฉียบพลันเหล่านี้ลดลงโดยเสริมถั่งเช่าสีทอง ได้อธิบายไว้ว่าอาจเป็นเพราะ CM-SMS มีบทบาทสำคัญในการปรับการทำงานของมาโครฟาจาผ่านการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Cheng et al., 2016; Shin et al., 2010) การกระตุ้นนี้จะเพิ่มอนุมูลอิสระของออกซิเจนซึ่งมีฤทธิ์ต้านจุลชีพที่มีประสิทธิภาพ สารเหล่านี้สามารถสังเคราะห์เปปไทด์ต้านจุลชีพ เพื่อกินปรสิตภายนอกเซลล์และป้องกันสัญญาณการอักเสบ (Hiss et al., 2011) นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริม CM-SMS ที่มีสูตรข้าวหอมมะลิ มีแกมมา-โอริซานอลน้ำหนักแห้ง 48.32 กรัมต่อ 100 กรัมในการเพาะเห็ดถั่งเช่าสีทอง มีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันที่อาจป้องกันการบุกรุกของแบคทีเรีย อาจเป็นไปได้สำหรับ CM-SMS ที่จะเปลี่ยนการทำงานของสิ่งกีดขวางของเยื่อลำไส้ ดังนั้นจึงยับยั้งการอักเสบต่อการบุกรุกของเชื้อโรค ซึ่งสอดคล้องกับ *E. coli* ที่ต่ำกว่า ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของ IgA และการลดการอักเสบของไซโตไคน์ จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการฟื้นฟูสถานะภูมิคุ้มกันของสุกรหย่านม (Yang et al., 2014)

4) ผลของการเสริมอิมมูโนโอบีโอดีต่อสมรรถภาพภาพการผลิต ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ค่าโลหิตวิทยา และ สถานะภูมิคุ้มกัน

จากการศึกษาดังกล่าวพบว่า การเสริม *Lactobacillus plantarum* L-137 (HK L-137) ที่ถูกทำให้ตายด้วยความร้อน ไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตโดยรวมของสุกร โดยปกติแล้วอิมมูโนโกลบูลิน คือเป็นตัวบ่งบอกระดับของแอนติบอดีในเลือด เพื่อป้องกันร่างกายจากแบคทีเรียไวรัส และสารก่อภูมิแพ้ ซึ่งในสภาพโรงเรือนสุกรที่ทำการศึกษามีอากาศถ่ายเทสะดวก ความชื้นภายในโรงเรือนต่ำ และมีอุณหภูมิตามความต้องการของสุกร จึงอาจเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถทำให้แอนติเจนมากพอที่จะสามารถก่อภูมิคุ้มกันชนิดนี้ขึ้นมา จึงทำให้การทดลองที่ 2 มีการเกิดกิจกรรมการกระตุ้นภูมิคุ้มกันทั้ง 4 กลุ่มไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ พัชรี พัดขำ และคณะ (2561) โดยทำการศึกษาในสุกรระยะระยะจนถึงหย่านม พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถช่วยเสริมสมรรถภาพการเจริญเติบโตในสุกรหลังหย่านมได้ และได้รายงานเพิ่มเติมว่า ภายหลังจากได้รับ HK L-137 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความสูงของวิลโล ความลึกของครีป สัดส่วนความสูงของวิลโลต่อความลึกของครีป และพื้นที่ของวิลโล (พัชรี พัดขำ, 2562) นอกจากนี้ยังเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Incharoen et al. (2019) โดยการศึกษาการให้อาหารเสริม HK L-137 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในไก่เนื้ออายุ 5 ถึง 22 วันสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้ยังรายงานเพิ่มเติมว่า HK L-137 ยังช่วยเพิ่มความสูงของวิลโลและความสูงของวิลโลต่ออัตราส่วนความลึกของครีป รวมทั้งกระตุ้นการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน ทั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า HK L-137 อาจเป็นสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันที่เป็นประโยชน์และมีศักยภาพในการทดแทนสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของยาปฏิชีวนะได้ในอนาคต

การหย่านมลูกสุกรในสภาวะความเครียดสามารถทำให้เกิดการเจริญเติบโตที่ลดลง และภูมิคุ้มกันไม่ดีที่ทำให้ลูกสุกรมีแนวโน้มที่จะเกิดโรคเช่นโรคท้องร่วง (Hohenshell et al., 2000) ผลของการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริม HK L-137 ในอาหารพื้นฐานของลูกสุกรหย่านมสามารถเพิ่มอัตราการเจริญโตเฉลี่ยได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดระยะเวลาการทดลอง เช่นเดียวกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม HK L-137 โดยการประเมินซึ่งบ่งชี้ถึงคุณสมบัติของโพรไบโอติกที่อาจเกิดขึ้น โดยหน้าที่ที่สำคัญของลำไส้เล็กที่ทำหน้าที่ดูดซึมและขนส่งของสารอาหาร และสถานะสุขภาพ สามารถดูได้จากความสูงของวิลโล อัตราส่วนของวิลโลของลำไส้เล็ก (Pluske et al., 1997) อย่างไรก็ตามจากรายงานคุณสมบัติของ HK L-137 ที่มีส่วนช่วยในเรื่องของระบบไหลเวียนเลือดที่ดีขึ้นนั้นจึงอาจมีส่วน

ทำให้ระดับของเอนไซม์ SOD ในเลือดสุกรอนุบาลสูงขึ้น ซึ่งเช่นเดียวกับ Dawood et al. (2019) ที่ศึกษาการเสริม HK L-137 ในปลาไนล์ พบว่าการเสริม HK L-137 ช่วยลดสภาวะความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ Uchinaka et al. (2018) รายงานว่าการเสริม HK L-137 ช่วยลดการอักเสบ และเพิ่มความไวของอินซูลินต่อการส่งสัญญาณในเนื้อเยื่อไขมันทั้งอวัยวะภายใน และใต้ผิวหนังในหนู ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ากลุ่มที่มีการเสริม HK L-137 จะมีส่วนช่วยในเรื่องของการลดสภาวะความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าทุกกลุ่ม

จากผลของระดับความเข้มข้นเอนไซม์ GPx พบว่าทั้ง 4 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกันในการทดลองที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในการทดลองที่ 1 แต่แตกต่างกับรายงานของ Boontiam et al. (2019) และ Dawood et al. (2019) ทั้งนี้ เอนไซม์ GPx เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายสัตว์สามารถสร้างขึ้นได้เองเพื่อช่วยปกป้องเซลล์จากการทำลายโดยสารแปลกปลอมของระบบสิ่งมีชีวิต (Xenobiotics) จึงอาจเป็นไปได้ว่าการเสริม CM-SMS หรือ HK L-137 จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของกิจกรรมของ GPx ในสุกรอนุบาล เนื่องจากเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติของสุกร ทั้งนี้อนุมูลโกลบูลินซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกายในสัตว์ อาจเป็นไปได้ว่าระดับของ HK L-137 ที่ทำการศึกษายังไม่เหมาะสมต่อสุกรที่เลี้ยงในสภาวะแวดล้อมที่คล้ายกัน อย่างไรก็ตามการผลิตอนุมูลโกลบูลินจะลดลงในช่วงหย่านม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของสุกร (Tao et al., 2016) และมีผลทำให้การทำงานและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสุกรลดลง การเปลี่ยนแปลงทางโลหิตวิทยาของสุกรภายหลังได้รับ HK L-137 พบว่าในกลุ่มที่มีการเสริม HK L-137 ส่งผลทำให้เม็ดเลือดขาวชนิด Monocyte ลดลง จากคุณสมบัติของ HK L-137 ที่รายงานว่าเป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้ตายแล้วนั้น เมื่อเข้าไปยังบริเวณเยื่อบุลำไส้ แล้วไปสัมผัสกับบริเวณเซลล์ต่างๆของเยื่อบุลำไส้ HK L-137 จะส่งผลให้เกิดการกระตุ้น M-Cell ที่อยู่ในเยื่อบุลำไส้ จากนั้น M-Cell จะทำหน้าที่คอยจับแอนติเจน หรือสิ่งแปลกปลอม HK L-137 จึงเป็นตัวกลางในการกระตุ้นและเหนี่ยวนำของการแสดงออก IL-2, IFN- β และ T-Cell (Zhong et al., 2014) ซึ่งโดยปกติแล้ว IL-2 มีหน้าที่ในการกระตุ้นการสร้างมาโครฟาจ (Macrophage) สำหรับเพื่อผลิตเซลล์ภูมิคุ้มกันร่างกาย ซึ่งการสร้างมาโครฟาจส่วนใหญ่นั้นเป็นผลจากการที่โมโนไซต์นั้นถูกขนส่งเข้าสู่บริเวณของเนื้อเยื่อเซลล์ เมื่อโมโนไซต์สัมผัสกับเซลล์ต่างๆ ก็จะกลายเป็นมาโครฟาจทันที จึงอาจเป็นไปได้ว่าการเสริม HK L-137 ในการทดลองที่ 2 นี้ มีผลทำให้ช่วยเพิ่มความไวในการขนส่งเม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์ไปยังเนื้อเยื่อต่างๆของสุกร จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้จำนวนโมโนไซต์ในเลือดสุกรกลุ่มที่ได้รับ HK L-

137 นั้นมีปริมาณที่น้อยกว่ากลุ่มการทดลองอื่น ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ พัชรี พัดขำ และคณะ, (2561) ที่ทำการศึกษาร่วมกับประกอบของเลือดสุกรระยะชุดนม พบว่ามีปริมาณเกร็ดเลือดที่สูงขึ้นในกลุ่มของสุกรที่มีการเสริม HK L-137 นอกจากนี้การศึกษาของ Uchinaka et al. (2018) รายงานว่าการเสริม HK L-137 ช่วยลดการอักเสบของเนื้อเยื่อไขมันและกำจัดสิ่งแปลกปลอมและเซลล์ที่ตายแล้วภายในเซลล์ ซึ่งสัมพันธ์กับคุณสมบัติของ HK L-137 ที่พบว่ามีฤทธิ์ในการเหนี่ยวนำทำให้เกิดการแสดงออกของ IL-2 ในหนู ซึ่งมีผลต่อการติดต่อกับเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดต่างๆ ภายในเซลล์ แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในครั้งนี้ก็ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการสร้างเม็ดเลือดขาว เม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และค่าเลือดอื่นๆ ในสุกรอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการศึกษาในการทดลองที่ 1 นอกจากนี้รายงานการศึกษาร่วมกับเสริมในหนูของ Murosaki et al. (1998) แสดงให้เห็นว่าระดับ IgE ในพลาสมาของหนู ถูกยับยั้งอย่างมีนัยสำคัญโดยการฉีด HK L-137 ซึ่งสามารถกระตุ้นการผลิต IL-12 จากมาโครฟาจ การฉีด HK L-137 ตั้งแต่เริ่มให้อาหารสามารถยับยั้งการผลิต IgE ควบคู่ไปกับการเพิ่มระดับ IgG แต่ไม่มีผลต่อการสมรรถภาพการผลิต จากรายงานการศึกษาของ Bode & Albr. (2012) พบว่ากลุ่มที่มีการเสริม HK L-137 มีปริมาณ IgG ลดลงอย่างมาก ซึ่งเป็นแอนติบอดีที่สำคัญที่สุดในการเลี้ยงสัตว์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการตอบสนองภูมิคุ้มกันที่ยั่งยืนต่อการติดเชื้อ และ IgA เป็นองค์ประกอบหลักของเยื่อเมือกในระบบการป้องกัน (Puri et al., 1996) นอกจากนี้ไซโตไคน์มีบทบาทสำคัญในการปรับการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน เช่น IL-2 ที่หลั่งโดย T-lymphocytes ที่กระตุ้น สามารถปรับการกระตุ้นและการแพร่กระจายของ T-lymphocytes เพิ่มเติม และมีส่วนร่วมในการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน IL-4 มีบทบาทด้านการอักเสบ หรือยับยั้งการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันผ่านการยับยั้งเซลล์ แมคโครฟาจและนิวโทรฟิล ในการศึกษานี้ใช้ HK L-137 เป็นสารเสริมในอาหารสำหรับลูกสุกรอนุบาล ซึ่งพบว่าระดับของ IgG เพิ่มขึ้น อาจเป็นไปได้ว่า HK L-137 เป็นตัวบ่งชี้ถึงการป้องกันภูมิคุ้มกันที่มีประสิทธิภาพสำหรับลูกสุกรอนุบาล

แต่อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปจากโครงสร้างของอะตอมจะมีอิเล็กตรอนชนิดคู่ แต่เมื่อไรก็ตาม ที่อะตอมหรือโมเลกุลนั้นมีอิเล็กตรอนเดี่ยว จะทำให้อิเล็กตรอนหรือโมเลกุลนั้นไม่เสถียร และจะมีสถานะเป็นอนุมูลอิสระ เมื่ออยู่ในสถานะที่ไม่เสถียรอนุมูลอิสระเหล่านี้จะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับอะตอมหรือโมเลกุลอื่นสูง ในการดึงหรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน เพื่อให้อยู่ในสถานะที่เสถียร ซึ่งการสร้างอนุมูลอิสระเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ส่วนใหญ่ เกิดที่ลูกโซ่ของการขนส่งอิเล็กตรอน การกลืนกินเซลล์เม็ดเลือดขาว การสร้างสังเคราะห์โพสตาแกนดิน และในระบบไซโตโครม P-450

(Bagchi & Puri, 1998) อาจเป็นไปได้ว่า HK L-137 ที่เราทำการเสริมในอาหารสุกรนั้น อาจมีส่วนช่วยในเรื่องของระบบภูมิคุ้มกัน เพราะช่วยในเรื่องของการกระตุ้นการหลั่งสารสำคัญต่างๆที่มีส่วนช่วยในระบบภูมิคุ้มกัน แต่ในทางกลับกัน HK L-137 นั้น อาจจะเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งจะมีส่วนในการเพิ่มทำให้การเกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้นในสุกรจึงทำให้ผลการศึกษาที่ 2 มีระดับของเอนไซม์ GPx ในกลุ่มที่มีการเสริม HK L-137 นั้นลดลง

5.2 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของการเสริม CM-SMS ในอาหารสุกรอนุบาล สำหรับใช้เป็นทางเลือกเป็นสารเสริมที่ผสมในอาหารสุกรอนุบาล เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สามารถเป็นอีกหนึ่งในสิ่งที่สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตในสุกรอนุบาล นอกจากนี้ยังได้นำส่วนของ HK L-137 มาเพื่อเพิ่มสมรรถภาพในการเจริญเติบโตของสุกรอนุบาล จากผลการศึกษาทั้ง 2 การทดลองจึงสามารถสรุปการทดลองได้ดังนี้

- 1) การเสริม CM-SMS 0.50% ในอาหารสุกรอนุบาลทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่อวันของสุกรเพิ่มขึ้นในช่วง 2 สัปดาห์หลังหย่านม
- 2) การเสริม CM-SMS 0.50% มีส่วนทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซด์ (Lymphocyte) เพิ่มขึ้น
- 3) การเสริม CM-SMS ในอาหารสุกรอนุบาลช่วยลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการเพิ่มขึ้นของระดับเอนไซม์ SOD ในสุกร
- 4) การเสริม HK L-137 ในอาหารสุกรอนุบาลไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสุกร โดยการเพิ่มขึ้นของระดับเอนไซม์ SOD ในสุกร แต่ส่งผลทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซด์ (Monocyte) ลดลง
- 5) CM-SMS และ HK L-1375 สามารถเป็นสารเสริมที่มีศักยภาพในอาหารสุกรอนุบาลได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น อาจจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาระดับที่เหมาะสม ระยะเวลาในการทดลองอาจจะต้องเพิ่มขึ้นจนถึงระยะขุน และเก็บข้อมูลเชิงลึก เช่น การตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์และแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ การศึกษาระบบสรีระวิทยาทางเดินอาหาร และการตรวจวิเคราะห์ดูการเปลี่ยนแปลงของยีนในกลุ่มไซโตไคน์ เป็นต้น



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- กนกวรรณ จารุกاجر วิไลดา สินทร์ และ ชรินญา พิมพ์สอน. (2557). ความสัมพันธ์ของภาวะเครียด ออกซิเดชัน และภาวะไขมันในเลือดสูง. *วารสารพิษวิทยาไทย*. 29(1-2) : 57-69
- กระสินธ์ นพรัตน์ไมตรี. (2551). ผลของสมุนไพรฟ้าทลายโจรและโพลต่อสมรรถนะการผลิต การย่อย ได้ของโภชนะ และสุขภาพในลูกสุกรหย่านม. *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชา สัตวศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.*
- กลุ่มธุรกิจปศุสัตว์. (2554). *สุกรอนุบาล*. สืบค้น 20 กันยายน 2563, จาก <https://www.spmgroup-thailand.com/content/992/สุกรอนุบาล>
- กัญญภัท สิริรุ่งวนิช สยมภู โพธิ์ขำ ปิยะธิดา ใจภักดี และ ปิยนารถ บุญภา. (2557). *บทเรียนออนไลน์เรื่อง ระบบภูมิคุ้มกัน*. สืบค้น 22 กันยายน 2563, จาก <http://cms576.bps.in.th/group1/immune-system>
- จีเอ็มโอ ไทยแลนด์. (2560). *เผยต้นกำเนิดสมุนไพร เห็ดตั้งถึงเช่า พร้อมสรรพคุณและประโยชน์*. สืบค้น 22 กันยายน 2563, จาก <https://www.omgthailand.net/cordyceps-origin-and-benefits/>
- ชนินันท์ สนธิไชย อัญชลี ศิริพิทยาคุณกิจ ศยามล รมพิพัฒน์. (ม.ป.ป.). *ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการสร้างเสริมภูมิคุ้มกันโรค*. สถาบันวัคซีนแห่งชาติ (องค์การมหาชน). สืบค้น 22 กันยายน 2563, จาก <http://guruvaccine.com/elearn/1-3-innate-immunity/>
- ชัยวัฒน์ อาจिन วรณพร ทะพิงค์แก ธัญญา ทะพิงค์แก ประจิตต์ อุดหนุน และ มงคล ยะไชย. (2558). ผลของการเสริมวัสดุเพาะเห็ดตั้งเช่าสีทองในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตและคอเลสเตอรอลในไข่แดงของไก่ไข่. *เชียงใหม่: วารสารสัตวศาสตร์แห่งประเทศไทย*.
- ชัยวัฒน์ อาจिन มงคล ยะไชย ธัญญา ทะพิงค์แก ประจิตต์ อุดหนุน และ วรณพร ทะพิงค์แก. (2559). ผลของการเสริมวัสดุเพาะเห็ดตั้งเช่าสีทองในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและจุลินทรีย์ในไส้ตันของไก่ไข่. *เชียงใหม่: เกษตร(2)*, 647-653.
- ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ. (2562). ผลการทดสอบสารออกฤทธิ์ฐานเห็ดตั้งเช่า. *บริษัท ไฮคิวด์ส์ โปรดักท์ จำกัด*.
- ดิ ส ไท ย . (ม .ป .ป .). *คอร์ไดเซปิน* . สืบค้น 28 มิถุนายน 2564 , จาก <https://www.disthai.com/17275725/คอร์ไดเซปิน>
- ธัญญา ทะพิงค์แก. 2555. การศึกษาการเพาะเลี้ยงเห็ดสมุนไพร ถังเช่าสีทอง และการนำไปใช้ประโยชน์. *เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่*.

- ธัญญา ทะพิงค์แก. (2555). ผลของวิธีการเพาะเลี้ยงต่อการผลิตสารคอร์โดเซปินในเห็ดถั่งเช่าสีทอง.
เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- นพมาศ สุนทรเจริญนนท์ และ ธิดารัตน์ จันทร์ตอน. (2556). “ถั่งเช่า” ช่วยเพิ่มสมรรถภาพ จริงหรือ? . *สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.*
- นิรัตน์ ฮ้อยซี่. (2559). คู่มือการจัดการธุรกิจสายสุกร. *บริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด (มหาชน).*
- ประภาพรรณ ซอหะซัน. (2559). การอบรมเชิงปฏิบัติการ การเพาะเห็ดถั่งเช่าสีทอง. ในงานวิจัยและส่งเสริมวิชาการ ด้านบริหารงานวิจัยและบริการวิชาการ. *สำนักวิชาสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยมหิดล.*
- ปริญญา หนูพันธ์ ปิ่น จันจุฬา และ สุธา วัฒนสิทธิ์. (2562). ผลของการใช้วัสดุเพาะเห็ดถั่งเช่าสีทองต่อสมรรถภาพการผลิตและเมแทบอลิซึมในกระแสน้ำของไก่เนื้อ. *แก่นเกษตร 47 (ฉบับพิเศษ 1), 423-428.*
- ปริญญา จันทรศรี. (ม.ป.ป.). *สิ่งที่ควรรู้ก่อนจะเพาะเห็ดถั่งเช่าเป็นอาชีพ.* สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สืบค้น 20 กันยายน 2563, จาก https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=75
- พัชรี พัดขำ วันดี ทาตระกูล สนธยา นุ่มท้วม ทศพร อินเจริญ รังสรรค์ เจริญสุข และนุจิรา ทักษิณานันต์. (2561). ผลของอิมมูโนไบโอติก ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และภูมิคุ้มกันในสุกรระยะดูดนมถึงอนุบาล. *วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 35(2).* ฉบับพิเศษ 2, 82-88.
- พัชรี พัดขำ. (2562). ผลของ Heat kill *Lactobacillus plantarum* L- 137 ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และภูมิคุ้มกันในสุกรระยะดูดนมถึงระยะเล็ก (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต).
 พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร
- มงคล ยะไชย วรณพร ทะพิงค์แก ธัญญา ทะพิงค์แก, และ ศุภชัย ศรีธวังศ์, 2558. ผลของการเสริมวัสดุเพาะเห็ดถั่งเช่าสีทองในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตและจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ของไก่เนื้อ. *วารสารสัตวศาสตร์แห่งประเทศไทย. 2: 267-270.*
- วันดี ทาตระกูล. (2546). สุกรและการผลิตสุกร. *เชียงใหม่: งานส่งเสริมการวิจัยและตำรา โครงการตำรา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.*
- วัลย์วิณี อาจิวชัย, ยุวเรศ เรืองพานิชย์ และ นิตติพงศ์ หอมวงษ์. (2562). ผลของการเสริม *Cordyceps militaris* ในอาหารต่อประสิทธิภาพรวมถึงภาวะออกซิเดชันของแม่สุกร และประสิทธิภาพการผลิตลูกสุกรดูดนม. *แก่นเกษตร 47 ฉบับพิเศษ 2.*

- สมปราวณา วงเขียว. (2559). ผลการใช้วัสดุเหลือใช้จากการเพาะเห็ดถึงเข้าสู่ห้องต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ (รายงานการวิจัย). อุบลราชธานี: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย.
- สมาคมผู้เลี้ยงสุกรแห่งชาติ. สุกรอนุบาลและขุน ทำอย่างไร...ให้ประสิทธิภาพสูง. (ม.ป.ป.) สืบค้น 6 กรกฎาคม 2564, จาก <https://www.swinethailand.com/15901431/> สุกรอนุบาลและขุน-ทำอย่างไรให้ประสิทธิภาพสูง
- สถาบันวัคซีนแห่งชาติ (องค์การมหาชน). (ม.ป.ป.). เสริมภูมิคุ้มกันโรค. สืบค้น 20 กันยายน 2563, จาก <http://guruvaccine.com/elearn/1-3-innate-immunity>.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐาน ชีววิทยา สำหรับนักเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6. (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ.
- อรรวดี หาญวิวัฒน์วงศ์. วิทยาภูมิคุ้มกันพื้นฐานและคลินิก. (2551). (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Bagchi, K., & Puri, S. (1998). Free radicals and antioxidants in health and disease: A review. *EMHJ - Eastern Mediterranean Health Journal*, 4 (2), 350-360, 1998.
- Ahn, Y. J., Park, S. J., Lee, S. G., Shin, S. C., & Choi, D. H. (2000). Cordycepin: Selective growth inhibitor derived from liquid culture of *Cordyceps militaris* against *Clostridium* spp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(7), 2744–2748.
- Ames, B. N., Shigenaga, M. K., & Hagen, T. M. (1993). Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90(17), 7915–7922.
- Ananya Mandal. (2010). *What is Adenosine*. Retrieved June 28, 2021, from <https://www.news-medical.net/health/What-is-Adenosine.aspx>
- Arimori, Y., Nakamura, R., Hirose, Y., Murosaki, S., Yamamoto, Y., Shidara, O., Ichikawa, H., & Yoshikai, Y. (2012). Daily intake of heat-killed *Lactobacillus plantarum* L-137 enhances type I interferon production in healthy humans and pigs. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 34(6), 937–943.
- Aruoma, O. I. (1998). Free radicals, oxidative stress, and antioxidants in human health and disease. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(2), 199–212.

- Barriuso, B., Ansorena, D., Calvo, M. I., Cavero, R. Y., & Astiasarán, I. (2015). Role of *Melissa officinalis* in cholesterol oxidation: Antioxidant effect in model systems and application in beef patties. *Food Research International*, *69*, 133–140.
- Bindels, L. B., Delzenne, N. M., Cani, P. D., & Walter, J. (2015). Towards a more comprehensive concept for prebiotics. *Nature Reviews. Gastroenterology & Hepatology*, *12*(5), 303–310.
- Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. *The World Allergy Organization Journal*, *5*(1), 9–19.
- Bode, J. G., Albrecht, U., Häussinger, D., Heinrich, P. C., & Schaper, F. (2012). Hepatic acute phase proteins—Regulation by IL-6- and IL-1-type cytokines involving STAT3 and its crosstalk with NF- κ B-dependent signaling. *European Journal of Cell Biology*, 496–505.
- Boontiam, W., Wachirapakorn, C., & Wattanachai, S. (2019). Growth performance and hematological changes in growing pigs treated with *Cordyceps militaris* spent mushroom substrate. *Veterinary World*, *13*(4), 768–773.
- Boontiam, W., Wachirapakorn, C., & Wattanachai, S. (2020). Growth performance and hematological changes in growing pigs treated with *Cordyceps militaris* spent mushroom substrate. *Veterinary World*, *13*(4), 768–773.
- Boudry, G., Péron, V., Le Huërou-Luron, I., Lallès, J. P., & Sève, B. (2004). Weaning induces both transient and long-lasting modifications of absorptive, secretory, and barrier properties of piglet intestine. *The Journal of Nutrition*, *134*(9), 2256–2262.
- Cai, S., B.H., Bay, Y.K., Lee, J., Lu, & R. Mahendran. (2010). Live and lyophilized *Lactobacillus* species elicit differential immunomodulatory effects on immune cells. *FEMS Microbiology Letters*, *302*, 189–196.
- Campbell, J. M., Crenshaw, J. D., & Polo, J. (2013). The biological stress of early weaned piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *4*: 19.
- Castillo, M., Martín-Orúe, S. M., Taylor-Pickard, J. A., Pérez, J. F., & Gasa, J. (2008). Use of mannanoligosaccharides and zinc chelate as growth promoters and

- diarrhea preventative in weaning pigs: Effects on microbiota and gut function. *Journal of Animal Science*, 86(1), 94–101.
- Cheng, Y. H., Wen, C.-M., Dybus, A., & Proskura, W. (2016). Fermentation products of *Cordyceps militaris* enhance performance and modulate immune response of weaned piglets. *South African Journal Of Animal Science*, 121–128.
- Chen, H., Zhang, S., Park, I., & Kim, S. W. (2017). Impacts of energy feeds and supplemental protease on growth performance, nutrient digestibility, and gut health of pigs from 18 to 45 kg body weight. *Animal Nutrition*, 3(4), 359–365.
- Chidambaram, J., & Venkatraman, A. C. (2010). *Cissus quadrangularis* stem alleviates insulin resistance, oxidative injury and fatty liver disease in rats fed high fat plus fructose diet. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 48(8-9), 2021–2029
- Choe, J., Kim, K. S., Kim, H. B., Park, S., Kim, J., Kim, S., Kim, B., Cho, S. H., Cho, J. Y., Park, I. H., Cho, J. H., & Song, M. (2017). Effects of protease on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *South African Journal of Animal Science*, 47(5), 697–703.
- Collins, C. L., Pluske, J. R., Morrison, R. S., McDonald, T. N., Smits, R. J., Henman, D. J., Stensland, I., & Dunshea, F. R. (2017). Post-weaning and whole-of-life performance of pigs is determined by live weight at weaning and the complexity of the diet fed after weaning. *Animal Nutrition*, 3(4), 372–379.
- Crespo, P. D., Migura, G. L., Estellé, J., Criado, M. L., Revilla, M., Castelló, A., Muñoz, M., García, C. J. M., Fernández, A. I., Ballester, M., & Folch, J. M. (2019). Association between the pig genome and its gut microbiota composition. *Scientific Reports*, 9(1), 8791.
- Cronstein, B. (2010). How does methotrexate suppress inflammation? *Clinical and Experimental Rheumatology*, 28(5), S21-23.
- Cui, Y., Qi, S., Zhang, W., Mao, J., Tang, R., Wang, C., Liu, J., Luo, X. M., & Wang, H. (2019). *Lactobacillus reuteri* ZJ617 Culture Supernatant Attenuates Acute

- Liver Injury Induced in Mice by Lipopolysaccharide. *The Journal of Nutrition*, 149(11), 2046–2055.
- Daiponmak, W., Senakun, C., & Siriamornpun, S. (2014). Antiglycation capacity and antioxidant activities of different pigmented Thai rice. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(8), 1805-1810
- David E. Sadava, David M. Hillis, H. Craig Heller, and May Berenbaum. (2012). Life: The Science of Biology. (10th Edition). USA: W. H. Freeman
- Davis, M. E., Maxwell, C. V., Erf, G. F., Brown, D. C., & Wistuba, T. J. (2004). Dietary supplementation with phosphorylated mannans improves growth response and modulates immune function of weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 82(6), 1882–1891.
- Dawood, M., Magouz, F., Salem, M., & Abdel-Daim, H. (2019). Modulation of digestive enzyme activity, blood health, oxidative responses, and growth-related gene expression in GIFT by heat-killed *Lactobacillus plantarum* (L-137). *Aquaculture*, 505, 127-136
- de Grau, A., Dewey, C., Friendship, R., & de Lange, K. (2005). Observational study of factors associated with nursery pig performance. *Canadian Journal of Veterinary Research = Revue Canadienne De Recherche Veterinaire*, 69(4), 241–245.
- Dobson, A., Cotter, P. D., Ross, R. P., & Hill, C. (2012). Bacteriocin production: A probiotic trait? *Applied and Environmental Microbiology*, 78(1), 1–6.
- Dong, J., Peng, T., Gao, J., Jia, X., Yan, G., & Wang, Y. (2018). A pilot and comparative study between pathological and serological levels of immunoglobulin and complement among three kinds of primary glomerulonephritis. *BMC Immunology*, 19(1), 18.
- Douglas, S., Edwards, S., Sutcliffe, E., Knap, P., & Kyriazakis, I. (2013). Identification of risk factors associated with poor lifetime growth performance in pigs. *Journal of Animal Science*, 91(9), 4123–4132.
- Douglas, S. L., Edwards, S. A., & Kyriazakis, I. (2014). Management strategies to improve the performance of low-birth-weight pigs to weaning and their long-term consequences. *Journal of Animal Science*, 92(5), 2280–2288.

- Faccin, J. E., Laskoski, F., Cemin, H. S., Mellagi, A., Bernardi, M., Dvm, R. R. U., Bortolozzo, F. P., & Tokach, M. (2020). Evaluating the impact of weaning weight and growth rate during the first week post weaning on overall nursery performance. *Undefined*.
- Faghihi, G., Iraj, F., Rajae Harandi, M., Nilforoushzadeh, M.-A., & Askari, G. (2013). Comparison of the efficacy of topical minoxidil 5% and adenosine 0.75% solutions on male androgenetic alopecia and measuring patient satisfaction rate. *Acta Dermatovenerologica Croatica: ADC*, *21*(3), 155–159.
- Franco, R., & Cidlowski, J. A. (2009). Apoptosis and glutathione: Beyond an antioxidant. *Cell Death and Differentiation*, *16*(10), 1303–1314.
- Ferenc, K., Pietrzak, P., Godlewski, M. M., Piwowarski, J., Kiliańczyk, R., Guilloteau, P., & Zabielski, R. (2014). Intrauterine growth retarded piglet as a model for humans—Studies on the perinatal development of the gut structure and function. *Reproductive Biology*, *14*(1), 51–60.
- Fischer, I. P., Irmeler, M., Meyer, C. W., Sachs, S. J., Neff, F., Hrabe de Angelis, M., Beckers, J., Tschopp, M. H., Hofmann, S. M., & Ussar, S. (2018). A history of obesity leaves an inflammatory fingerprint in liver and adipose tissue. *International Journal of Obesity*, *42*(3), 507–517.
- Fix, J. S., Cassady, J. P., Herring, W. O., Holl, J. W., Culbertson, M. S., & See, M. T. (2010). Effect of piglet birth weight on body weight, growth, backfat, and longissimus muscle area of commercial market swine. *Livestock Science*, *127*(1), 51–59.
- Friesen, K. G., Nelssen, J. L., Unruh, J. A., Goodband, R. D., & Tokach, M. D. (1994). Effects of the interrelationship between genotype, sex, and dietary lysine on growth performance and carcass composition in finishing pigs fed to either 104 or 127 kilograms. *Journal of Animal Science*, *72*(4), 946–954.
- Geyra, A., Uni, Z., & Sklan, D. (2001). The effect of fasting at different ages on growth and tissue dynamics in the small intestine of the young chick. *The British Journal of Nutrition*, *86*(1), 53–61.
- Goodyear, A., Kumar, A., Ehrhart, E. J., Swanson, K. S., Grusak, M. A., Leach, J. E., Dow, S. W., McClung, A., & Ryan, E. P. (2015). Dietary rice bran supplementation

- prevents *Salmonella* colonization differentially across varieties and by priming intestinal immunity. *Journal of Functional Foods*, 18, 653–664.
- Gotoh, K., Fujiwara, K., Anai, M., Okamoto, M., Masaki, T., Kakuma, T., & Shibata, H. (2017). Role of spleen-derived IL-10 in prevention of systemic low-grade inflammation by obesity [Review]. *Endocrine Journal*, 64(4), 375–378.
- Greenwood, P. L., & Bell, A. W. (2003). Consequences of intra-uterine growth retardation for postnatal growth, metabolism and pathophysiology. *Reproduction (Cambridge, England) Supplement*, 61, 195–206.
- Hampson, D. J. (1986). Alterations in piglet small intestinal structure at weaning. *Research in Veterinary Science*, 40(1), 32–40.
- Hartke, J. L., Monaco, M. H., Wheeler, M. B., & Donovan, S. M. (2005). Effect of a short-term fast on intestinal disaccharidase activity and villus morphology of piglets suckling insulin-like growth factor-I transgenic sows. *Journal of Animal Science*, 83(10), 2404–2413
- Health2click. (2018). ระบบน้ำเหลือง (Lymphatic system). กองบรรณาธิการ Health2click. สืบค้น 22 กันยายน 2563 , จ ำ ก <https://www.health2click.com/2018/06/21/lymphatic-system/>
- Hedegaard, C. J., Strube, M. L., Hansen, M. B., Lindved, B. K., Lihme, A., Boye, M., & Heegaard, P. M. H. (2016). Natural Pig Plasma Immunoglobulins Have Anti-Bacterial Effects: Potential for Use as Feed Supplement for Treatment of Intestinal Infections in Pigs. *PLOS ONE*, 11(1), e0147373.
- Hedemann, M. S., Eskildsen, M., Laerke, H. N., Pedersen, C., Lindberg, J. E., Laurinen, P., & Knudsen, K. E. B. (2006). Intestinal morphology and enzymatic activity in newly weaned pigs fed contrasting fiber concentrations and fiber properties. *Journal of Animal Science*, 84(6), 1375–1386.
- Henderson, A. J., Kumar, A., Barnett, B., Dow, S. W., & Ryan, E. P. (2012). Consumption of rice bran increases mucosal immunoglobulin A concentrations and numbers of intestinal *Lactobacillus* spp. *Journal of Medicinal Food*, 15(5), 469–475.

- Hiss-Pesch, S., Daniel, F., Dunkelberg-Denk, S., Mielenz, M., & Sauerwein, H. (2011). Transfer of maternal haptoglobin to suckling piglets. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, *144*(1–2), 104–110.
- Hohenshell, L. M., Cunnick, J. E., Ford, S. P., Kattesh, H. G., Zimmerman, D. R., Wilson, M. E., Matteri, R. L., Carroll, J. A., & Lay, D. C. (2000). Few differences found between early- and late-weaned pigs raised in the same environment. *Journal of Animal Science*, *78*(1), 38–49.
- Hwang, K.-A., Hwang, Y.-L., Lee, M.-H., Kim, N.-R., Roh, S.-S., Lee, Y., Kim, C. D., Lee, J.-H., & Choi, K.-C. (2017). Adenosine stimulates growth of dermal papilla and lengthens the anagen phase by increasing the cysteine level via fibroblast growth factors 2 and 7 in an organ culture of mouse vibrissae hair follicles. *International Journal of Molecular Medicine*, *29*(2), 195–201.
- Hyun, Y., & Ellis, M. (2000). Relationships Between Feed Intake Traits, Monitored Using a Computerized Feed Intake Recording System, and Growth Performance and Body Composition of Group-Housed Pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *13*(12), 1717–1725.
- Incharoen, T., Charoensook, R., Onoda, S., Tatrakoon, W., Numthuam, S., & Pechkong, T. (2019). The effects of heat-killed *Lactobacillus plantarum* L-137 supplementation on growth performance, intestinal morphology, and immune-related gene expression in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, *257*, 114272.
- Isolation, purification, and identification of polysaccharides from cultured Cordyceps militaris—ScienceDirect.* (n.d.). Retrieved July 2, 2021, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0367326X04001479>
- Kang, H. J., Baik, H. W., Kim, S. J., Lee, S. G., Ahn, H. Y., Park, J. S., Park, S. J., Jang, E. J., Park, S. W., Choi, J. Y., Sung, J. H., & Lee, S. M. (2015). *Cordyceps militaris* Enhances Cell-Mediated Immunity in Healthy Korean Men. *Journal of Medicinal Food*, *18*(10), 1164–1172.
- Kats, L. J., Tokach, M. D., Goodband, R. D., & Nelssen, J. L. (1992). Influence of weaning weight and growth during the first week postweaning on

- subsequent pig performance. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 10, 15–17.
- Koh, J. H., Suh, H. J., & Ahn, T. S. (2003). Hot-water extract from mycelia of *Cordyceps sinensis* as a substitute for antibiotic growth promoters. *Biotechnology Letters*, 25(7), 585–590.
- Kohen, R., & Nyska, A. (2002). Oxidation of biological systems: Oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions, and methods for their quantification. *Toxicologic Pathology*, 30(6), 620–650.
- Kregel, K. C., & Zhang, H. J. (2007). An integrated view of oxidative stress in aging: Basic mechanisms, functional effects, and pathological considerations. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292(1), R18–36.
- Kristinsson, H. G., & Rasco, B. A. (2000). Fish protein hydrolysates: Production, biochemical, and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 43–81.
- Larriestra, A. J., Wattanaphansak, S., Neumann, E. J., Bradford, J., Morrison, R. B., & Deen, J. (2006). Pig characteristics associated with mortality and light exit weight for the nursery phase. *The Canadian Veterinary Journal*, 47(6), 560–566.
- Lay, D. C., Jr., Matteri, R. L., Carroll, J. A., Fangman, T. J., & Safranski, T. J. (2002). Preweaning survival in swine. *Journal of Animal Science*, 80(E-suppl_1), 74–86.
- Lee, F. S., & Chao, M. V. (2001). Activation of Trk neurotrophin receptors in the absence of neurotrophins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(6), 3555.
- Lewis, N. J., & Berry, R. J. (2006). Effects of season on the behaviour of early-weaned piglets during and immediately following transport. *Applied Animal Behaviour Science*, 100(3), 182–192.

- Liu, J., Feng, C., Li, X., Chang, M., Meng, J., & Xu, L. (2016). Immunomodulatory and antioxidative activity of *Cordyceps militaris* polysaccharides in mice. *International Journal of Biological Macromolecules*, *86*, 594–598.
- Liu, P., Piao, X. S., Kim, S. W., Wang, L., Shen, Y. B., Lee, H. S., & Li, S. Y. (2008). Effects of chito-oligosaccharide supplementation on the growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology, and fecal shedding of *Escherichia coli* and *Lactobacillus* in weaning pigs. *Journal of Animal Science*, *86*(10), 2609–2618.
- Lubos, E., Loscalzo, J., & Handy, D. E. (2011). Glutathione Peroxidase-1 in Health and Disease: From Molecular Mechanisms to Therapeutic Opportunities. *Antioxidants & Redox Signaling*, *15*(7), 1957–1997.
- Machlin, L. J., & Bendich, A. (1987). Free radical tissue damage: Protective role of antioxidant nutrients. *FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, *1*(6), 441–445.
- Mahan, D. C., Cromwell, G. L., Ewan, R. C., Hamilton, C. R., & Yen, J. T. (1998). Evaluation of the feeding duration of a phase 1 nursery diet to three-week-old pigs of two weaning weights. NCR-42 Committee on Swine Nutrition. *Journal of Animal Science*, *76*(2), 578–583.
- Mahan, D. C., & Lepine, A. J. (1991). Effect of pig weaning weight and associated nursery feeding programs on subsequent performance to 105 kilograms body weight. *Journal of Animal Science*, *69*(4), 1370–1378.
- Main, R. G., Dritz, S. S., Tokach, M. D., Goodband, R. D., & Nelssen, J. L. (2004). Increasing weaning age improves pig performance in a multisite production system. *Journal of Animal Science*, *82*(5), 1499–1507.
- Marnett, L. J. (2002). Oxy radicals, lipid peroxidation and DNA damage. *Toxicology*, 219–222.
- Malik, U. U., Siddiqui, I. A., Hashim, Z., & Zarina, S. (2014). Measurement of serum paraoxonase activity and MDA concentrations in patients suffering with oral squamous cell carcinoma. *Clinica Chimica Acta*, *430*, 38–42.
- Markowiak, P., & Slizewska, K. (2018). The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*, *10*, 21.

- Healthline. (2019). *Monocytes High: What Does It Mean If Monocytes Are Elevated*.
July 12, 2021, Retrieved from
<https://www.healthline.com/health/monocytes-high>
- Montaguez. (2013). *งานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ของถั่งเช่า ตอนที่ 3. สืบค้น 22 กันยายน 2563,*
จาก <https://thungchao.wordpress.com/>
- Murillo-Rodriguez, E., Blanco-Centurion, C., Sanchez, C., Piomelli, D., & Shiromani, P. J.
(2003). Anandamide enhances extracellular levels of adenosine and induces
sleep: An in vivo microdialysis study. *Sleep*, 26(8), 943–947.
- Murosaki, S., Yamamoto, Y., Ito, K., Inokuchi, T., Kusaka, H., Ikeda, H., & Yoshikai, Y.
(1998). Heat-killed *Lactobacillus plantarum* L-137 suppresses naturally fed
antigen-specific IgE production by stimulation of IL-12 production in mice.
The Journal of Allergy and Clinical Immunology, 102(1), 57–64.
- Nakav, S., Chaimovitz, C., Sufaro, Y., Lewis, E. C., Shaked, G., Czeiger, D., Zlotnik, M., &
Douvdevani, A. (2008). Anti-Inflammatory Preconditioning by Agonists of
Adenosine A1 Receptor. *PLoS ONE*, 3(5), e2107.
- Nakamoto, N., Amiya, T., Aoki, R., Taniki, N., Koda, Y., Miyamoto, K., Teratani, T.,
Suzuki, T., Chiba, S., Chu, P.-S., Hayashi, A., Yamaguchi, A., Shiba, S., Miyake,
R., Katayama, T., Suda, W., Mikami, Y., Kamada, N., Ebinuma, H., ... Kanai, T.
(2017). Commensal *Lactobacillus* Controls Immune Tolerance during Acute
Liver Injury in Mice. *Cell Reports*, 21(5), 1215–1226.
- Nochta, I., Tuboly, T., Halas, V., & Babinszky, L. (2009). Effect of different levels of
mannan-oligosaccharide supplementation on some immunological variables
in weaned piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*,
93(4), 496–504.
- Nomoto, K. (2008). Prevention of postoperative microbial infection by synbiotics.
Indian Journal of Experimental Biology, 46, 557–561.
- NRC, National Research Council. (2012). *Nutrient Requirements of Swine*. Washington
DC, USA.: National Academic Press.

- Oswald, I. P., Dozois, C. M., Barlagne, R., Fournout, S., Johansen, M. V., & Bøgh, H. O. (2001). Cytokine mRNA expression in pigs infected with *Schistosoma japonicum*. *Parasitology*, *122*(3), 299–307.
- Oura, H., Iino, M., Nakazawa, Y., Tajima, M., Ideta, R., Nakaya, Y., Arase, S., & Kishimoto, J. (2008). Adenosine increases anagen hair growth and thick hairs in Japanese women with female pattern hair loss: A pilot, double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *The Journal of Dermatology*, *35*(12), 763–767.
- Park, S., Kim, J. I., Bae, J.-Y., Yoo, K., Kim, H., Kim, I.-H., Park, M.-S., & Lee, I. (2018). Effects of heat-killed *Lactobacillus plantarum* against influenza viruses in mice. *Journal of Microbiology (Seoul, Korea)*, *56*(2), 145–149.
- Pluske, J. R., Hampson, D. J., & Williams, I. H. (1997). Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: A review. *Livestock Production Science*, *51*(1), 215–236.
- Puri, P., Rattan, A., Bijlani, R. L., Mahapatra, S. C., & Nath, I. (1996). Splenic and intestinal lymphocyte proliferation response in mice fed milk or yogurt and challenged with *Salmonella typhimurium*. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *47*(5), 391–398.
- Ramesh, T., Kim, S. W., Sung, J. H., Hwang, S. Y., Sohn, S. H., Yoo, S. K., & Kim, S. K. (2012). Effect of fermented *Panax ginseng* extract (GINST) on oxidative stress and antioxidant activities in major organs of aged rats. *Experimental Gerontology*, *47*(1), 77–84.
- Rao, Y. K., Fang, S. H., Wu, W. S., & Tzeng, Y. M. (2010). Constituents isolated from *Cordyceps militaris* suppress enhanced inflammatory mediator's production and human cancer cell proliferation. *Journal of Ethnopharmacology*, *131*(2), 363–367.
- Rice-Evans, C. A., & Gopinathan, V. (1995). Oxygen toxicity, free radicals, and antioxidants in human disease: Biochemical implications in atherosclerosis and the problems of premature neonates. *Essays in Biochemistry*, *29*, 39–63.
- Richert, J., Thayer, M., Chastain, C., Duttlinger, A., Feldpausch, J., Garcia, R., Richert, B., & Nelssen, J. (2019). Effects of *Cordyceps* Mushroom Powder on Nursery Pig Performance. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*. 4: 9.

Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, UK.

- Ruiz-Cortés, Z. T., Men, T., Palin, M. F., Downey, B. R., Lacroix, D. A., & Murphy, B. D. (2000). Porcine leptin receptor: Molecular structure and expression in the ovary. *Molecular Reproduction and Development*, *56*(4), 465–474.
- Salas, V. M., & Corcoran, G. B. (1997). Calcium-dependent DNA damage and adenosine 3',5'-cyclic monophosphate-independent glycogen phosphorylase activation in an in vitro model of acetaminophen-induced liver injury. *Hepatology (Baltimore, Md.)*, *25*(6), 1432–1438.
- Sauerwein, H., Schmitz, S., & Hiss, S. (2005). The acute phase protein haptoglobin and its relation to oxidative status in piglets undergoing weaning-induced stress. *Redox Report*, *10*(6), 295–302.
- Sayan, H., Assavacheep, P., Angkanaporn, K., & Assavacheep, A. (2018). Effect of *Lactobacillus salivarius* on growth performance, diarrhea incidence, fecal bacterial population and intestinal morphology of suckling pigs challenged with F4+ enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *31*(8), 1308–1314.
- Schrader, M., & Fahimi, H. D. (2006). Peroxisomes and oxidative stress. *Biochimica Et Biophysica Acta*, *1763*(12), 1755–1766.
- Shashidhar, M. G., Giridhar, P., Udaya Sankar, K., & Manohar, B. (2013). Bioactive principles from *Cordyceps sinensis*: A potent food supplement – A review. *Journal of Functional Foods*, *5*(3), 1013–1030.
- Shin, S., Kwon, J., Lee, S., Kong, H., Lee, S., Lee, C.-K., Cho, K., Ha, N.-J., & Kim, K. (2010). Immunostimulatory Effects of *Cordyceps militaris* on Macrophages through the Enhanced Production of Cytokines via the Activation of NF- κ B. *Immune Network*, *10*(2), 55–63.
- Skinner, L. D., Levesque, C. L., Wey, D., Rudar, M., Zhu, J., Hooda, S., & de Lange, C. F. M. (2014). Impact of nursery feeding program on subsequent growth performance, carcass quality, meat quality, and physical and chemical body composition of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, *92*(3), 1044–1054.

- Škorjanc, D., Brus, M., & Čandek-Potokar, M. (2007). Effect of Birth Weight and Sex on Pre-Weaning Growth Rate of Piglets. *Archiv Fur Tierzucht*, *50*, 476–486.
- Smith, F., Clark, J. E., Overman, B. L., Tozel, C. C., Huang, J. H., Rivier, J. E. F., Blisklager, A. T., & Moeser, A. J. (2010). Early weaning stress impairs development of mucosal barrier function in the porcine intestine. *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology*, *298*(3), G352–G363.
- Smith, J. A., Park, S., Krause, J. S., & Banik, N. L. (2013). Oxidative stress, DNA damage, and the telomeric complex as therapeutic targets in acute neurodegeneration. *Neurochemistry International*, *62*(5), 764–775.
- Sordillo, L. M., & Aitken, S. L. (2009). Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, *128*(1–3), 104–109.
- Solinas, M., Ferré, S., You, Z.-B., Karcz-Kubicha, M., Popoli, P., & Goldberg, S. R. (2002). Caffeine Induces Dopamine and Glutamate Release in the Shell of the Nucleus Accumbens. *The Journal of Neuroscience*, *22*(15), 6321–6324.
- Steel, R. G. D. & Torrie, J. H. (1980). *Principles and procedures of statistics, a biometrical approach*. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- Su, Y., Sun, Y., Ju, D., Chang, S., Shi, B., & Shan, A. (2018). The detoxification effect of vitamin C on zearalenone toxicity in piglets. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *158*, 284–292.
- Suzuki, A., Nagasaka, H., Ochi, Y., Kobayashi, K., Nakamura, H., Nakatani, D., Yamaguchi, S., Yamaki, S., Wada, A., Shirata, Y., Hui, S.-P., Toda, T., Kuroda, H., Chiba, H., & Hirano, K. (2014). Peripheral leukocyte anomaly detected with routine automated hematology analyzer sensitive to adipose triglyceride lipase deficiency manifesting neutral lipid storage disease with myopathy/triglyceride deposit cardiomyovasculopathy. *Molecular Genetics and Metabolism Reports*, *1*, 249–253.
- Szymonik-Lesiuk, S., Czechowska, G., Stryjecka-Zimmer, M., Słomka, M., Madro, A., Celinski, K., & Wielosz, M. (2003). Catalase, superoxide dismutase, and glutathione peroxidase activities in various rat tissues after carbon

- tetrachloride intoxication. *Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Surgery*, 10(4), 309–315.
- Uchinaka, A., Azuma, N., Mizumoto, H., Nakano, S., Minamiya, M., Yoneda, M., Aoyama, K., Komatsu, Y., Yamada, Y., Murohara, T., & Nagata, K. (2018). Anti-inflammatory effects of heat-killed *Lactobacillus plantarum* L-137 on cardiac and adipose tissue in rats with metabolic syndrome. *Scientific Reports*, 8(1), 8156.
- Wada, T., Sumardika, I. W., Saito, S., Ruma, I. M. W., Kondo, E., Shibukawa, M., & Sakaguchi, M. (2017). Identification of a novel component leading to anti-tumor activity besides the major ingredient cordycepin in *Cordyceps militaris* extract. *Journal of Chromatography. B, Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 209–219.
- Wang, C.-L., Chiang, C.-J., Chao, Y.-P., Yu, B., & Lee, T.-T. (2015). Effect of *Cordyceps Militaris* Waster Medium on Production Performance, Egg Traits and Egg Yolk Cholesterol of Laying Hens. *The Journal of Poultry Science*, *advpub*, 52(3), 188-196
- Wang, M., Meng, X., Yang, R., Qin, T., Li, Y., Zhang, L., Fei, C., Zhen, W., Zhang, K., Wang, X., Hu, Y., & Xue, F. (2013). *Cordyceps militaris* polysaccharides can improve the immune efficacy of Newcastle disease vaccine in chicken. *International Journal of Biological Macromolecules*, 59, 178–183.
- Watzl, B., Girschbach, S., & Roller, M. (2005). Inulin, oligofructose and immunomodulation. *The British Journal of Nutrition*, 93 Suppl 1, S49-55.
- Wolter, B. F., & Ellis, M. (2001). The effects of weaning weight and rate of growth immediately after weaning on subsequent pig growth performance and carcass characteristics. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(3), 363–369.
- Wolter, B. F., Ellis, M., Curtis, S. E., Parr, E. N., & Webel, D. M. (2002). Effects of feeder trough space and variation in body weight within a pen of pigs on performance in a wean-to-finish production system. *Journal of Animal Science*, 80(9), 2241–2246.

- Willcox, J. K., Ash, S. L., & Catignani, G. L. (2004). Antioxidants and prevention of chronic disease. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *44*(4), 275–295.
- Wu, G., Bazer, F. W., Wallace, J. M., & Spencer, T. E. (2006). Board-invited review: Intrauterine growth retardation: implications for the animal sciences. *Journal of Animal Science*, *84*(9), 2316–2337.
- Tao, X., Xu, Z., Men, X. (2016). Transient effects of weaning on the health of newly weaning piglets. *Czech Journal of Animal Science*. 82–90.
- Xiong, Y., Zhang, S., Xu, L., Song, B., Huang, G., Lu, J., & Guan, S. (2013). Suppression of T-cell activation in vitro and in vivo by cordycepin from *Cordyceps militaris*. *Journal of Surgical Research*, *185*(2), 912–922.
- Xu, Z., Hua, N., & Godber, J. S. (2001). Antioxidant activity of tocopherols, tocotrienols, and gamma-oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2'-azobis(2-methylpropionamide) dihydrochloride. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*(4), 2077–2081.
- Yang, F., Hou, C., Zeng, X., & Qiao, S. (2015). The Use of Lactic Acid Bacteria as a Probiotic in Swine Diets. *Pathogens*, *4*(1), 34–45.
- Yang, X., Wen, K., Tin, C., Li, G., Wang, H., Kocher, J., Pelzer, K., Ryan, E., & Yuan, L. (2014). Dietary rice bran protects against rotavirus diarrhea and promotes Th1-type immune responses to human rotavirus vaccine in gnotobiotic pigs. *Clinical and Vaccine Immunology: CVI*, *21*(10), 1396–1403.
- Ye, J., Zhang, R., Wu, F., Zhai, L., Wang, K., Xiao, M., Xie, T., & Sui, X. (2018). Non-apoptotic cell death in malignant tumor cells and natural compounds. *Cancer Letters*, *420*, 210–227.
- Yen, G. C., Duh, P. D., & Hung, Y. L. (2001). Contributions of major components to the antimutagenic effect of Hsian-tsao (*Mesona procumbens* Hemsl.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*(10), 5000–5004.
- Yasui, H., Shida, K., Matsuzaki, T., & Yokokura, T. (1999). Immunomodulatory function of lactic acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, *76*(1-4), 383–389.

- Zhang, P., Zhou, X., He, M., Shang, Y., Tetlow, A. L., Godwin, A., & Zeng, Y. (2019). Ultrasensitive detection of circulating exosomes with a 3D-nanopatterned microfluidic chip. *Nature Biomedical Engineering*, 438–451
- Zhong, L., X., Zhang, & M., Covasa. (2014). Emerging roles of lactic acid bacteria in protection against colorectal cancer. *World Journal of Gastroenterology*, 20(24), 7878-7886
- Zhu, L. H., Zhao, K. L., Chen, X. L., & Xu, J. X. (2012). Impact of weaning and an antioxidant blend on intestinal barrier function and antioxidant status in pigs. *Journal of Animal Science*, 90(8), 2581–2589.



ภาคผนวก

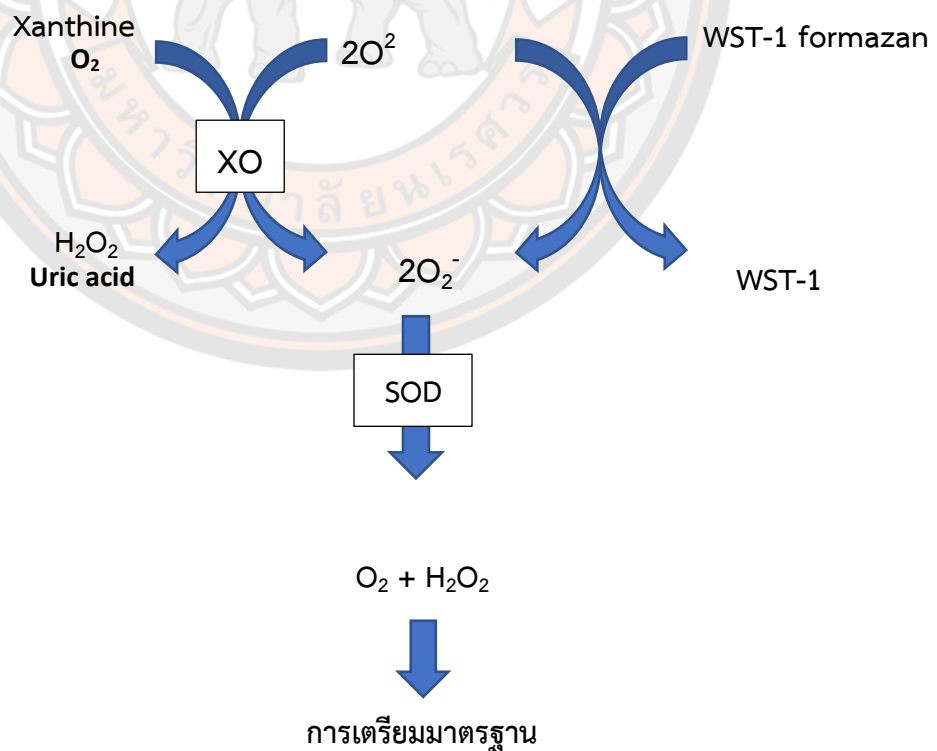
กิจกรรม SOD และ GSH-Px ทั้งหมดวัดโดยวิธีการทางเอนไซม์โดยใช้ชุดทดสอบ SOD และ GSH-Px ที่ซื้อจาก Abcam (Superoxide Dismutase Activity Assay Kit (Colorimetric) NO: ab65354) Glutathione Peroxidase Assay Kit (Colorimetric) NO: ab102530)

1. Serum

เจาะเลือดบริเวณคอ Jugular Veins ปริมาตร 5 มิลลิลิตร โดยใช้เข็มขนาด 18 x 1 (0.9 x 25 mm) ด้วยหลอดเจาะเลือดแบบสุญญากาศ วางไว้ในอุณหภูมิห้องเพื่อให้เลือดแข็งตัวและแยกชั้น (Clot) ปิเปตเฉพาะซีรัมไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ($5,200 \times g$ เป็นเวลา 15 นาที) 4 องศา 2 ครั้ง และนำเฉพาะซีรัมรักษาสภาพโดยการแช่เย็น -20°C (Zhang et al., 2019)

2. Superoxide Dismutase: SOD

- หลักการทำงาน





2.1 การเตรียม Reagent

- 2.2.1 ละลาย WST: เจือจางสารละลาย WST 1 มิลลิลิตร ด้วย SOD Assay Buffer 19 มิลลิลิตร ทำการแบ่งหรือผสมให้เพียงพอต่อการทดสอบ
- 2.2.2 สารละลาย Enzyme SOD: ปั่นเหวี่ยง Enzyme 5 นาที และทำให้ผสมเข้ากัน โดยใช้การปิเปต (จำเป็นมากเพราะเนื่องจาก Enzyme มี 2 ชั้น และต้องผสมให้เข้ากันก่อนเจือจาง) เจือจาง 15 ไมโครลิตร ด้วย Dilution Buffer 2.5 มิลลิลิตร (สามารถเก็บไว้ได้ 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4°C)
- 2.2.3 SOD Assay Buffer: เตรียมให้พร้อมใช้งานโดยปรับให้อยู่ที่อุณหภูมิห้อง
- 2.2.4 SOD Dilution Buffer: เตรียมให้พร้อมใช้งานโดยปรับให้อยู่ที่อุณหภูมิห้อง (ควรตรวจสอบจำนวนตัวอย่างให้แน่นอนก่อนใช้ เพื่อความเพียงพอต่อการใช้)

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

- ปรับสมดุคทั้งหมดและ Reagent ที่เตรียมไว้ให้อยู่ในอุณหภูมิห้องก่อนใช้งานและกวนหรือทำให้เข้ากันอีกครั้งอย่างเบาๆ
- วิเคราะห์มาตรฐานการควบคุม และตัวอย่างทั้งหมดซ้ำกัน

2.3.1 ตั้งค่าหลุมปฏิกิริยา

- Blank 1 = ddH₂O 20 ไมโครลิตร
- Blank 2 = ตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร
- Blank 3 = ddH₂O 20 ไมโครลิตร
- หลุมตัวอย่าง = ตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร

ส่วนประกอบ	ตัวอย่าง (μL)	Blank 1 (μL)	Blank 1 (μL)	Blank 1 (μL)
สารละลายตัวอย่าง	20	0	20	0
ddH ₂ O	0	20	0	20
สารละลาย WST ที่พร้อมใช้งาน	200	200	200	200
สารละลายเอนไซม์ที่พร้อมใช้งาน	20	20	0	0
Buffer ที่เจือจางแล้ว	0	0	20	20

1. เติม WST solution 200 ไมโครลิตร ลงในแต่ละหลุม
2. เติม Buffer ที่เจือจางแล้ว 20 ไมโครลิตร ลงใน Blank 2 และ Blank 3
3. เติมเอนไซม์ 20 ไมโครลิตร ลงในแต่ละตัวอย่าง และ Blank 1
4. ผสมให้เข้ากัน และบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C 20 นาที
5. นำเข้าเครื่องไมโครเพลท (Microplate reader) เพื่อทดสอบค่าดูดกลืนแสง ที่ OD 450 นาโนเมตร

หมายเหตุ เนื่องจาก Superoxide จะทำปฏิกิริยาทันทีหลังจากการเติมเอนไซม์ ลงไปในตัวอย่าง แนะนำให้ใช้ปิเปตหลายอัน เพื่อความรวดเร็วและการหน่วง เวลาการตอบสนองในแต่ละหลุม

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

- 2.4.1 คำนวณการทำงานของ SOD (% อัตราการยับยั้ง) โดยใช้สมการ
- 2.4.2 หากใช้เส้นมาตรฐาน (Standard Curve)

- การวาดเส้นโค้งผ่านจุดต่างๆเพื่อให้ได้เส้นโค้งตามมาตรฐานที่ต้องการแนะนำใช้ซอฟต์แวร์หรือ ไมโครซอฟเอกซ์เซล (Excel) พล็อตค่าที่ได้
- การคาดการณ์การอ่านค่าตัวอย่างจากเส้นโค้งมาตรฐานโดยใช้สมการ
- ใช้การอ่านตัวอย่างในสมการนี้ที่ระบุไว้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่ออ่านการทำงานของ SOD

3. Glutathione Peroxidase: GSH-Px

3.1 เทคนิค

3.2.1 เก็บตัวอย่างทุกส่วนไว้บนน้ำแข็งหรือแช่แข็งระหว่างการทดสอบ

3.2.2 ตรวจสอบว่าบัฟเฟอร์และสารละลายทั้งหมดอยู่ในอุณหภูมิห้องก่อนเริ่มการทดลอง

3.2.3 ตัวอย่างที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานให้เจือจางในบัฟเฟอร์ในระดับที่เหมาะสม

3.2.4 หลีกเลี่ยงการเกิดฟอง หรือฟองอากาศในขณะผสม

3.2.5 หลีกเลี่ยงการปนเปื้อนข้ามตัวอย่างตรวจสอบให้แน่ใจว่าปิดผนึกอย่างถูกต้องในระหว่างการปม

3.2 การเตรียมสารเคมี Reagent

3.3.1 GSH-Px Buffer: ก่อนเริ่มใช้ให้อยู่ในอุณหภูมิห้องก่อนเริ่มใช้ และควรเก็บไว้ที่ -20°C

3.3.2 NADPH Standard: สร้างใหม่ด้วย dH_2O 500 ไมโครลิตร เพื่อให้ได้โซลูชันมาตรฐาน 40 mM NADPH Aliquot standard เพื่อให้มีจำนวนการทดสอบเพียงพอที่ต้องการเก็บที่อุณหภูมิ -20°C เป็นเวลา 1 เดือนหรือที่ 4°C เป็นเวลา 1 สัปดาห์

3.3.3 Glutathione Reductase: เจือจางด้วย Assay Buffer 220 ไมโครลิตร

3.3.4 Glutathione (GSH): สร้างใหม่ด้วย Assay Buffer 220 ไมโครลิตร

3.3.5 Cumene Hydroperoxide: เจือจางด้วย Assay Buffer 1.25 ไมโครลิตร

3.3 Glutathione Peroxidase (Positive Control): สร้างใหม่ด้วย Assay Buffer 100 ไมโครลิตรการเตรียมมาตรฐาน

มาตรฐาน #	ปริมาตร มาตรฐาน (μL)	Assay Buffer (μL)	มาตรฐานปริมาตร สุดท้ายในหลุม (μL)	สิ้นสุด [NADPH] ในหลุม
1	0	300	100	0 nmol/well
2	60	240	100	20 nmol/well
3	120	180	100	40 nmol/well
4	180	120	100	60 nmol/well
5	240	60	100	80 nmol/well
6	300	0	100	100 nmol/well

*หากทำสารละลายแล้วที่เจอเจือจางแล้ว ควรใช้ภายใน 4 ชม.

3.4.1 เตรียม NADPH มาตรฐาน โดยเจือจาง 25 ไมโครลิตรของสารละลายมาตรฐาน
40 mM NADPH ใน 975 ไมโครลิตร ของ dH_2O

3.4.2 เตรียมความพร้อมเพื่อสร้างส่วนของเส้นโค้งมาตรฐาน ตามที่อธิบายตามตาราง

การเจือจางแต่ละครั้งมีปริมาณมาตรฐานเพียงพอที่จะตั้งค่าการอ่านซ้ำ ($2 \times 100 \mu\text{L}$)

3.5 ขั้นตอนการประเมิน และตรวจจับ

- ปรับสมดุรีเอเจนต์ทั้งหมดให้อยู่ในอุณหภูมิห้องก่อนการทดลอง
- แนะนำให้ทดสอบมาตรฐานควบคุมและตัวอย่างทั้งหมดซ้ำกัน

1. ตั้งค่าหลุมมาตรฐานปฏิกิริยา

- A. หลุมมาตรฐาน \rightarrow เจือจางมาตรฐาน 100 ไมโครลิตร
- B. หลุมตัวอย่าง \rightarrow 2-50 ไมโครลิตร (ปรับปริมาณเป็น 50 ไมโครลิตร/หลุม
ด้วย Assay buffer)
- C. (ไม่บังคับ) การควบคุมเชิงบวก \rightarrow 5-10 ไมโครลิตรของ GPx Positive

D. หลุมควบคุมรีเอเจนต์ → 50 ไมโครลิตร Assay Buffer

2. ส่วนผสมของปฏิกิริยา

ก่อนผสมใช้งานให้เตรียมส่วนผสมของปฏิกิริยาสำหรับแต่ละชนิดดังนี้

Component	Colorimetric Reaction Mix (μL)
Assay Buffer	33
40 mM NADPH solution	3
GR solution	2
GSH solution	2

ผสมรีเอเจนต์ให้เพียงพอสำหรับการตรวจ (ตัวอย่างการควบคุมเชิงเชิงบวก และตัวควบคุมรีเอเจนต์) ที่จะดำเนินการเตรียมส่วนผสมหลัก Reaction Mix ตรวจสอบเพื่อเพียงพอต่อการทดลอง

- เติม Reaction Mix จำนวน 40 ไมโครลิตร ลงในตัวอย่างหลุมควบคุมเชิงบวกและหลุมควบคุมรีเอเจนต์
- ผสมให้เข้ากัน และบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ GSSG ละลายทั้งหมดในตัวอย่าง

หมายเหตุ วัด OD 340 นาโนเมตรก่อนเติม cumene hydroperoxide ถ้า OD ที่ 340 นาโนเมตร ต่ำกว่า 1.0 ให้เพิ่ม NADPH มากขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่ามี NADPH เพียงพอในระบบ ปฏิกิริยา 1 ไมโครลิตร ของ 40 mM NADPH จะให้ ~ 0.5 OD ที่ 340 นาโนเมตร

- เติมสารละลาย cumene hydroperoxide 10 ไมโครลิตร ลงในตัวอย่าง หลุมควบคุมเชิงบวก และควบคุมรีเอเจนต์ เท่านั้น เพื่อเริ่มปฏิกิริยา GPx ผสมให้เข้ากัน
- วัดเออร์พุด (A1) บนเครื่องอ่าน Microplate reader ที่ OD340 นาโนเมตร ที่ T1

7. บ่มที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 5 นาที หรือนานกว่านั้นหากเกิดกิจกรรมของ GPx ต่ำ (วิธีการนี้ต้องป้องกันแสง)
 8. วัดเอาต์พุต (A2) บนเครื่องอ่าน Microplate reader ที่ OD340 นาโนเมตร ที่ T2
หมายเหตุ 1) หากค่า A1 ต่ำเกินไป (<0.7) แสดงว่ามี GPx มากเกินไปหรือมี GSSG มากเกินไปในตัวอย่าง อาจต้องเจือจางตัวอย่างหรือลบ GSSG ออกจากตัวอย่าง โดยใช้วิธีต่างๆเช่นการหมุนตัวอย่างเพื่อลบ GSSG
- 1) จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอ่าน A1 และ A2 ในช่วงเชิงเส้นของปฏิกิริยา จะแม่นยำมากขึ้นถ้าคุณอ่านจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา จากนั้นเลือก A1 และ A2 ในช่วงเชิงเส้นของปฏิกิริยา

3.6 การคำนวณ

- ตัวอย่างที่แสดงผลมากกว่ามาตรฐานสูงสุดควรเจือจางเพิ่มเติมในบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมและวิเคราะห์ใหม่จากนั้นคุณความเข้มข้นที่พบด้วยปัจจัยการเจือจางที่เหมาะสม
- ด้วยเหตุผลทางสถิติเราขอแนะนำให้ทดสอบแต่ละตัวอย่างด้วยการจำลองอย่างน้อยสองรายการ (ซ้ำกัน)

3.6.1 เฉลี่ยการอ่านที่ซ้ำกันสำหรับแต่ละมาตรฐานและตัวอย่าง

3.6.2 ลบค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของช่องว่าง (Standard # 1) จากการอ่านค่ามาตรฐานและตัวอย่างทั้งหมดจะได้ค่าดูดกลืนแสง

3.6.3 พล็อตค่าการดูดกลืนแสงที่แก้ไขแล้วสำหรับแต่ละมาตรฐานเป็นฟังก์ชันของความเข้มข้นสุดท้ายของ NADPH

3.6.4 วาดเส้นโค้งที่ดีที่สุดผ่านจุดเหล่านี้เพื่อสร้างเส้นโค้งมาตรฐาน จากซอฟต์แวร์ ตัวอ่านเพลท หรือ Excel ส่วนใหญ่สามารถพล็อตค่าเหล่านี้และพอดีกับเส้นโค้ง คำนวณสมการเส้นแนวโน้มตามข้อมูลเส้นโค้งมาตรฐานของคุณ (ใช้สมการที่ให้ความพอดีที่แม่นยำที่สุด)

3.6.5 สรุปรูการอ่านตัวอย่างจากเส้นโค้งมาตรฐานที่พล็อตโดยใช้สมการ

อภิธานศัพท์

CM-SMS	=	<i>Cordyceps militaris</i> spent mushroom substrate
HK L-137	=	Heat kill <i>Lactobacillus plantarum</i> L- 137
SOD	=	Superoxide Dismutase
GPx	=	Glutathione Peroxidase
DI	=	Diarrhea Incidence
IgG	=	Immunoglobulin G
IgA	=	Immunoglobulin A
IgM	=	Immunoglobulin M
ADG	=	Average Daily Gain
ADFI	=	Average Daily Feed Intake
FCR	=	Feed conversion ratio

