อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

สัญญาเลขที่ R2555C120

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานจากกากมะเขือเทศและมันสำปะหลัง (Energy Feedstuff Development from Tomato Pomace and Cassava Meal)

คณะผู้วิจัย และสังกัด

1. รองศาสตราจารย์ ดร. วันดี ทาตระกูล
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภา หอมหวล
3. ดร. สนธยา นุ่มท้วม
4. ดร. รังสรรค์ เจริญสุข

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน ๓ - ม.ค. ๒๕๕๘
เลขทะเบียน 1.6702090
เลขเรียกหนังสือ ว SF 494 ว4ง9ร 2557

สนับสนุนโดย กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร

การพัฒนาวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานจากกากมะเขือเทศและมันสำปะหลัง

วันดี ทาตระกูล[1*] วิภา หอมหวล[1] สนธยา นุ่มท้วม[1] รังสรรค์ เจริญสุข[1]

[1] คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

กากมะเขือเทศเป็นผลพลอยได้จากการผลิตซอสมะเขือเทศ ผสมกับมันสาปะหลังป่น (Tomato Pomace-Cassava Mixes; TPCM) ในสัดส่วน 80: 20 (น้ำหนักเปียก:น้ำหนักแห้ง) เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบพลังงานสำหรับสัตว์ องค์ประกอบทางเคมีของ TPCM ประกอบด้วย วัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และลิกนิน อยู่ในช่วง 91.85-93.04, 9.29-10.79, 7.78-7.93, 20.07-21.71 และ 12.42-15.68% ตามลำดับ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาวิธีการลดปริมาณเยื่อใยและลิกนินใน TPCM โดยใช้การหมักด้วยราขาว ซึ่งมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายลิกนิน รวมทั้งการทดสอบการย่อยและใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะของกากมะเขือเทศในสุกร ดังนั้นจึงทำการเพาะเลี้ยงราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C จากนั้นหมัก TPCM ด้วยราขาวที่ปั่นผสมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ ในระดับ 0, 1, 1.2 และ 1.5 % บ่มเป็นระยะเวลา 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 วันตามแผนการทดลอง 4 x 6 factorial arrangement in CRD พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) ขององค์ประกอบทางเคมีตามระดับความเข้มข้นของราขาวที่แตกต่างกันและพบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้นกลับมีผลทำให้ปริมาณเยื่อใยและลิกนินมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะการหมักที่อาจไม่เหมาะสมสำหรับราขาว โดยเฉพาะความเป็นกรดของกากมะเขือเทศทำให้ pH มีค่าต่ากว่า 4 ราขาวไม่สามารถเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตาม TPCM ที่ไม่มีการหมักด้วยราขาวเมื่อทิ้งไว้ 10 วัน ทำให้ปริมาณลิกนินและเยื่อใยต่ำสุด ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ หลังจากนำไปประเมินคุณค่าทางโภชนะในสัตว์แล้ว ผลพบว่าค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ลิกนิน เท่ากับ 82.96, 64.58, 79.75, 69.44, 75.71 และ 10.67 % ตามลำดับ และมีค่าพลังงานย่อยได้ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 3,520 และ 3,136 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมตามลำดับ

คำสำคัญ : กากมะเขือเทศ มันสำปะหลัง วัตถุดิบพลังงานอาหารสัตว์ ราขาว

---

*Corresponding author : Email : wandeeta@nu.ac.th

Energy Feedstuff Development from Tomato Pomace and Cassava Meal

Wandee Tartrakoon [1]*, Wipa Homhaul [1], Sonthaya Numthuam [1], Rangsun Charoensook [1]

[1] Faculty of Agriculture Natural Resource and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

Abstract

Tomato Pomace and Cassava Meal (TPCM) was mixed at the ratio of 80:20 (wet weight: air dry weight) to prepare as an energy feed source. Chemical composition of TPCM contained 91.85-93.04, 9.29-10.79, 7.78-7.93, 20.07-21.71 and 12.42-15.68 % of dry matter, crude protein, ether extract, crude fiber and lignin, respectively. The objectives of this study is to find the method of lignin and fiber reduction using white rot fungi fermentation. White rot fungi (WRF) are very effective basidiomycetes for biological pre-treatment as they degrade lignin extensively including the evaluation of nutrient digestibility and utilization of tomato pomace in pigs. WRF were inoculated in potato dextrose agar (PDA). The petri dishes with the WRF were incubated at room temperature for 3 days and stored at 4°C until TPCM inoculation. TPCM were inoculated with 0, 1, 1.2 and 1.5% WRF cultures and incubated for 0, 10, 20, 30, 40 and 50 days at room temperature using 4x6 factorial arrangements in CRD design. There were significant differences ($P>0.05$) of chemical composition during fermentation period and the concentration of WRF. It was found that the longer of incubation caused the increasing of fiber and lignin concentration in TPCM, may be due to the condition of fermentation was not suitable for WRF such as pH of substrate lower than 4. However, TPCM without WRF inoculation lasted for 10 days had the lowest of lignin and fiber (12.60 and 19.67 %, respectively), therefore it could be used as the energy feed source after nutritional valuable has been examined in animal. The digestibility of dry matter, ash, crude protein, ether extract, crude fiber and lignin are 82.96, 64.58, 79.75, 69.44, 75.71 และ 10.67 %, respectively, and digestible energy and metabolizable energy are 3,520 and 3,136 kcal/kg., respectively.

Keywords: tomato pomace, cassava meal, white rot fungi, energy feedstuff

---

*Corresponding author : Email : wandeeta@nu.ac.th

6. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยประกอบด้วยการทดลองจำนวน 2 การทดลองคือ

<u>การทดลองที่ 1</u>: การเตรียมกากมะเขือเทศสดผสมกับมันสำปะหลัง (Tomato Pomace-Cassava Mixes; TPCM) โดยการหมักด้วยเชื้อราขาว

1) นำกากมะเขือเทศสดผสมกับมันสำปะหลังในอัตราส่วน 80:20 กก. (Tomato Pomace-Cassava Mixes; TPCM) อัตราส่วนที่ใช้คำนวณจากน้ำหนักแห้งของกากมะเขือเทศร่วมกับมันสำปะหลัง โดยใช้ปริมาณโปรตีนเป็นเกณฑ์ในการคำนวณ เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ใช้คำนวณเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้มีปริมาณเปอร์เซ็นต์โปรตีนใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์โปรตีนของปลายข้าว ข้าวโพด และรำละเอียด เมื่อผสมให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปผึ่งแดด 1 วัน เพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก ความชื้น 35±0.5% (กิตติยา และคณะ, 2545)
2) วางแผนการทดลอง 3x6 Factorial arrangement in CRD โดยปัจจัยแรกคืออัตราส่วนของ TPCM 2000, 2500 และ 3000 กรัมต่อปริมาตรเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อ 300 มล. ปัจจัยที่สองคือ ระยะเวลาการหมักที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 วันตามลำดับ โดยหมักตัวอย่างละ 5 ซ้ำ (ดัดแปลงจากปิติกานต์, 2551และ กิตติยา และคณะ, 2545)

เพาะเลี้ยงเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 300 มล.บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 7 วัน โดยใช้ตัวชี้วัดคือเมื่อเส้นใยเจริญเต็มเพลตแล้ว นำมาใส่ในเครื่องปั่น เพื่อตัดเส้นใยเป็นชิ้นเล็กๆ นำมาผสมใส่ในถังหมักร่วมกับ TCMP 2000 2500 และ 3000 กรัม ตามลำดับ ต่อปริมาตรเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อ 300 มล. หรือคิดเป็นปริมาณเชื้อราขาวที่ใช้ เท่ากับ 1.5, 1.2 และ 1 % ตามลำดับ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 วัน สุ่มเก็บตัวอย่างทุกๆ 10 วัน (ดัดแปลงจากปิติกานต์, 2551 และ กิตติยา และคณะ, 2545) นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสทันที เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาจากเชื้อจุลินทรีย์

<u>การทดลองที่ 2</u> : ประสิทธิภาพของกากมะเขือเทศหมักต่อการย่อยและใช้ประโยชน์ได้โภชนะของสุกร

ทดสอบในสุกรระยะรุ่นลูกผสมสามสายพันธุ์ Duroc x (LargeWhite X Landrace) น้ำหนักเริ่มต้น 30 กิโลกรัม จำนวน 6 ตัว โดยศึกษาทดลองการใช้ประโยชน์ได้อาหารในสุกรตามวิธีการมาตรฐาน balance experiment (Adeola, 2001) โดยสุกรแต่ละตัวจะได้รับอาหารสุกรที่มีกากมะเขือเทศตากแห้งเป็นส่วนประกอบหลัก

7. ผลการวิจัย/ข้อค้นพบ

1) เมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้น มีผลทำให้ปริมาณเยื่อใยและลิกนินมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะการหมักที่อาจไม่เหมาะสมสำหรับราขาว โดยเฉพาะความเป็นกรดของกากมะเขือเทศทำให้ pH มีค่าต่ากว่า 4 ราขาวไม่สามารถเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตาม TPCM ที่ไม่มีการหมักด้วยราขาวเมื่อทิ้งไว้ 10 วัน ทำให้ปริมาณลิกนิน และเยื่อใยต่ำสุด
2) ผลการประเมินคุณค่าทางโภชนะของกากมะเขือเทศในสุกรพบว่าค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ลิกนิน เท่ากับ 82.96, 64.58, 79.75, 69.44, 75.71 และ 10.67 % ตามลำดับ และมีค่าพลังงานย่อยได้ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 3,520 และ 3,136 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมตามลำดับ

8. ข้อเสนอแนะการนำไปใช้ประโยชน์

สามารถนำค่าการย่อยและใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะของกากมะเขือเทศ ไปใช้ประกอบสูตรอาหารเลี้ยงสุกรได้ แค่ควรระมัดระวังปริมาณเยื่อใยและลิกนิน ที่จะเป็นข้อจำกัดต่อปริมาณที่จะใช้กากมะเขือเทศในสูตรอาหาร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยได้รับงบประมาณสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ 2555 รวมทั้งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่วิจัยทดลอง ณ สถานีวิจัยและฝึกอบรมบึงราชนก ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาวิจัย รวมทั้งขอบคุณ คุณบรรเจิด จันต๊ะสา คุณอัษฎาวุธ สนั่นนาม คุณสุชาดา ทองอิน และคุณภาวิตา จงมีความสุข ที่มนิสิตบัณฑิตศึกษา และปริญญาตรี สาขาวิชาสัตวศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งอาจารย์กุลยาภัสร์ วุฒิจารี และคุณอรุณี โยธี ที่เป็นกำลังหลักสำคัญในการช่วยเหลือและดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

วันดี ทาตระกูล และคณะ

สิงหาคม 2557

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. หลักการและเหตุผล	1
1.2. วัตถุประสงค์	2
1.3 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ลักษณะทั่วไปของมะเขือเทศ	3
2.2 กากมะเขือเทศ	4
2.3 ลิกนิน	8
2.3.1 ลักษณะของลิกนิน	8
2.3.2 การย่อยสลายลิกนิน	9
2.3.2.1 การย่อยสลายลิกนินโดยเชื้อรา	9
2.3.2.2 การย่อยสลายลิกนินโดยแบคทีเรีย	11
2.3.2.3 การย่อยสลายลิกนินโดนเอนไซม์	11
2.3.2.4 การย่อยสลายลิกนินโดยใช้กระบวนการหมัก	13
2.4 การใช้กากมะเขือเทศเป็นอาหารสัตว์	14
2.5 มันสำปะหลัง	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	20
3.1 การทดลองที่ 1 การเตรียมกากมะเขือเทศสดผสมกับมันสำปะหลัง (Tomato Pomace-Cassava Mixes; TPCM) โดยการหมักด้วยเชื้อราขาว	20
3.1.1 วิธีการทดลอง	20
3.1.2 การวิเคราะห์ทางเคมีและสถิติ	20
3.1.3 ตัวชี้วัด	21
3.2 การทดลองที่ 2 : ประสิทธิภาพของกากมะเขือเทศหมักต่อการย่อยและใช้ประโยชน์ได้โภชนะของสุกร	21
3.2.1 วิธีการทดลอง	21
3.2.2 การคำนวณค่าการย่อยได้ของโภชนะ	22
3.2.3 การวิเคราะห์ทางเคมี	22

บทที่ 1
บทนำ

1.1. หลักการและเหตุผล

วัตถุดิบที่ใช้เป็นอาหารสัตว์มีหลากหลายชนิด เช่น วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของพลังงาน ได้แก่ ปลายข้าว ข้าวโพด รำละเอียด มันสำปะหลัง เป็นต้น วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปรตีน ได้แก่ กากถั่วเหลือง ปลาป่น กากปาล์ม เป็นต้น วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแร่ธาตุและวิตามิน ได้แก่ หินฝุ่น พรีมิกซ์ ไดแคลเซียมฟอสเฟต เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 70 เป็นกลุ่มวัตถุดิบที่ให้พลังงาน ถือว่ากลุ่มวัตถุดิบกลุ่มนี้มีผลต่อต้นทุนค่าอาหารเป็นอย่างมาก ปัจจุบันวัตถุดิบในกลุ่มของพลังงานมีราคาสูงขึ้น เนื่องจากปัจจัยหลายๆ ด้าน เช่น ปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ สินค้าเกษตรปรับตัวสูงขึ้น หรือปัญหาภัยแล้ง หรือประเด็นของการใช้พื้นที่เพาะปลูกเพื่อการผลิตพืชพลังงานทดแทนต่างๆ แทนที่พืชอาหารสัตว์ จึงจำเป็นต้องศึกษาวัตถุดิบชนิดใหม่ๆ เพื่อทดแทนวัตถุดิบในกลุ่มของวัตถุดิบที่ให้พลังงานเพื่อให้มีทางเลือกเมื่อวัตถุดิบหลัก เช่น ปลายข้าว ข้าวโพด หรือมันสำปะหลัง ที่ราคาสูงขึ้นหรือในภาวะที่ขาดแคลน

การนำผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารมาเป็นอาหารสัตว์ หรือผลิตเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง แต่งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา มักมีการศึกษาการนำเอาผลพลอยได้จากการเกษตร หรืออุตสาหกรรมเกษตรมาทดลองใช้เลี้ยงสุกร ว่าสามารถใช้ประโยชน์โภชนะได้เท่าไร และสามารถใช้ในสูตรอาหารกี่เปอร์เซ็นต์ วัตถุดิบชนิดนั้นๆ มีข้อจำกัดอะไรบ้าง ทำให้สุดท้ายแล้วผลพลอยได้เหล่านั้นก็ถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้จำกัด และบางชนิดก็ไม่สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก ที่จะเพียงพอสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ ดังนั้นการศึกษาในปัจจุบัน ควรศึกษาโดยเริ่มต้นจากศึกษาจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ทางเคมีก่อนว่า สารชนิดใดเป็นข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ในสัตว์ ทำการศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการจนกระทั่งหาวิธีลดข้อจำกัดนั้นโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ แล้วนำมาพัฒนารูปแบบวัตถุดิบให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ได้ในปริมาณมากๆ เพื่อรองรับระดับอุตสากรรม แล้วจึงนำไปทดสอบในสัตว์ ซึ่งก็จะช่วยประหยัดเวลา ต้นทุนการศึกษาวิจัย และได้ผลผลิตที่เป็นรูปธรรม นำไปใช้ประโยชน์ได้จริง

กากมะเขือเทศ เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตรอีกชนิดหนึ่ง ที่มีปริมาณการผลิตในประเทศไทย มากกว่า 2 หมื่นตันต่อปี สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสุกร เนื่องจากกากมะเขือประกอบด้วยแหล่งโภชนะต่างๆ ที่สุกรต้องการ เช่น พลังงาน โปรตีน และยังเป็นแหล่งของวิตามินที่สำคัญต่อสุกรสูง เช่นวิตามินเอ วิตามินอี และวิตามินดี แต่การนำกากมะเขือเทศสดมาใช้ในการเลี้ยงสุกรยังมีข้อจำกัดคือ ปริมาณของเยื่อใยในกากมะเขือเทศสดที่สูง และกากมะเขือเทศสดที่เหลือจากกระบวนการผลิตมะเขือเทศแปรรูปอยู่ในสภาพเปียก มีปริมาณความชื้นสูง จึงไม่สะดวกต่อการนำกากมะเขือเทศมาใช้ในการเลี้ยงสุกร การใช้มันสำปะหลังร่วมกับกากมะเขือสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการนำกากมะเขือเทศมาใช้ในการ

เลี้ยงสุกรได้ เนื่องจากมันสำปะหลังสามารถช่วยดูดซับความชื้นของกากมะเขือเทศได้ และมีเยื่อใยอยู่น้อย จึงทำให้การนำกากมะเขือเทศมาใช้ในการเลี้ยงสุกรมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ปริมาณเยื่อใยและลิกนินที่มีอยู่มากในกากมะเขือเทศ เป็นข้อจำกัดในการใช้ในอาหารสุกร จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการพัฒนาเพื่อลดปริมาณปริมาณเยื่อใยและลิกนินให้ลดน้อยลง จึงจะสามารถนำกากมะเขือเทศมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัตถุดิบในอาหารสุกรได้มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนากรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดปริมาณเยื่อใยและลิกนินในกากมะเขือเทศ

1.2.2 เพื่อผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงาน และสามารถนำไปใช้เลี้ยงสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

กากมะเขือเทศ มีคุณค่าทางอาหารสัตว์และความน่ากินสูง เมื่อนำมาผ่านกระบวนการผลิตที่เหมาะสม สามารถทำเป็นวัตถุดิบอาหารประเภทพลังงานสำหรับสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปของมะเขือเทศ

มะเขือเทศมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum mill.* อยู่ในตระกูล Solanaceae เช่นเดียวกับ มะเขือ พริก ยาสูบ และพิทูเนีย การเพาะปลูกมะเขือเทศ ปลูกได้ดีในพื้นที่ที่สามารถหาแหล่งน้ำได้ง่าย ไม่ท่วมขัง ดินสามารถระบายน้ำได้ดี มีความอุดมสมบูรณ์และมีความเป็นกรดเป็นด่าง 6.5-6.8 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการติดผลของมะเขือเทศอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 21-24 องศาเซลเซียส ในเวลากลางวัน และ 15-20 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน (เมืองทอง และสุรีรัตน์, 2525) การปลูกมะเขือเทศในเขตร้อนในช่วงที่อุณหภูมิสูงจึงเป็นเหตุสำคัญในการจำกัดผลผลิตของมะเขือเทศ มะเขือเทศเป็นพืชผักชนิดหนึ่งที่ปลูกกันแพร่หลาย มีทั้งชนิดบริโภคสดและชนิดที่นำเข้าโรงงานเพื่อแปรรูป ประมาณว่ามีผลผลิตรวมทั้งประเทศถึง 2.5 แสนตันต่อปี จากพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศประมาณ 65,000 ไร่ (สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2544/45) มะเขือเทศทั้ง 2 ชนิดปลูกมากในพื้นที่ใหญ่ 2 แห่งคือ ภาคตะวันออกเชียงเหนือ คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตรวมทั้งประเทศ และทางภาคเหนือ 11.1 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตรวมทั้งประเทศ

องค์ประกอบทางเคมีของผลมะเขือเทศ มะเขือเทศจัดเป็นเป็นพืชผักที่อุดมไปด้วยสารอาหารทั้งพลังงาน โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามิน จากการวิเคราะห์มะเขือเทศชนิดผลใหญ่ใช้รับประทานสด (แก้วตาและคณะ, 2545) พบว่า องค์ประกอบหลักของมะเขือเทศ ประกอบด้วย น้ำ 79.1 % สอดคล้องกับรายงานของกลุ่มเกษตรสัญจร (2531) ที่รายงานว่ามะเขือเทศประกอบด้วยน้ำถึง 94 % ส่วนปริมาณโภชนะอื่นเมื่อคิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้ง ประกอบด้วย โปรตีนและเยื่อใยค่อนข้างสูง (18.2 และ 34.8 % วัตถุแห้งตามลำดับ) (แก้วตาและคณะ, 2545) คุณค่าทางโภชนะของมะเขือเทศคิดต่อ 100 ก. น้ำหนักสด แสดงในตารางที่ 2.1

ผลมะเขือเทศสดเป็นแหล่งของสารสี ส่วนมากมีสีส้มแดงหรือสีแดง สารสีในมะเขือเทศเป็นแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ชื่อว่า ไลโคปีน (lycopene) และแคโรทีน (carotene) เป็นส่วนใหญ่นอกจากนี้ยังอาจพบแซนโทฟิลปริมาณเล็กน้อยซึ่งมักอยู่ในรูปของแซนโทฟิลเอสเทอร์ (xanthophyll ester) เมื่อมะเขือเทศเริ่มเข้าสู่ระยะสุก ปริมานคลอโรฟิล (chlorophyll) ในผลจะลดลงทำให้สีของผลมะเขือเทศเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อนหรือขาว ในขณะเดียวกันจะมีการสร้างไลโคปีน แคโรทีนและแซนโทฟิลเพิ่มขึ้น จึงทำให้มะเขือเทศมีสีแดงเพิ่มขึ้นตามระดับความสุก

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนะของมะเขือเทศเมื่อคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

ธาตุอาหาร	คิดต่อสัดส่วนที่กินได้		ร้อยละของวัตถุแห้ง
	กลุ่มเกษตรสัญจร (2531)	กมล และคณะ (2544)	(แก้วตาและคณะ, 2545)
น้ำ (%)	94.0	-	79.1
พลังงาน (cal) [1/]	19.0	22.0	2.2 [2/]
โปรตีน (ก.)	0.7	0.3	18.2
ไขมัน (ก.)	-	0.3	3.1
คาร์โบไฮเดรท (ก.)	4.0	3.6	11.0 [3/]
เยื่อใย (ก.)	-	1.7	34.8
ฟอสฟอรัส (มก.)	24.0	31.0	-
แคลเซียม (มก.)	12.0	9.0	-
เหล็ก (มก.)	0.4	0.5	-
โปแตสเซียม (มก.)	222.0	-	-
ไรโบฟลาวิน (มก.)	0.04	0.04	-
ไทอามีน (มก.)	0.05	0.0.9	-
ไนอาซีน (มก.)	0.7	0.9	-
กรดแอสคอบิก (มก.)	21.0	32.0	-
วิตามินเอ (I.U.)	822.0	-	-

ที่มา : ดัดแปลงจาก

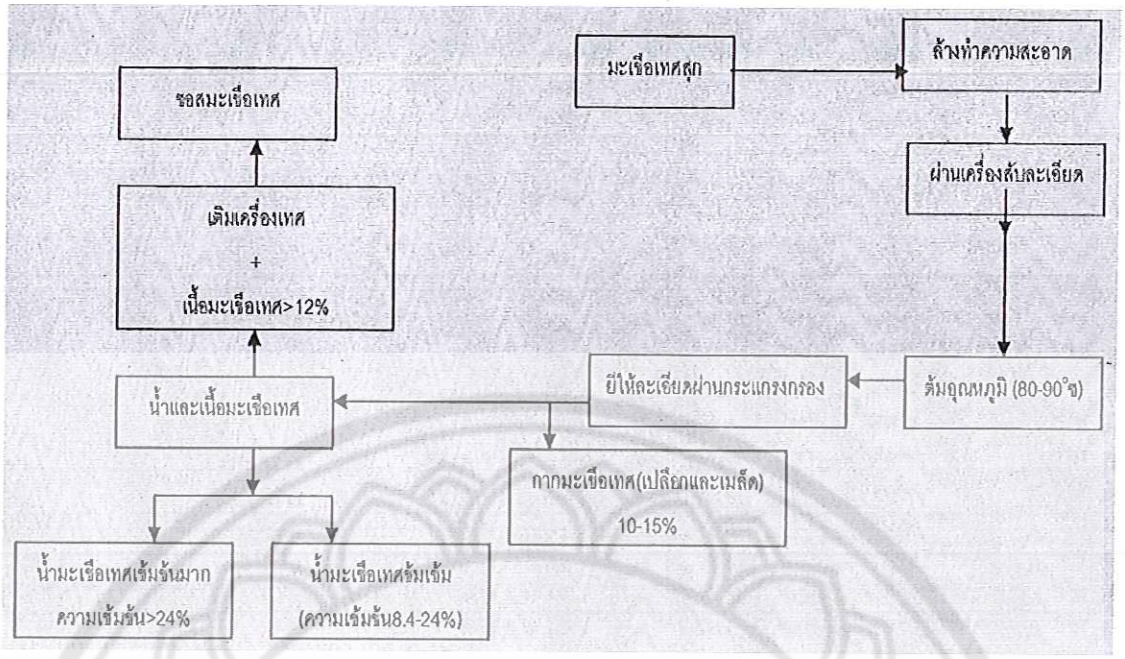
1/ = Gross energy

2/ = Metaboliziable energy (kcal/g.DM)

3/ = Nitrogen Free Extract (NFE)

2.2 กากมะเขือเทศ

มะเขือเทศที่ส่งเข้าโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังที่กล่าวมา จะมีกากเป็นเศษเหลือประมาณ 10-15% โดยอยู่ในรูปของผิว เปลือก และเมล็ด หรือประมาณ 4,000 ตัน/ปี ของปริมาณการผลิตทั้งประเทศซึ่งกากมะเขือเทศเหล่านี้มีสารอาหารอยู่หลายประเภท

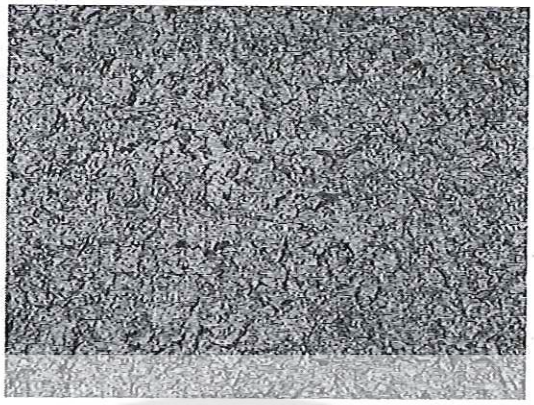


ภาพ 2.1 กระบวนการแปรรูป และผลพลอยได้จากโรงงานผลิต น้ำ และซอสมะเขือเทศ

ที่มา : ดัดแปลงจาก จินดา (2548)

ในภาคเหนือมีโรงงานแปรรูปผลิตซอส และน้ำมะเขือเทศขนาดใหญ่จำนวน 3 โรงงาน และภาคตะวันออกเฉียงเหนืออีกหลายโรงงานทั้งขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ผลมะเขือเทศที่ส่งเข้าโรงงานประมาณ 1.92 แสนตันต่อปี จะมีเศษเหลือใช้ (Waste products) ที่ได้จากการคั้นเอาน้ำมะเขือเทศออกตามกระบวนการแปรรูป ส่วนเหลือทิ้งเหล่านี้เรียกว่า กากมะเขือเทศ (Tomato pomace) ประกอบด้วยผิวเปลือก เนื้อบางส่วน และเมล็ด โดยคิดเป็นกากมะเขือเทศจากการแปรรูปประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ของการแปรรูป หรือประมาณ 1.9-2.89 หมื่นตันต่อปี

คุณค่าทางโภชนะของกากมะเขือเทศ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนะโดยเฉลี่ยจากรายงานวิจัยแหล่งต่างๆพบว่า ประกอบด้วย วัตถุแห้ง 92-95 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนเฉลี่ยประมาณ 17.86 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 4.97 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย และ NFE เท่ากับ 33.40 และ 33.78 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งตามลำดับ



ภาพ 2.2 กากมะเขือเทศสด

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของวัตถุแห้ง) ของกากมะเขือเทศชนิดเมล็ด ผิวเปลือก และเปลือกปนเมล็ด

	DM	CP	EE	CF	Ash	NFE	แหล่งที่มาของข้อมูล
<u>กากมะเขือเทศ</u>							
ผิวเปลือก	91.3	10.5	3.3	53.6	4.2	28.4	แก้วตา (2545)
เมล็ด	-	26.2	30.4	20.1	5.5	17.8	Abdel-Rahman (1982)
เปลือกปนเมล็ด	93.6	20.1	13.1	33.1	3.8	29.9	Squires et al. (1992)
	92.2	18.6	9.1	34.5	4.4	33.4	วิโรจน์ และคณะ (2539)
	-	23.2	18.9	30.1	3.4	24.4	Alicata et al. (1988)
	90-99	19.7	8.5	-	-	22.2	Bellea et al. (1977)
	NA	19.27	5.85	59.03*	3.92	NA	Del Valle et al. (2006)

NA = Data not available

*NDF (Neutral detergent fiber)

องค์ประกอบทางเคมี จากตารางที่ 2.2 กากมะเขือเทศชนิดผิวเปลือก มีโปรตีน ไขมัน และเถ้าต่ำกว่าเมล็ดมะเขือเทศ แต่มีปริมาณเยื่อใยและ NFE สูงกว่าในเมล็ดมาก แสดงว่าสารอาหารส่วนใหญ่อยู่ในเมล็ด สำหรับปริมาณโภชนะของเปลือกปนเมล็ดในรายงานต่างๆ พบว่ามีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากสัดส่วนของเปลือกและเมล็ด เนื่องจากสายพันธุ์ วิธีการเพาะปลูก ตลอดจนวิธีการแปรรูปที่แตกต่างกัน เยื่อใยในกากมะเขือเทศมีปริมาณสูง ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ pectin โดยสามารถทำให้ปริมาณของpectin ลดลงได้โดยใช้ความร้อน 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงตามไปด้วย แต่ไม่สามารถลดปริมาณของเฮมิเซลลูโลสได้ (hemicelluloses) ซึ่ง Riedl et al.,(1999) รายงานว่าปริมาณเยื่อใยที่สูงทำให้การดูดซึมไมโคโปนลดลง 40-74% โดยทั่วไปเยื่อใยจะมีกลุ่มของ carboxyl ซึ่งสามารถจับกับสารอาหาร เช่น Ca^{2+}, Zn^{2+} หรือจับกับสารพิษ เช่น Cd^{2+}, Hg^{2+} ได้ นอกจากนี้เยื่อใยยังสามารถดูดน้ำไว้ในเซล และช่วยลดคลอเลสเตอรอล (cholesterol) ได้ โดยจับกับเกลือน้ำดี

taurocholate หรือ glycocholate ช่วยเพิ่มการขับถ่ายและลดการดูดซึมกลับของน้ำดีที่ลำไส้เล็ก (Spellholz et al., 1999) จึงลดคลอเลสตอรอลได้เพราะ 80% ของคลอเลสตอรอลจะเปลี่ยนเป็นกรดน้ำดี ดังนั้นการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์น้ำดีจากคลอเลสตอรอลจะช่วยเพิ่มการขับคลอเลสตอรอลออกทางมูล (Schneeman, 2001) สอดคล้องกับ Alvarado et al., 1999 รายงานว่าหนูที่ได้รับกากมะเขือเทศซึ่งมีเยื่อใย 50 % โปรตีน 18 % และไขมัน 10 % วันละ 263 ก. สามารถลดการดูดซึมกลูโคส และคลอเลสตอรอลได้

โปรตีนที่พบมากในเมล็ดมะเขือเทศ ได้แก่ กลอบูลิน (globulin) อัลบูมิน (albumin) และกลูเท็น (gluten) โดยมีปริมาณ 39.2, 22.7 และ 2.9 % ของโปรตีน ตามลำดับ (Canella and castriotta,1980) ส่วนกรดอะมิโนที่พบมาก ได้แก่ ไลซีน (lysine) มีปริมาณ 4.94 ก./100 ก. โปรตีน แต่กรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (sulfur amino acid) มีในปริมาณต่ำมาก (0.78 ก./100 ก. โปรตีน) จึงถือได้ว่าเมทไธโอนีนเป็นกรดอมิโนที่ขาดมากเป็นอันดับแรก (Tsatsaronis and Boskou, 1975) ในขณะที่ กากมะเขือเทศชนิดเปลือกปนเมล็ดมีกรดอะมิโนไลซีนเพียง 0.94 ก./100 ก. โปรตีน แต่มีกรดอมิโนเมทไธโอนีนใกล้เคียงกันคือ 0.56 ก./100 ก. โปรตีน (วิโรจน์ และคณะ, 2539) ส่วนชนิดของกรดไขมัน Kochetov et al. (1981) รายงานว่า ในเมล็ดมะเขือเทศมีกรดไขมันปาล์มมิติก (palmitic; $C_{16:0}$), โอเลอิก (oleic; $C_{18:1}$) และลิโนเลอิก (linoleic; $C_{18:2}$) ปริมาณ 16.1, 25.5 และ 50.5% ของไขมัน ตามลำดับ

สีส่วนใหญ่ในผลมะเขือเทศจะอยู่ในรูปของไลโคปีน ในส่วนของกากมะเทศก็เช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของผิวเปลือกเพราะมีสีส้มแดงเช่นเดียวกับผลสด ไลโคปีนเป็นรงควัตถุสีแดงมีค่าการดูดกลืนแสง 470-500 nm สร้างโดยพืชและจุลินทรีย์บางชนิด สัตว์ไม่สามารถสร้างเองได้จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ไลโคปีนเป็นสารเทอร์ปีน (terpene) ที่ไม่มีโมเลกุลของออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจึงจัดอยู่ในรูปของ acyclic hydrocarbon carotenoid (Deman, 1990) แต่ถ้ามีอะตอมออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลเรียกแคโรทีนอยด์กลุ่มนี้ว่า แซนโทฟิล (xanthophyll) ออกซิเจนอาจอยู่ในรูป hydroxyl หรือ keto เช่น ลิวเทอีน (lutein), ไบซิน (bixin), แคนตาแซนทีน (camthaxanthin) ตามลำดับ

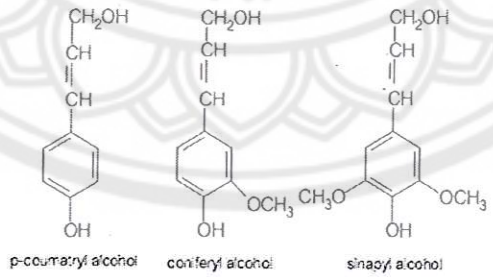
ไลโคปีนมีมากในมะเขือเทศสด และผลไม้อื่นๆ เช่น แตงโม มะละกอ แอปปริคอท และองุ่น เป็นต้น ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศคิดเป็นวัตถุแห้งประมาณ 75.5 มก./100 ก. (Shi et al., 1999) ซึ่งแปรปรวนตามสายพันธุ์ และสภาพแวดล้อม (Philouze et al., 1987) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไลโคปีนคือ 20-25 องศาเซลเซียส (Seyama and Abe, 1977) อุณหภูมิในช่วง 24-27 องศาเซลเซียส การสังเคราะห์ไลโคปีนจะถูกยับยั้งที่อุณหภูมิสูงเกินกว่า 30 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ผลมะเขือเทศที่สุกในช่วงอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมมีผลทำให้คุณภาพของสีต่ำ ทำให้ผลมีสีส้ม ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนของไลโคปีนต่อเบต้าเคโรทีนประมาณ 18 ต่อ 1 ถึง 21 ต่อ 1 (Frey, 1981 อ้างโดย วัชระ, 2533) และมีอิทธิพลจากการกลายพันธุ์ของยีนบางตัวร่วมด้วย จะทำให้อัตราส่วนของไลโคปีนต่อเบต้าแคโรทีนสูงขึ้นเป็น 49 ต่อ 1 (Mohr, 1979 อ้างโดยสุภาภรณ์, 2537) จึงทำให้ผลมะเขือเทศมีสีแดงเข้ม ซึ่งไลโคปีนมีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิเดนท์ (antioxidant) (Rao et al., 1998) ป้องกันเซลล์ถูกทำลายจากกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งมีออกซิแจนที่อยู่ในรูปของ reactive เช่น singlet

oxygen, superoxide anion redicals, hydrogenperoxide, peroxynitrite และ hydroxyl radical เป็นต้น ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) เนื่องจากอนุมูลอิสระเหล่านี้จะมีอิเล็กตรอนที่ไม่มีคู่ (unpaired electrons) ซึ่งจะพยายามดึงอิเล็กตตรอนของชีวโมเลกุลอื่นๆ ที่อยู่ข้างเคียง เช่น ไขมัน หรือโปรตีน เข้ามาก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง และการทำงานของเซลข้างเคียง เป็นสาเหตุของโรคและความชรา ไลโคปีนมีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิเดนท์ได้ดีกว่าเบตาแคโรทีน ลิวเทอีนและคริพโตแซนทีน เพราะไลโคปีน 1 โมเลกุล สามารถให้อิเล็กตรอนแก่ออกซิเจนได้หลายอะตอม(Annonymous, 2001) สอดคล้องกับ Steenson (1999) ที่รายงานว่าไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนปริมาณ 50 ppm ในน้ำมันถั่วเหลืองสามารถลดการเกิดอนุมูลอิสระได้ โดยไลโคปีนลดอนุมูลอิสระได้มากกว่า 10.5 %

2.3 ลิกนิน

2.3.1 ลักษณะของลิกนิน

ลิกนินเป็นสารโพลีเมอร์ขนาดน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10 ถึง 1,000 ดาลตัน หรือมากกว่า (Sarkanen and Ludwig, 1971; Eygelling, 1983) ที่สังเคราะห์ขึ้นจากหน่วย phenylpropanoid 3 ชนิดคือ coniferyl alcohol, sinapyl alcohol และ ρ-coumatyl alcohol (Crawford, 1981) (ภาพที่ 2.3) หน่วยย่อยทั้งสามชนิดมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (สมศักดิ์, 2528) ดังใน gymnosperm (soft wood) จะพบ coniferyl alcohol เป็นส่วนใหญ่ และพบบางส่วนเป็น ρ-coumatyl alcohol ส่วน angiosperm (hard wood) พบว่ามี coniferyl alcohol และ sinapyl alcohol ในปริมาณใกล้เคียงกัน พบ ρ-coumatyl alcohol เพียงเล็กน้อย (Bisaria and Chose,1981) หน่วยย่อยเหล่านี้จะจับตัวกันเป็นโครงสร้างสามมิติ โดยสร้างพันธะอีเทอร์ (ether) ระหว่างตำแหน่งที่สี่ของวงแหวนฟีนอล (phenol) กับคาร์บอนตำแหน่ง β ของ side chain ซึ่ง side chain ของลิกนินประกอบด้วย cinnamyl alcohol, aldehyde และ hydroxylated side chain



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างสารโมเลกุลเดี่ยวสามชนิดที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ลิกนิน
ที่มา: Crawford (1981)

2.3.2 การย่อยสลายลิกนิน

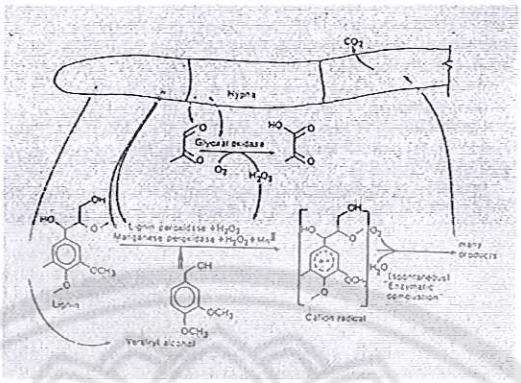
ลิกนินเป็นสารประกอบ aromatic ซึ่งถูกทำลายหรือย่อยสลายได้ค่อนข้างยาก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในกรด แต่ลิกนินสามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นด่างความเข้มข้นสูง และที่อุณหภูมิสูง ประมาณ 130-280 องศาเซลเซียส (Avgerinos and Wang, 1983) และอาจจะถูกออกซิไดซ์ได้ในบรรยากาศ (Janshekar and Fiechter, 1983) ในการย่อยสลายลิกนินทางเคมีทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีที่เป็นอันตราย ถึงแม้ว่าในดินโดยทั่วไปจะมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายลิกนินได้อาศัยอยู่จำนวนมากชนิดด้วยกัน แต่อัตราการย่อยสลายลิกนินเป็นไปอย่างช้าๆ (จิตรัตน์, 2542) จึงมีการศึกษาการย่อยสลายลิกนินโดยวิธีทางชีวภาพคือการใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยลิกนินคือ เชื้อรากลุ่ม Basidiomyces, Ascomyces และ แบคทีเรีย โดยเชื้อรากลุ่ม Basidiomyces มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายลิกนิน (Janshekar and Fiechter, 1983)

2.3.2.1 การย่อยสลายลิกนินโดยเชื้อรา

Kerem and Harder (1998) จัดแบ่งเชื้อราที่สามารถย่อยเนื้อไม้ได้ คือ white-rot fungi เป็นเชื้อราที่พบในไม้เนื้อแข็ง (hard wood) ขึ้นทั้งบนพื้นผิวและในเนื้อไม้ เชื้อรานี้เมื่อแห้งมีน้ำหนักเบา ถ้าได้รับความชื้นสามารถลอกหลุดออกจากเนื้อไม้ได้ white-rot fungi มีผนังเซลที่บางมาก เข้าแทรกเนื้อไม้ได้จนถึง middle lamella สามารถสร้างเอนไซม์ออกมานอกเซลได้ สามารถย่อยได้ทั้งเซลลูโลส และลิกนิน บางครั้งสามารถย่อยลิกนินได้ดีกว่าเซลลูโลส การย่อยสลายลิกนินในเนื้อไม้ของ white-rot fungi ประกอบด้วยกระบวนการออกซิเดชันโดยเอนไซม์ lignin peroxidase (LiP), manganese peroxidase (MnP) และ laccase เกิดพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของลิกนิน คือการลดจำนวนของหมู่ methyl ลดปริมาณ β-O-4 linkage เพิ่มปริมาณออกซิเจน เพิ่มกลุ่ม aliphatic compound และ aromatic carboxylic compound ทำให้ได้โครงสร้างลิกนินที่เป็น monomeric และ dimeric นอกจากนี้ white-rot fungi ยังสามารถออกซิไดซ์สารประกอบ phenolic ได้ (Hattakka, 1986) white-rot fungi สวนใหญ่เป็นเห็ดในกลุ่ม Basidiomycetes ได้แก่ family Agaricaceae, Hydnaceae, Telephoraceae, Corticiaceae และ Polyporaceae นอกจากนี้ยังมีราในกลุ่ม Ascomycetes ใน Order Spheriales (Kirk, 1971) white-rot fungi ที่มีการศึกษากันมาก ได้แก่ *Phanerochaete chrysosporium* (Gold and Alic, 1993), *Tremates sp.* (Pal et al., 1995; Arora and Gill, 2000; Levin et al., 2002; Nyanhongo et al., 2002), *Cerporiopsis subvermispora* (Akhtar et al., 1992; Johnson et al., 1993; Jensen et al., 1996; Enoki et al., 1999)

Kirk et al. (1988) ศึกษากลไกการย่อยสลายลิกนินของเชื้อรา *Phanerochaete chrysosporium* พบว่าเส้นใยเชื้อราสร้างเอนไซม์ย่อยลิกนินคือ lignin peroxidase (LiP), manganese peroxidase (MnP) และ glyoxal oxidase (GLOX) ซึ่งเป็นตัวสร้าง H_2O_2 ขณะเกิดการย่อยสลายลิกนิน LiP จะย่อยสลายโครงสร้างลิกนินที่เป็นนอนฟีนอลิก (non-phenolic) ในขณะที่มีการย่อยลิกนินเชื้อราจะสร้าง veratryl alcohol ทำหน้าที่เป็นตัวชักนำการสร้าง LiP และเป็นสารตัวกลางแลกเปลี่ยนประจุให้กับ LiP ส่วน MnP จะย่อยสลายโครงสร้างลิกนินที่เป็นฟีนอลิก (phenolic) และสร้าง Mn^{3+} สารตัวกลางใน

รูป aromatic และ aliphatic ที่เกิดขึ้นจะถูกเชื้อราใช้ สารตัวสุดท้ายที่ได้จากการย่อยสลายลิกนิน คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 กลไกการย่อยลิกนินของ Phanerochaete chrysosporium
ที่มา: Kirk et al. (1988)

Brown-rot fungi เป็นจุลินทรีย์ที่ย่อยสลาย wood polysaccharides ได้แก่เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของลิกนินโดยแทรกตัวเข้าไปที่ lumen ของเนื้อไม้ทำให้เกิดรูและการสึกกร่อนในผนังเซลของเนื้อไม้ได้อย่างรวดเร็ว เนื้อไม้ที่พบว่ามีการย่อยสลายของ brow-rot fungi จะมีสีน้ำตาลแดง และกรอบ สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปลา สามารถแบ่ง Brown-rot fungi ได้เป็น 2 กลุ่มคือ พวกที่สามารถย่อยสลายส่วนประกอบของผนังเซลล์ไม่ได้ทั้งหมด รวมถึงลิกนินด้วย และพวกที่สามารถย่อยสลายลิกนินได้เล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่ย่อย wood polysaccharide เชื้อราที่จัดเป็น Brown-rot fungi คือ *Postia placenta* (Larsen and Green, 1992), *Gloeophyllum trabeum* (Jensen et al., 2002)

Soft-rot fungi พบภายใต้สภาวะที่มีความชื้นมากๆ การย่อยสลายจะใช้เส้นใยที่มีลักษณะบางแทรกเข้าไปที่ผนังเซลล์ชั้นที่สอง (seconary wall) ของเซลล์เนื้อไม้สามารถย่อยสลายโพลีแซคคาไรด์ได้ดีแต่ย่อยสลายลิกนินได้อย่างช้าๆ (Blanchette, 1991) ได้แก่ ราในกลุ่ม Ascomycotina และ Deuteromycotina

White-rot fungi มีประสิทธิภาพมากที่สุดในธรรมชาติในการย่อยลิกนิน ส่วน Brown-rot และ Soft-rot fungi สามารถย่อยลิกนินได้อย่างช้าๆ

<u>ระยะเวลาในการหมัก</u>

ปิติกานต์ (2551) รายงานว่า การลดลิกนินและผลิตเอนไซม์ลิกนิโนไลติกในระหว่างการหมักเปลือกเมล็ดทานตะวันโดยเห็ดลม *Lentinus polychrous* Lev. ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วันในภาชนะที่มีฐานกว้าง (เพื่อลดปัญหาเรื่องความร้อนสะสม) และมีปากแคบ ปิดปากภาชนะด้วยสำลีเพื่อป้องกันการปนเปื้อนระหว่างการหมัก ซึ่งสภาวะนี้ส่งเสริมการสร้างเอนไซม์แลคเคสได้ดีที่สุด และส่งผลให้เกิดการย่อยลิกนินได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ Shan et al. (2005) รายงานว่า การผลิตเอนไซม์

ลิกนิโนไลติกจาก *Phylosticta spp.* MPS-001และ Aspergillus spp. MPS-002 ในการหมักใบกล้วยและลำต้นกล้วย (pseudostem banana) แบบอาหารแข็งที่อุณหภูมิ 32±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 วัน พบว่าเชื้อราทั้ง 2 ชนิด สามารถผลิตเอนไซม์ลิกนิโนไลติก (เอนไซม์แลคเคส และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส) ได้สูงสุดในวันที่ 20 ของการเพาะเลี้ยง และเชื้อราทั้ง 2 ชนิดสามารถย่อยสลายลิกนินได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เติมเชื้อรา

2.3.2.2 การย่อยสลายลิกนินโดยแบคทีเรีย

แบคทีเรียจำนวนมากทั้งแกรมลบ และแกรมบวกมีความสามารถในการย่อยสลายลิกนินได้แต่ถึงอย่างไรก็ตามกระบวนการย่อยสลายในแบคทีเรียเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และไม่สมบูรณ์เมื่อเทียบกับเชื้อรา การย่อยสลายของแบคทีเรียต้องการสภาวะที่มีอากาศเพียงพอจึงจะมีประสิทธิภาพสูง แบคทีเรียแกรมลบที่สำคัญในการย่อยลิกนิน คือ *Pseudomonas sp., Xanthomonas sp., Achromobacter sp., Aeromonas sp., Agrobacterium sp., Beijerinckian sp. และ Erwinia sp.* ส่วนแบคทีเรียแกรมบวกที่มีการศึกษาถึงการย่อยลิกนินน้อยในกลุ่ม Actinomycetes ได้แก่ *Streptomyces sp., Actinomadura sp., Arthobacter sp., Corynebacterium sp., Nocardia sp., Rhodococcus sp.* และ *Thermomonospora sp.* (Zimmermann, 1990)

2.3.2.3 การย่อยสลายลิกนินโดยเอนไซม์

<u>การใช้เอนไซม์ลิกนิโนไลติก</u>

เอนไซม์แลคเคส (Laccase) มีชื่อตามระบบว่า p-diphenol : dioxygen oxidoreductase หรือ benzenediol : oxygen oxidoreductase หรือ urishiol oxidase (EC 1.10.3.2) (IUBMB, 1992) เป็นเอนไซม์ที่ประกอบไปด้วยโลหะทองแดงหลายหมู่ ซึ่งจะรีดิวซ์โมเลกุลของออกซิเจนให้เป็นน้ำและกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของ aromatic compound เช่น diphenol-methoxy-substituted monophenols และ aromatic maines เป็นต้น เอนไซม์แลคเคสถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1883 ซึ่งถือได้ว่าเป็นเอนไซม์ที่เก่าแก่ที่สุดชนิดหนึ่ง แหล่งที่มาของเอนไซม์แลคเคสแบ่งได้ 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ จากพืชชั้นสูงและฟังไจ มีรายงานว่าพบสารที่คล้ายเอมไซม์แลคเคสในแบคทีเรียและแมลง (Mayer and Staples, 2002)

<u>เอนไซม์ลิกนินเพอร์ออกซิเดส (Lignin peroxidase)</u> มีชื่อตามระบบว่า Diarylpropane : oxygen, hydrogen peroxide oxidoreductase (C-C-bond-cleaving) หรือ diarylpropane oxygenase; ligninase I (EC 1.11.1.14) (IUBMB, 1992) เอนไซม์ชนิดนี้จัดว่าอยู่ในกลุ่มไอโซเอนไซม์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสามารถแบ่งออกเป็น 3 class ได้แก่

-Class I : Pea cytosolic ascorbate peroxidase

-Class II : Arthromyces ramosus peroxiqase (ArP), Coprinus cinereus peroxidase (CiP), lignin peroxidase (liP) และ manganese peroxidase (MnP) (จากพืชและฟังไจ)

-Class III : Horseradish peroxidase (HRP), tobacco peroxidase, barley peroxidase และ peanut peroxidase

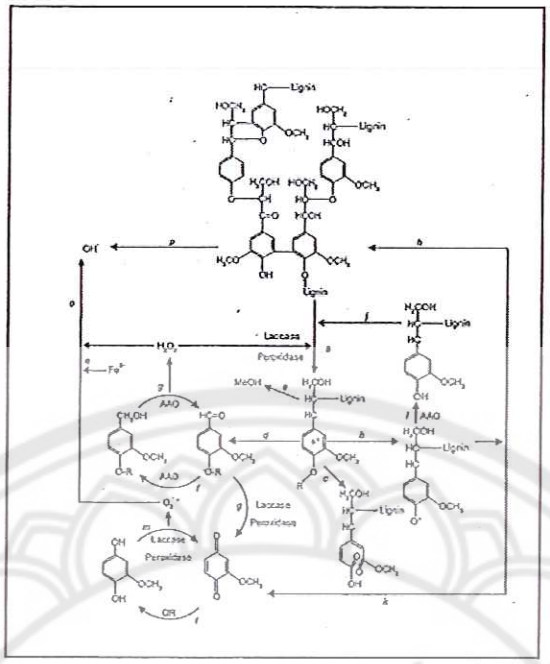
เอนไซม์แมงกานีสเปอร์ออกซิเดส (manganese peroxidase)

มีชื่อตามระบบว่า Mn (II) : hydrogen peroxide oxidoreductase (EC 1.11.1.13) (IUBMB, 1992)

กลไกลการทำงานของเอนไซม์ลิกนิโนไลติก

เริ่มจากเอนไซม์แลคเคสและเพอร์ออกซิเดส (รวมทั้งลิกนินเพอร์ออกซิเดส และแมงกานีสออกซิเดส) ออกซิไดซ์สารประกอบลิกนินให้อยู่ในรูปของ aromatic radical (ปฏิกิริยา a) หลังจากนั้นเกิดการตัดพันธะที่ตำแหน่งต่างๆ กัน ได้แก่ C4-ether breakdown ซึ่งเป็นการตัดหมู่ R- ที่ตำแหน่งคาร์บอนอะตอมที่ 4 (ปฏิกิริยา b) ตัดภายในวง aromatic (ปฏิกิริยา c) ตัดระหว่างคาร์บอนอะตอมที่ตำแหน่ง α และ β (ปฏิกิริยา d) และการตัดหมู่ methyl- (ปฏิกิริยา e) จากปฏิกิริยา b สารประกอบฟีนอลในรูป radical สามารถเกิดการเรียงตัวใหม่เป็นสารประกอบลิกนินได้ (ปฏิกิริยา h) หรืออาจถูกออกซิไดซ์โดยเอนไซม์ aryl-alcohol oxidase (AAO) (ปฏิกิริยา l) และเกิดปฏิกิริยากับเอนไซม์แลคเคส และเอมไซม์เพอร์ออกซิเดสอีกครั้ง (ปฏิกิริยา a) นอกจากนี้อาจเกิดปฏิกิริยา k สาร quinines จากปฏิกิริยา g และ k จะเข้าสู่ redox cycling reaction เพื่อผลิตออกซิเจนโดยเอนไซม์ quinine reductase (QR) แลคเคสและเพอร์ออกซิเดส (ปฏิกิริยา I และ m) และจากปฏิกิริยา d จะได้สารประกอบแอลดีไฮด์ (ปฏิกิริยา f และ g) ซึ่งสารประกอบทั้งสองจะทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเพอร์ออกซิไดซ์ในปฏิกิริยา cyclic redox reaction โดยเอนไซม์ AAO และ aryl-alcohol dehydrogenase (AAD)

เฟอริกไอออน (Fe^{3+}) ที่มีอยู่ในเนื้อไม้จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ superoxide cation radical หรือ semiquinone radical ได้โดยตรง และเกิดเป็น hydroxyl radical (ปฏิกิริยา o) สารตัวนี้ออกซิไดซ์รุนแรงมาก ซึ่งจะจับกับสารประกอบลิกนินในระยะแรกของการสลายตัวของลิกนิน (ปฏิกิริยา p) แต่ในขณะที่เซลล์พืชมีช่องขนาดเล็กมากทำให้ขัดขวางการเข้าถึง ของเอนไซม์ ดังนั้นจึงต้องออกซิไดซ์ตามที่กล่าวมา และในระยะสุดท้ายของการสลายลิกนินจะได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งเชื้อราไวท์ร็อท สามารถนำไปใช้ได้ต่อไป (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2. 5 กลไกลการทำงานของเอนไซม์ลิกนินโนไลติกจากเชื้อราไวร์อท
ที่มา : Martinez et al. (2005)

2.3.2.4 การย่อยสลายลิกนินโดยใช้กระบวนการหมัก

อาหารหมัก หมายถึงผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตโดยใช้วัตถุดิบจากพืชหรือสัตว์และใช้กิจกรรมของ จุลินทรีย์ซึ่งได้แก่แบคทีเรีย ยีสต์หรือเชื้อรา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันทางด้านรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและอายุการเก็บรักษาหรือความคงตัว (stability) การผลิตอาหารหมักหลายชนิดเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการหมักทางชีวเคมี เช่นแบคทีเรียแลคติค ซึ่งหมักคาร์โบไฮเดรตทำให้ได้กรดแลคติค (ธีรพร, 2546)

พืชหมักหรือหญ้าหมัก (Silage) หมายถึงพืชอาหารสัตว์ต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หญ้า และถั่วต่างๆ ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่มีความชื้นพอเหมาะ แล้วนำมาหมักเก็บไว้ในสภาพไร้อากาศ (Anaerobic condition) คือเก็บถนอมไว้ในสภาพหมักดอง เมื่อพืชอาหารสัตว์เหล่านี้ได้เปลี่ยนสภาพเป็นพืชหมักแล้ว จะสามารถอยู่ได้เป็นเวลานานโดยคุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลง พบว่าสิ่งที่ทำให้พืชหมักมีสภาพคงที่คือ กรดแลคติค (สายัณห์, 2540) ซึ่งเกิดจากการทำงานของแบคทีเรียแลคติค ที่ใช้คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (Water soluble carbohydrate; WSC) ที่มีในพืช ได้ผลผลิตเป็นกรดแลคติค ส่งผลให้ค่า pH ลดลง หยุดกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้น มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นประโยชน์ หรือที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชหมัก ทำให้สภาพของพืชหมักคงที่ ซึ่งจะช้าหรือเร็วขึ้นนั้นอยู่กับปริมาณของแบททีเรียแลคติค (อารีรัตน์, 2546)

การหมัก (fermentation) ในด้านชีวเคมี หมายถึงกระบวนการที่สารประกอบอินทรีย์ (โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรต) ถูกย่อยสลายทำให้ได้พลังงาน โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับตัวรับอิเล็คตรอนตัวสุดท้าย เช่นออกซิเจน ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นบางส่วนทำให้ได้พลังงานจาก ATP เพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาที่มีตัวรับอิเล็คตรอนตัวสุดท้ายเข้ามาเกี่ยวข้องสารประกอบต่างๆ ที่สร้างขึ้นจากจุลินทรีย์มีความแตกต่างกันอย่างมาก ขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์แต่ละชนิดและเกิดจากปฏิกิริยาที่แตกต่างกันภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ (ธีรพร, 2546) กระบวนการหมักอาหาร สามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

1. กระบวนการหมักอาหารที่เป็นกรด (acid food fermentations) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์น้ำนมหมัก เช่นเนยแข็ง เนยเหลว โยเกิร์ต และคีเฟอร์ (kefir) ผลิตภัณฑ์ผักหมักเช่น กะหล่ำปลีหมัก (sauerkraut) มะกอกและผักดองอื่นๆ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์หมักเช่น เนื้อหมักกึ่งแห้ง ได้แก่ cerevilat และเนื้อหมักชนิดแห้งเช่น ซาลามีและเพพเพอโรนี รวมทั้งผลิตภัณฑ์ขนมอบเช่นขนมปังเปรี้ยว (sourdough breads) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์อาหารหมักชนิดที่เป็นกรดนี้ส่วนใหญ่ผลิตโดยใช้แบคทีเรียแลคติค ในปัจจุบันการผลิตส่วนใหญ่ใช้เชื้อเริ่มต้น ยกเว้นการผลิตกะหล่ำปลีหมัก ซึ่งกระบวนการดังกล่าวยังใช้เชื้อแบคทีเรียแลคติคที่ปนเปื้อนจากธรรมชาติบนใบของกะหล่ำปลี ในบางครั้งการหมักประเภทนี้ต้องเติมน้ำตาลลงไปเพื่อปรับให้มีปริมาณที่พอเหมาะต่อการเจริญของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติค โดยเฉพาะในวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ นอกจากนั้นยังอาจเติมเกลือ เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั่วไปที่ทำให้กระหล่ำปลีหมักเสื่อมเสียและทำให้แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคเจริญได้ดีขึ้น ในส่วนของวัตถุดิบ อาจนำไปพาสเจอไรส์เพื่อทำลายเชื้อโรค และลดเชื้อจุลินทรีย์ตามธรรมชาติเริ่มต้น ซึ่งสามารถเจริญแข่งขันกับแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคที่ใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นได้

2. กระบวนการหมักโดยยีสต์ (yeast fermentations) ยีสต์มีความสำคัญในกระบวนการหมัก เนื่องจากสามารถสร้างคาร์บอนไดออกไซด์และเอธานอล สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์นั้นเป็นผลิตผลจาก เมตาโบลิซึมที่สำคัญและใช้ในการผลิตขนมอบทำให้ขึ้นฟู ส่วนเอธานอลเป็นผลิตผลที่ได้จากการผลิตเบียร์ ไวน์และสุรา ทั้งคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งตัวเซลล์ยีสต์เองเป็นผลิตผลพลอยได้ (byproducts) ที่สำคัญในการผลิตเบียร์

3. กระบวนการหมักในสภาวะของแข็ง (solid state fermentations) กระบวนการหมักประเภทนี้เกี่ยวข้องกับการใช้วัตถุดิบเริ่มต้นที่เป็นของแข็งมาใช้ในกระบวนการหมัก แล้วจึงเติมจุลินทรีย์เข้าไป โดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ใช้คือเชื้อรา ตัวอย่างเช่นในกระบวนการผลิตโคจิ และในขั้นตอนที่สองของกระบวนการหมักเทมเป้

4. กระบวนการหมักอาหารวิธีดั้งเดิมและอาหารหมักของชาวตะวันออก อาหารหมักในกลุ่มนี้มีมากมายหลายชนิดแตกต่างกันไปตามพื้นที่หรือประเทศ โดยเฉพาะในแถบทวีปเอเชียและแอฟริกา ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มักไม่เป็นที่รู้จักในประเทศตะวันตก ในกระบวนการหมักอาหารดังกล่าวมีการใช้แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคบ้าง แต่มักใช้ยีสต์และเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งเป็นกระบวนการหมักใน

สภาวะของแข็ง ระดับการผลิตของผลิตภัณฑ์หมัก มักจะทำการผลิตในระดับครัวเรือน แต่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เพียงเล็กน้อย (ธีรพร, 2546)

การหมักเป็นวิธีการเก็บถนอมพืชอาหารสัตว์โดยการทำงานของแลคติคแอซิดแบคทีเรียในสภาพธรรมชาติที่ปราศจากอากาศ ซึ่งจะใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ที่มีอยู่ในพืช ได้ผลผลิตเป็นกรดแลคติค (Lactic acid) และกรดอะซิติค (Acetic acid) ทำให้พืชหมักมีค่า pH ลดลง (อารีรัตน์, 2546) มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ประเภทที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ แบคทีเรียพวก Clostidium ที่เกิดขึ้นในช่วงการหมัก ในกระบวนการหมักนั้น หลังจากนำพืชสดเข้าไปในหลุมหมักแล้วอัดให้แน่นและปิดหลุม จะมีอากาศบางส่วนที่ยังมีอยู่ในหลุมในปริมาณที่จำกัดและเคลื่อนไหวได้น้อย ซึ่งเซลล์ของพืชที่ยังมีชีวิตอยู่ เอนไซม์ต่างๆก็ยังทำงานตามปกติ เปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์และสิ่งเน่าเปื่อยผุพัง และแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) ภายในนั้นจะใช้ในกระบวนการหายใจ ขณะเดียวกันพวกยีสต์และเชื้อราก็จะมีการเพิ่มจำนวนขึ้น แต่เมื่ออากาศหรือออกซิเจนถูกใช้หมดไปก็จะไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้และตายลง พวกเอธิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) หรือเอธานอล (Ethanol) ก็จะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดอะซิติค และกระบวนการหมักที่ไม่มีออกซิเจนก็จะเกิดขึ้นโดยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการทำพืชหมัก ผลผลิตที่ได้คือกรดแลคติค ซึ่งเป็นกรดที่มีความสำคัญ และทำให้พืชหมักมีค่า pH ประมาณ 4.2 หรือน้อยกว่า การทำงานของแบคทีเรียพวกนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลถ้ามีมาก และอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน จะทำให้เกิดกรดแลคติคเร็วขึ้น ช่วยชะงักการเจริญของพวกจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดความเสียหาย และทำให้พืชหมักยังคงสภาพที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้ดีต่อไป

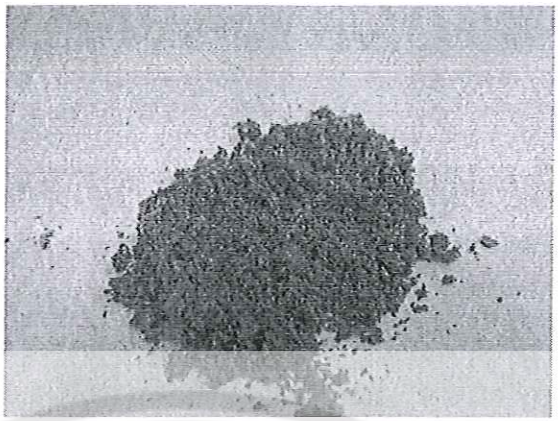
โดยหลักการแล้วพืชหมักที่มีคุณภาพดีควรมีค่า pH ประมาณ 4.2 หรืออาจต่ำกว่านี้ ประกอบด้วยกรดแลคติค 3-13% กรดบิวทีริค (Butyric acid) น้อยกว่า 2% และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) น้อยกว่า 11% ของไนโตรเจนรวม (สายัณห์, 2540) มีวัตถุแห้งอยู่ระหว่าง 25-35% พืชหมักที่ดีควรมีสีเขียวแกมเหลืองหรือน้ำตาลอ่อน และมีกลิ่นหอมของกรด ไม่เน่าเหม็น และกลิ่นไม่ฉุน (อารีรัตน์, 2546)

ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักใช้การเพาะเลี้ยงแบบ aerobic submerged fermentation ในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน (stirred-tank reactor) เนื่องจากควบคุมสภาวะในการเจริญได้ดีกว่าแบบ solid หรือ semi-solid state fermentation ซึ่งใช้ผลิตเอนไซม์หลายชนิดจากรา ขนาดของถังหมักที่ทำให้การผลิตคุ้มค่ามักอยู่ในช่วง 20-200 ลูกบาศก์เมตร โดยปริมาณของเอนไซม์ที่ผลิตอยู่ในระดับปริมาณ 1 แสนลิตร สภาวะในถังหมักของระดับอุตสาหกรรมอาจใช้ข้อมูลบางส่วน เช่น อัตราการกวน การให้อากาศ และสารอาหารจากถังหมักระดับห้องปฏิบัติการ และระดับขยายส่วน (pilot-scale) ประเด็นสำคัญเพื่อให้เกิดการผลิตสูงสุดในถังหมัก คือต้องควบคุมการเจริญของเซลล์ โดยคำนึงถึงอัตราการถ่ายโอนออกซิเจนมวลและความร้อนของประชากรจุลินทรีย์ ปัจจัยหลักที่ต้องควบคุมในถังหมักจึงประกอบไปด้วย pH อุณหภูมิ ความดันออกซิเจน ปริมาณฟองอากาศ ความร้อนที่เกิด อัตราการหายใจ การถ่ายโอนมวลและความร้อน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักสามารถแยกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. สารเคมีที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีในการย่อยอาหารของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักนั้น ในระหว่างการเจริญของจุลินทรีย์เพื่อใช้สร้างพลังงาน หรือสารบางอย่างที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างเซลล์
2. สารเคมีโมเลกุลใหญ่ เช่น เอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ โปรตีน และฮอร์โมน เป็นต้น
3. สารเคมีที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นโดยที่ไม่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการเมตาบอลิซึมในการสร้างพลังงาน และสารประกอบที่จำเป็นสำหรับการสร้างเซลล์ เช่น ยาปฏิชีวนะ และสารพิษจากแบคทีเรียหลายชนิดเป็นต้น

2.4 การใช้กากมะเขือเทศเป็นอาหารสัตว์

กากมะเขือเทศสดจากโรงงาน มีลักษณะเปียกมีความชื้นสูง ทำให้ไม่นิยมในการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ ดังนั้นการนำกากมะเขือเทศมาใช้เป็นอาหารสัตว์ต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้แห้ง เช่น การอบแห้ง หรือผึ่งแดด 2-3 วัน จึงจะนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือเพิ่มอายุในการเก็บรักษาได้ เช่นเดียวกับวัตถุดิบอื่นๆ ภาพกากมะเขือเทศอบแห้งบดละเอียดดังแสดงในภาพที่ 2.6 และเมื่อเปรียบเทียบกากมะเขือเทศกับวัตถุดิบอาหารพลังงานชนิดอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ถึงแม้กากมะเขือเทศจะมีโปรตีนสูง แต่มีปริมาณ เยื่อใย (NDF) และลิกนินสูงด้วยเช่นกัน ทำให้การนำกากมะเขือเทศไปใช้เป็นอาหารสุกรได้ในปริมาณไม่สูงมาก มีงานวิจัยเพื่อศึกษาการนำกากมะเขือเทศ ไปใช้ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องจำนวนมาก สามารถใช้ในส่วนอาหารหยาบได้ถึง 50% ทั้งในรูปสด แห้ง หรือหมัก ส่วนคำแนะนำในการใช้ในอาหารสุกรรุ่นได้ 6% สุกรขุน 35% (Caluya et.al.; 2000) และมีรายงานการใช้กากมะเขือเทศในไก่กระทงได้ 5% และไก่ไข่ใช้ได้ 12% ในอาหาร (Caluya R.R; http://www.neda.gov.ph/Knowledge-emporium/details.asp?DataID= 102) นอกจากนี้ กากมะเขือเทศมีส่วนประกอบของเมล็ดประมาณ 50% ซึ่งในส่วนของเมล็ดจะมีส่วนประกอบหลักคือวิตามินอี (Alpha-tocopherol) ซึ่งสามารถเป็นแหล่งวิตามินอีที่ดีสำหรับสัตว์ และช่วยในด้านคุณภาพเนื้อ ซึ่งมีการศึกษาในไก่กระทง พบว่าใช้กากมะเขือเทศได้ถึง 30% และช่วยลด Lipid Oxidation ในเนื้อไก่ได้ (King and Gideon, 2004) แต่ Ayhan and Akan (2004) รายงานจากการวิจัยว่าสามารถใช้ในไก่กระทงได้เพียง 6% สำหรับในไก่ไข่ตามที่ Mansoori et.al. (2008) รายงานว่าสามารถใช้กากมะเขือเทศ ได้ 10% ของสูตรอาหาร ทดแทนในส่วนรำข้าวสาลี ให้ผลที่ดีด้านคุณภาพไข่และผลผลิตไข่ สำหรับการศึกษาวิจัยในสุกรยังมีอยู่น้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากข้อจำกัดด้านปริมาณเยื่อใยและลิกนิน ทำให้ไม่เหมาะสมกับการนำมาเป็นวัตถุดิบอาหารสุกร



ภาพที่ 2.6 กากมะเขือเทศอบแห้งบดละเอียด

Caluya et al. (1999) รายงานว่า การใช้กากมะเขือเทศสดในสูตรอาหารสุกรขุน สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ เช่น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด ปริมาณที่ใช้เท่ากับ 35 % และสามารถช่วยลดต้นทุนด้านการผลิตลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ทั้งนี้คุณภาพของกากมะเขือเทศสดที่ใช้ในอาหารสุกรขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตซึ่งให้ได้กากมะเขือเทศมา สำหรับการใช้เลี้ยงเป็ดเทศอายุ 4-12 สัปดาห์ ให้อาหารแบบเต็มที่ สามารถใช้กากมะเขือเทศแห้งได้ 20 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารซึ่งมีโปรตีน 16 % สามารถลดต้นทุนค่าอาหารลงได้ (วิโรจน์ และคณะ, 2539) สำหรับในโคขุนสามารถใช้กากมะเขือเทศในโคขุนทดแทนหญ้าสดและหญ้าแห้ง ทำให้โคสามารถกินกากมะเขือเทศได้ในปริมาณที่สูงกว่า หญ้าสด หรือหญ้าแห้ง และมีแนวโน้มของประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีกว่า (บัญชา และคณะ, 2541)

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณค่าโภชนะทางอาหารของวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่างๆ

วัตถุดิบ	คุณค่าโภชนะทางอาหาร (เปอร์เซ็นต์)						ราคา บาท/กก. (±0.5 บาท)
	วัตถุแห้ง	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย ADF	พลังงาน (kcal/kg)	
กากมะเขือเทศแห้ง	92.10	17.86	8.23	4.79	33.40	1,700	6.50
รำข้าว	90.00	12.00	12.00	10.90	13.00	3,120	9.44
รำข้าวสาลี	89.00	15.00	3.46	5.00	13.00	2,275[1/]	8.50
มันเส้น	87.00	2.00	0.75	5.09	4.60	3,260	7.50
ปลายข้าว	88.00	8.00	0.90	0.70	12.20	3,596	10.00

ที่มา : ดัดแปลงจาก วิทยา และคณะ (2540)

[1/] NRC (1998)

จากตาราง 2.3 จะสังเกตุได้ว่า ราคาของรำข้าว ปลายข้าว รำข้าวสาลี มันเส้น จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนเป็นข้อจำกัดของการเลี้ยงสุกร ที่ทำให้ต้องพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ เช่นรำข้าวสาลี ดังนั้นกากมะเขือเทศซึ่งมีราคาถูก ทั้งที่มีโปรตีนกว่า 17% แต่มีข้อจำกัดด้านเยื่อใยและลิกนิน แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมันเส้น ที่มีเยื่อใยต่ำ และโปรตีนต่ำแต่เป็นแหล่งของพลังงานส่วนใหญ่ และมันเส้นบดสามารถดูดความชื้นได้ดี ดังนั้นการใช้กากมะเขือเทศมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ควบคู่กับมันเส้นบด อาจไม่จำเป็นต้องทำให้กากมะเขือเทศแห้งก่อน ก็จะช่วยลดต้นทุนด้านพลังงาน และคงคุณค่าทางอาหารได้มากกว่า

Squires, et al. (1992) นำกากมะเขือเทศไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารไก่เนื้อ โดยทำการปรับทั้งระดับ ME และเยื่อใยของสูตรอาหารที่ใช้กากมะเขือเทศให้มีปริมาณเท่ากับกลุ่มควบคุม รวมทั้งนำกากมะเขือเทศไปผ่านกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การแช่น้ำ แช่กรดและแช่ด่าง หรือผ่านความร้อนเพื่อทำลายสารพิษและช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในกากมะเขือเทศก่อนนำไปใช้เป็นส่วนผสมของสูตรอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 10 และ 20 % ผลการทดลองพบว่า การนำกากมะเขือเทศที่แช่ด่างมาเสริมในอาหารที่ระดับ 20% ทำให้ไก่มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นมากกว่าทุกกลุ่ม ในขณะที่การสริมกากมะเขือเทศแช่ด่างที่ระดับ 10 % ให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ไก่ที่ได้รับการเสริมกากมะเขือเทศที่ผ่านความร้อนจะมีการเพิ่มน้ำหนักและอัตราการเปลี่ยนอาหารใกล้เคียงกับกลุ่มที่ได้รับกากมะเขือเทศปกติ ทั้งระดับที่ 10 และ 20 % ซึ่งการใช้กากมะเขือทัง 2 ระดับไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ แสดงว่าในกากมะเขือเทศไม่มีสารพิษ หรือมีในระดับที่ต่ำมาก จนไม่ก่อให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของไก่ จากรายงานของ Peiretti et al. (2013) ทดลองนำกากมะเขือเทศเป็นอาหารกระต่ายขุน พบว่าสามารถใช้ได้ถึง 6% ช่วยให้สีของเนื้อดีขึ้น และความพึงพอใจต่อคุณภาพเนื้อดีขึ้นกว่าไม่ใช้กากมะเขือเทศ

2.5 มันสำปะหลัง

จัดเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทยมากพืชหนึ่ง เพราะมีการปลูกกระจัดกระจายอยู่ทั่วทุกภาคในประเทศ โดยเฉพาะภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือตอนบน เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่ขึ้นได้บนดินหลายชนิด ไม่ต้องการการดูแลเอาใจใส่มาก การลงทุนไม่มากทนต่อสภาพความแห้งแล้งได้ดี เกษตรกรจึงนิยมปลูกกันมาก ทำให้ประเทศไทยสามารถปลูกมันสำประหลังสดปีละ 20-23 ล้านตันซึ่งสามารถทำเป็นมันเส้นในรูปของการทำแป้งและอัดเม็ดเป็นมันสำปะหลังอัดเม็ด ในประเทศไทยมีการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังมากขึ้น โดยเฉพาะการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากมีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งอาหารให้พลังงานชนิดอื่น คุณค่าทางอาหารของมันสำปะหลังประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนประกอบ 75–80 % มีโปรตีนประมาณ 1.5–2 % ไขมัน 0.75 % เยื่อใย 4.6 % และเถ้า 5.09 % ไพรัตน์ และคณะ (มปป.) รายงานว่าการใช้มันสำปะหลังในอาหารแม่สุกรพันธุ์ไม่มีผล

ต่อให้สมรรถภาพการสืบพันธุ์ของแม่สุกร เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปลายข้าวในอาหาร และมีแนวโน้มว่าการใช้มันสำปะหลังให้ผลดีในด้านการควบคุมสภาพร่างกายได้ดีกว่าการใช้ปลายข้าวในการเลี้ยงสุกรพันธุ์

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยประกอบด้วยการทดลองจำนวน 2 การทดลองคือ

3.1 การทดลองที่ 1: การเตรียมกากมะเขือเทศสดผสมกับมันสำปะหลัง (Tomato Pomace-Cassava Mixes; TPCM) โดยการหมักด้วยเชื้อราขาว

3.1.1 วิธีการทดลอง

1) นำกากมะเขือเทศสดผสมกับมันสำปะหลังในอัตราส่วน 80:20 กก. (Tomato Pomace-Cassava Mixes; TPCM) อัตราส่วนที่ใช้คำนวณจากน้ำหนักแห้งของกากมะเขือเทศร่วมกับมันสำปะหลัง โดยใช้ปริมาณโปรตีนเป็นเกณฑ์ในการคำนวณเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ใช้คำนวณเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้มีปริมาณเปอร์เซ็นต์โปรตีนใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์โปรตีนของปลายข้าว ข้าวโพด และรำละเอียด เมื่อผสมให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปผึ่งแดด 1 วัน เพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก ความชื้น 35±0.5% (กิตติยา และคณะ, 2545)
2) วางแผนการทดลอง 3x6 Factorial arrangement in CRD โดยปัจจัยแรกคืออัตราส่วนของ TPCM 2000, 2500 และ 3000 กรัมต่อปริมาตรเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อ 300 มล. ปัจจัยที่สองคือ ระยะเวลาการหมักที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 วันตามลำดับ โดยหมักตัวอย่างละ 5 ซ้ำ (ดัดแปลงจากปิติกานต์, 2551 และ กิตติยา และคณะ, 2545)
3) เพาะเลี้ยงเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 300 มล.บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 7 วัน โดยใช้ตัวชี้วัดคือเมื่อเส้นใยเจริญเต็มเพลตแล้ว นำมาใส่ในเครื่องปั่น เพื่อตัดเส้นใยเป็นชิ้นเล็กๆ นำมาผสมใส่ในถังหมักร่วมกับ TCMP 2000 2500 และ 3000 กรัม ตามลำดับ ต่อปริมาตรเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อ 300 มล. หรือคิดเป็นปริมาณเชื้อราขาวที่ใช้ เท่ากับ 1.5, 1.2 และ 1 % ตามลำดับ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 วัน สุ่มเก็บตัวอย่างทุกๆ 10 วัน (ดัดแปลงจากปิติกานต์, 2551 และกิตติยา และคณะ, 2545) นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสทันที เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาจากเชื้อจุลินทรีย์

3.1.2 การวิเคราะห์ทางเคมีและสถิติ

การนำ TCMP ทั้งที่ไม่ได้หมัก (ที่ 0 วัน) และที่ได้จากการหมักที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 วันตามลำดับ ในอัตราส่วนต่างๆ มาวิเคราะห์หาปริมาณลิกนิน และองค์ประกอบทางโภชนะโดยวิธี proximate analysis (AOAC, 2000) และหาค่า

พลังงานด้วยเครื่อง bomb calorimeter วิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูล โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple range test (Steel and Torrie,1980)

3.1.3 ดัชนีชี้วัด : อัตราส่วนและระยะเวลาการหมักที่เหมาะสมที่สุด คือ ปริมาณเยื่อใยและลิกนินที่ต่ำสุด จะผลิตเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้สำหรับการทดลองที่ 2 ต่อไป

3.2 การทดลองที่ 2 : ประสิทธิภาพของกากมะเขือเทศหมักต่อการย่อยและใช้ประโยชน์ได้โภชนะของสุกร

3.2.1 วิธีการทดลอง

ทดสอบในสุกรระยะรุ่นลูกผสมสามสายพันธุ์ Duroc x (LargeWhite X Landrace) น้ำหนักเริ่มต้น 30 กิโลกรัม จำนวน 6 ตัว โดยศึกษาทดลองการใช้ประโยชน์ได้อาหารในสุกรตามวิธีการมาตรฐาน balance experiment (Adeola, 2001) โดยสุกรแต่ละตัวจะได้รับอาหารสุกรที่มีกากมะเขือเทศตากแห้งเป็นส่วนประกอบหลัก ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 แสดงส่วนประกอบของอาหารที่ใช้ประเมินการย่อยได้ของกากมะเขือเทศ

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (g/kg อาหาร)
กากมะเขือเทศ	960
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	34
เกลือ	35
พรีมิกซ์	2.5

สุกรแต่ละตัวถูกเลี้ยงในกรงขังเดี่ยวศึกษาการย่อยได้ (Metabolic cages) ขนาด 60x110x72 เซนติเมตร โดยกรงสามารถปรับขนาดให้มีความกว้างและความยาวได้ตามขนาดของสุกรแต่ละตัว แต่ละกลุ่มใช้เวลาเลี้ยง 5 วัน โดย 3 วันแรกเป็นช่วงปรับตัวของสุกรให้คุ้นเคยกับอาหาร และ 2 วันสุดท้าย จะเป็นช่วงการเก็บมูลและปัสสาวะ โดยให้อาหารและน้ำเต็มที่ โดยให้อาหารวันละ 2 เวลา คือ เช้า (08.00 น.) และบ่าย (15.00 น.) โดยบันทึกข้อมูลของ ปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักมูล น้ำหนักปัสสาวะ และเก็บตัวอย่างไว้วิเคราะห์หาการย่อยได้ของโภชนะ การเก็บตัวอย่างทำโดยชั่งน้ำหนักมูลสุกร และปัสสาวะทั้งหมด แยกตามกลุ่มทดลองทุกๆ วัน วันละ 2 ครั้ง คือ เช้า (08.00 น.) และ บ่าย (15.00

น.) โดยเก็บมูลทั้งหมดลงในถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่น โดยการเก็บตัวอย่าง (มูลสุกร) มีการใช้สารบ่งชี้ (Marker) ร่วมกับอาหารทดลองเพื่อทราบถึงปริมาณอาหารที่หลงเหลือจากการย่อยและการดูดซึม ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้ ไทเทเนี่ยม ไดออกไซด์ (titanium dioxide; TiO_2) 0.5% ผสมลงในอาหารทดลอง โดยเก็บตัวอย่างมูลสุกรทั้งหมดที่มีสีเทาจนมูลสุกรไม่มีสีเทา นำมูลไปเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสทันที เพื่อรอวิเคราะห์ทางเคมี ส่วนปัสสาวะสุกร ทำการชั่งน้ำหนักปัสสาวะที่ขับออกมา เก็บปัสสาวะลงในขวดแก้ว โดยเติมกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร สุ่มเก็บตัวอย่างปัสสาวะตัวละ 10%ของน้ำหนักที่ถ่ายออกมาทั้งหมด แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป

3.2.2 การคำนวนค่าการย่อยได้ของโภชนะ ได้แก่

(1) เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง = $\frac{\text{นน.อาหารแห้ง} - \text{นน.มูลแห้ง}}{\text{น้ำหนักอาหารแห้ง}} \times 100$

(2) เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโปรตีน = $\frac{\text{นน.โปรตีนในอาหาร} - \text{นน.โปรตีนในมูล}}{\text{น้ำหนักโปรตีนในอาหาร}} \times 100$

(3) เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของเยื่อใย = $\frac{\text{นน.เยื่อใยในอาหาร} - \text{นน.เยื่อใยในในมูล}}{\text{น้ำหนักเยื่อใยในอาหาร}} \times 100$

(4) เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของไขมัน = $\frac{\text{นน.ไขมันในอาหาร} - \text{นน.ไขมันในมูล}}{\text{น้ำหนักไขมันในอาหาร}} \times 100$

(5) พลังงานที่ย่อยได้ = พลังงานในอาหาร – พลังงานในมูล

(6) พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ = พลังงานในอาหาร – พลังงานในมูล – พลังงานในปัสสาวะ

3.2.3 การวิเคราะห์ทางเคมี

นำมูลที่เก็บมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น (Moisture) เถ้า (Ash) โปรตีนรวม (Crude protein, CP) ไขมัน (Ether extract, EE) เยื่อใย (Crude fiber, CF) (AOAC, 2000) และพลังงาน ด้วยเครื่อง AC-500 Automatic Calorimeter

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยประกอบด้วยการทดลองจำนวน 2 การทดลองคือ

4.1 การทดลองที่ 1: การเตรียมกากมะเขือเทศสดผสมกับมันสำปะหลัง (Tomato Pomace-Cassava Mixes; TPCM) โดยการหมักด้วยเชื้อราขาว

1) นำกากมะเขือเทศสดผสมกับมันสำปะหลังในอัตราส่วน 80:20 กก. (Tomato Pomace-Cassava Mixes; TPCM) อัตราส่วนที่ใช้คำนวณจากน้ำหนักแห้งของกากมะเขือเทศร่วมกับมันสำปะหลัง โดยใช้ปริมาณโปรตีนเป็นเกณฑ์ในการคำนวณ เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ใช้คำนวณเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้มีปริมาณเปอร์เซ็นต์โปรตีนใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์โปรตีนของปลายข้าว ข้าวโพด และรำละเอียด เมื่อผสมให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปผึ่งแดด 1 วัน เพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก ความชื้น 35±0.5% (กิตติยา และคณะ, 2545)

2) วางแผนการทดลอง 3x6 Factorial arrangement in CRD โดยปัจจัยแรกคืออัตราส่วนของ TPCM 2000, 2500 และ 3000 กรัมต่อปริมาตรเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อ 300 มล. ปัจจัยที่สองคือ ระยะเวลาการหมักที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 วันตามลำดับ โดยหมักตัวอย่างละ 5 ซ้ำ (ดัดแปลงจากปิติกานต์, 2551และ กิตติยา และคณะ, 2545) เพาะเลี้ยงเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 300 มล.บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 7 วัน โดยใช้ตัวชี้วัดคือเมื่อเส้นใยเจริญเต็มเพลตแล้ว นำมาใส่ในเครื่องปั่น เพื่อตัดเส้นใยเป็นชิ้นเล็กๆ นำมาผสมใส่ในถังหมักร่วมกับ TCMP 2000 2500 และ 3000 กรัม ตามลำดับ ต่อปริมาตรเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อ 300 มล. หรือคิดเป็นปริมาณเชื้อราขาวที่ใช้ เท่ากับ 1.5, 1.2 และ 1 % ตามลำดับ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 วัน สุ่มเก็บตัวอย่างทุกๆ 10 วัน (ดัดแปลงจากปิติกานต์, 2551 และกิตติยา และคณะ, 2545) นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสทันที เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาจากเชื้อจุลินทรีย์ แล้วนำตัวอย่างวิเคราะห์ทางเคมี ดัชนีชี้วัดคือ อัตราส่วนและระยะเวลาการหมักที่เหมาะสมที่สุด คือ ปริมาณเยื่อใยและลิกนินที่ต่ำสุด

ผลการทดลองพบว่าการหมัก TPCM โดยไม่มีการใส่เชื้อราขาวช่วยในการหมัก (TPCM1) ที่ระยะเวลาหมัก 0 ถึง 20 วัน โดยเฉพาะระยะเวลาหมักที่ 10 วัน พบการเปลี่ยนแปลงของค่า pH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า TPCM1 ซึ่งไม่เติมเชื้อราขาว เมื่อระยะเวลาการหมักที่นานขึ้น หลังจากการหมักที่ 20 วันขึ้นไป ระดับของ pH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในตัวอย่างของ TPCM2 ซึ่งเติมเชื้อราขาว 1.5% ก็เป็นไปในทางเดียวกัน แต่หลังจากการหมักที่ 30 วันขึ้นไป ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ ค่า pH ส่วนในกลุ่มของ TPCM2 และ TPCM3 ซึ่งหมักด้วยเชื้อรา 1.2% และ 1% ตามลำดับ ระดับของ pH ในสภาวะกรด มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาการหมัก

สำหรับผลของการหมักด้วยเชื้อราขาวที่ระดับต่างๆ ต่อค่า pH ของ TPCM พบว่าการเพิ่มปริมาณของเชื้อราขาว ช่วยคงระดับของ pH ไว้ได้ใกล้เคียงกับไม่เติมเชื้อราขาว

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า pH

กลุ่มทดลอง	ระยะเวลาในการหมัก						SEM*
	0	10	20	30	40	50	
TPCM1	4.03^{Bc}	4.03^{BCc}	3.98^{Bc}	3.70^{Ab}	3.65^{Aab}	3.62^{Aa}	0.0340
TPCM2	4.04^{Bb}	4.05^{Cb}	4.03^{Bb}	3.71^{Aa}	3.68^{Ba}	3.68^{Ba}	0.0333
TPCM3	3.88^{B}	3.88^{B}	3.90^{B}	3.71^{A}	3.71^{BC}	3.73^{C}	0.0309
TPCM4	3.71^{A}	3.72^{A}	3.70^{A}	3.77^{B}	3.75^{C}	3.69^{C}	0.0117
SEM**	0.4023	0.3898	0.4008	0.0092	0.0099	0.0155	

หมายเหตุ TPCM1 ไม่เติมเชื้อราขาว

TPCM2 เติมเชื้อราขาว 1.5 %

TPCM3 เติมเชื้อราขาว 1.2 %

TPCM4 เติมเชื้อราขาว 1 %

A B C และ D ระหว่างคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

a b c และ d ระหว่างแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

SEM* แสดงค่า SEM ในแนวตั้ง

SEM** แสดงค่า SEM ในแนวนอน

จ SF
๔๑๔
๖๐๒๙๕
๒๕๕๗

1.6902090
สำนักหอสมุด
๓ - ก.พ. ๒๕๕๘

ผลการทดลองพบว่าการหมัก TPCM โดยไม่มีการใส่เชื้อราขาวช่วยในการหมัก (TPCM1) ที่ระยะเวลาหมัก 0, 10, 30 และ 40 วัน มีค่าวัตถุแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ค่าวัตถุแห้งต่ำสุด ($p<0.05$) เมื่อหมักที่ 20 และ 50 วัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อดูข้อมูลของทุกกลุ่มแล้ว จะเห็นได้ว่า ค่าวัตถุแห้งต่ำสุดของแต่ละชนิดอาหาร (TPCM1, TPCM2 และ TPCM3) ค่าวัตถุแห้งต่ำสุดจะอยู่ที่การหมัก 50 วัน (ระบายพื้นรอบตัวเลข) และเมื่อพิจารณาผลของการเสริมเชื้อราขาวในระดับต่างๆ พบว่าการเสริมที่ 1.5% ส่งผลให้ค่าวัตถุแห้งลดลง ตั้งแต่การหมัก 10 วัน จนถึง 50 วัน (ตัวเลขตีกรอบเส้นสีดำ) แตกต่างจากวันแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าวัตถุแห้ง

กลุ่มทดลอง	ระยะเวลาในการหมัก						SEM*
	0	10	20	30	40	50	
TPCM1	91.85^{Ba}	91.92^{Ba}	90.87^{Bb}	91.4^{Ba}	91.67^{Ca}	90.86^{Cb}	0.0881
TPCM2	91.79^{Ba}	90.86^{Cbc}	91.23^{Babc}	91.31^{Bab}	90.97^{Dbc}	90.64^{Cc}	0.0938
TPCM3	91.07^{Cc}	91.65^{Bb}	92.09^{Aab}	91.57^{Bbc}	92.39^{Ba}	92.03^{Bab}	0.0895
TPCM4	93.04^{Aa}	93.07^{Aa}	92.57^{Ab}	92.49^{Ab}	93.2^{Aa}	92.84^{Aab}	0.0679
SEM**	0.1371	0.1612	0.1637	0.1076	0.1484	0.1527	

หมายเหตุ TPCM1 ไม่เติมเชื้อราขาว

TPCM2 เติมเชื้อราขาว 1.5 %

TPCM3 เติมเชื้อราขาว 1.2 %

TPCM4 เติมเชื้อราขาว 1 %

A B C และ D ระหว่างคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

a b c และ d ระหว่างแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

SEM* แสดงค่า SEM ในแนวตั้ง

SEM** แสดงค่า SEM ในแนวนอน

ผลการทดลองพบว่าการหมัก TPCM โดยไม่มีการใส่เชื้อราขาวช่วยในการหมัก (TPCM1) ที่ระยะเวลาหมัก 0, 10, 20 และ 30 วัน มีค่าโปรตีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ค่าโปรตีนเพิ่มขึ้นเม ($p<0.05$) เมื่อหมักที่ 40 และ 50 วัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อดูข้อมูลของทุกกลุ่มแล้ว จะเห็นได้ว่า ค่าโปรตีนสูงสุดของแต่ละชนิดอาหาร (TPCM1, TPCM2 และ TPCM3) ค่าโปรตีนสูงสุดจะอยู่ที่การหมัก 30 วัน (ระบายพื้นรอบตัวเลข) และเมื่อพิจารณาผลของการเสริมเชื้อราขาวในระดับต่างๆ พบว่าการเสริมที่ 1% ส่งผลให้ค่าโปรตีนเพิ่มขึ้นตั้งแต่การหมัก 20 วัน จนถึง 50 วัน (ตัวเลขตีกรอบเส้นสีดำ) แตกต่างจากวันแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าโปรตีน

กลุ่มทดลอง	ระยะเวลาในการหมัก						SEM*
	0	10	20	30	40	50	
TPCM1	10.45^{ABbc}	9.81^{cd}	9.65^{Bcd}	9.41^{Cd}	11.87^{Aa}	10.84^{ABb}	0.1646
TPCM2	10.79^{Aab}	10.83^{ab}	9.35^{Bc}	11.01^{Bab}	11.68^{Aa}	9.96^{Bbc}	0.1775
TPCM3	10.05^{Bb}	10.28^{b}	10.28^{Bb}	11.18^{Ba}	9.89^{Bb}	11.47^{Aa}	0.1373
TPCM4	9.29^{Bc}	9.77^{bc}	11.68^{Aa}	12.04^{Aa}	11.81^{Aa}	10.38^{ABb}	0.1845
SEM**	0.1340	0.1889	0.2104	0.1943	0.2153	0.2170	

หมายเหตุ TPCM1 ไม่เติมเชื้อราขาว

TPCM2 เติมเชื้อราขาว 1.5 %

TPCM3 เติมเชื้อราขาว 1.2 %

TPCM4 เติมเชื้อราขาว 1 %

A B C และ D ระหว่างคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

a b c และ d ระหว่างแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

SEM* แสดงค่า SEM ในแนวตั้ง

SEM** แสดงค่า SEM ในแนวนอน

ผลการทดลองปริมาณเถ้าพบว่าการหมัก TPCM โดยไม่มีการใส่เชื้อราขาวช่วยในการหมัก (TPCM1) และที่ใช้เชื้อราขาวช่วยในการหมัก ที่ระดับ 1, 1.2 และ 1.5% ระยะเวลาในการหมักไม่ส่งผลต่อปริมาณเถ้าที่พบในตัวอย่างแต่อย่างใด ($p>0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าการหมัก TPCM โดยไม่มีการใส่เชื้อราขาว พบปริมาณเถ้ามากที่สุด ($p<0.05$) และมีแนวโน้มที่เห็นได้ชัดเจนว่า การเพิ่มปริมาณเชื้อราขาว ส่งผลทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง TPCM4 กับ TPCM2 ที่ระยะเวลาการหมัก 0, 10 และ 40 วัน ($p<0.05$)

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าของเถ้า

กลุ่มทดลอง	ระยะเวลาในการหมัก						SEM*
	0	10	20	30	40	50	
TPCM1	5.53^{C}	5.34^{C}	5.33^{B}	5.16	4.84^{B}	5.56^{B}	0.0937
TPCM2	5.21^{BC}	5.04^{BC}	5.32^{B}	5.25	5.28^{B}	5.14^{AB}	0.0398
TPCM3	4.77^{AB}	4.59^{AB}	4.87^{B}	4.79	5.05^{B}	5.4^{AB}	0.1483
TPCM4	4.50^{A}	4.19^{A}	4.19^{AB}	4.43	4.25^{A}	4.3^{A}	0.0823
SEM**	0.1227	0.1353	0.1455	0.1433	0.1256	0.2051	

หมายเหตุ TPCM1 ไม่เติมเชื้อราขาว

TPCM2 เติมเชื้อราขาว 1.5 %

TPCM3 เติมเชื้อราขาว 1.2 %

TPCM4 เติมเชื้อราขาว 1 %

A B C และ D ระหว่างคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

a b c และ d ระหว่างแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

SEM* แสดงค่า SEM ในแนวตั้ง

SEM** แสดงค่า SEM ในแนวนอน

ผลการทดลองปริมาณเยื่อใยพบว่าการหมัก TPCM โดยไม่มีการใส่เชื้อราขาวช่วยในการหมัก (TPCM1) ที่ระยะเวลาหมัก 0 ถึง 20 วัน โดยเฉพาะระยะเวลาหมักที่ 10 วัน มีปริมาณเยื่อใยต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เท่ากับ 19.67% (ตาราง 4.5) และการหมัก TPCM ด้วยเชื้อราขาว 1.5% (TPCM2) ที่ระยะเวลาหมักที่ 0 ถึง 30 โดยเฉพาะระยะเวลาหมักที่ 0 วัน มีปริมาณเยื่อใยต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เท่ากับ 20.07% ดังนั้นจากผลการทดลองในตาราง 4.5 สามารถสรุปได้ว่า การหมัก TPCM1 ระยะเวลาหมัก 10 วัน และการหมัก TPCM2 ระยะเวลาหมัก 0 วัน มีปริมาณเยื่อใยต่ำที่สุด

ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าของเยื่อใย

กลุ่มทดลอง	ระยะเวลาในการหมัก						SEM*
	0	10	20	30	40	50	
TPCM1	20.43^{Bcd}	19.67^{Ccd}	21.71^{Bcb}	24.12^{Aa}	23.74^{a}	21.99^{Cb}	0.2913
TPCM2	20.07^{Bd}	22.76^{Bbc}	21.31^{Bcd}	21.77^{Bbc}	23.65^{a}	23.14^{Bab}	0.2680
TPCM3	22.28^{Ab}	25.66^{Aa}	23.89^{ABab}	23.29^{ABab}	23.77^{ab}	23.6A^{Bab}	0.3946
TPCM4	21.71^{Ac}	24.68^{Aab}	25.88^{Aab}	24.54^{Aab}	23.68^{b}	24.47^{Aab}	0.2775
SEM**	0.3232	0.4675	0.5201	0.3760	0.3648	0.2237	

หมายเหตุ TPCM1 ไม่เติมเชื้อราขาว

TPCM2 เติมเชื้อราขาว 1.5 %

TPCM3 เติมเชื้อราขาว 1.2 %

TPCM4 เติมเชื้อราขาว 1 %

A B C และ D ระหว่างคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

a b c และ d ระหว่างแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

SEM* แสดงค่า SEM ในแนวตั้ง

SEM** แสดงค่า SEM ในแนวนอน

ผลการทดลองปริมาณลิกนินพบว่าการหมัก TPCM โดยไม่มีการใส่เชื้อราขาวช่วยในการหมัก (TPCM1) ที่ระยะเวลาหมัก 0 ถึง 20 วัน โดยเฉพาะระยะเวลาหมักที่ 10 วัน มีปริมาณลิกนินต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เท่ากับ 12.67% (ตาราง 4.6) และการหมัก TPCM ด้วยเชื้อราขาว 1.5% (TPCM2) ที่ระยะเวลาหมักที่ 0 วัน มีปริมาณลิกนินต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เท่ากับ 12.42%

ดังนั้นจากผลการทดลองในตาราง 4.5 และ 4.6 สามา รถสรุปได้ว่า การหมัก TPCM1 ระยะเวลาหมัก 10 วัน มีปริมาณเยื่อใยและลิกนินต่ำที่สุด ซึ่งนำไปใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป

ตาราง 4.6 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าของลิกนิน

กลุ่มทดลอง	ระยะเวลาในการหมัก						SEM*
	0	10	20	30	40	50	
TPCM1	13.26^{BCbc}	12.67^{Cc}	13.49^{Cbc}	14.81^{a}	14.75^{Ba}	14.21^{Bab}	0.1698
TPCM2	12.42^{Cc}	14.57^{Bb}	13.86^{BCb}	14.41^{b}	16.25^{ABa}	16.05^{Aa}	0.2399
TPCM3	15.68^{A}	16.80^{A}	15.30^{AB}	15.73	16.14^{AB}	15.44^{A}	0.2549
TPCM4	14.11^{Bb}	15.65^{Ba}	15.98^{Aa}	15.90^{a}	16.69^{Aa}	15.93^{Aa}	0.1943
SEM**	0.2572	0.3046	0.3181	0.2838	0.2853	0.1871	

หมายเหตุ TPCM1 ไม่เติมเชื้อราขาว

TPCM2 เติมเชื้อราขาว 1.5 %

TPCM3 เติมเชื้อราขาว 1.2 %

TPCM4 เติมเชื้อราขาว 1 %

A B C และ D ระหว่างคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

a b c และ d ระหว่างแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

SEM* แสดงค่า SEM ในแนวตั้ง

SEM** แสดงค่า SEM ในแนวนอน

ผลการทดลองปริมาณไขมันพบว่าการหมัก TPCM โดยไม่มีการใส่เชื้อราขาวช่วยในการหมัก (TPCM1) ที่ระยะเวลาหมัก 0 ถึง 50 วัน ระยะเวลาในการหมักไม่ส่งผลต่อปริมาณเถ้าที่พบในตัวอย่างแต่อย่างใด ($p>0.05$) (ตาราง 4.7) ยกเว้นการหมักที่ระยะเวลา 30 วัน ที่มีปริมาณไขมันต่ำสุด ($p<0.05$) และการหมัก TPCM ด้วยเชื้อราขาว 1.5, 1.2 และ 1% (TPCM2, 3 และ 4) ที่ระยะเวลาหมักที่ 40, 10 และ 20 วัน ตามลำดับ มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่การเสริมเชื้อราขาวไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันแต่อย่างใด ยกเว้นที่ระดับการเสริมเชื้อราขาว 1.5% เมื่อหมักที่ 30 วัน ทำให้ปริมาณไขมันต่ำสุด อย่างไรก็ตาม การนำเอากากมะเขือเทศไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เราต้องการแหล่งของไขมันจากวัตถุดิบอาหารเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานของสัตว์ ดังนั้นการที่ปริมาณไขมันไม่มีการเปลี่ยนแปลงก็จะเป็นผลดีต่อสัตว์มากกว่า

ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าของไขมัน

กลุ่มทดลอง	ระยะเวลาในการหมัก						SEM*
	0	10	20	30	40	50	
TPCM1	7.93^{a}	7.82^{a}	7.53^{a}	6.91^{Bb}	7.96^{Aa}	7.71^{a}	0.0902
TPCM2	7.78^{a}	7.75^{a}	7.34^{a}	7.62^{Aa}	6.80^{Bb}	7.85^{a}	0.0795
TPCM3	7.87^{ab}	7.44^{b}	7.82^{ab}	8.25^{Aa}	8.04^{Aa}	8.13^{a}	0.0793
TPCM4	7.87^{ab}	7.73^{ab}	7.24^{b}	8.30^{Aa}	8.36^{Aab}	7.90^{ab}	0.1273
SEM**	0.0910	0.0795	0.1637	0.1434	0.1202	0.0950	

หมายเหตุ TPCM1 ไม่เติมเชื้อราขาว

TPCM2 เติมเชื้อราขาว 1.5 %

TPCM3 เติมเชื้อราขาว 1.2 %

TPCM4 เติมเชื้อราขาว 1 %

A B C และ D ระหว่างคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

a b c และ d ระหว่างแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

SEM* แสดงค่า SEM ในแนวตั้ง

SEM** แสดงค่า SEM ในแนวนอน

ผลการทดลองพบว่าการหมัก TPCM โดยไม่มีการใส่เชื้อราขาวช่วยในการหมัก (TPCM1) ที่ระยะเวลาหมัก 0 ถึง 20 วัน โดยเฉพาะระยะเวลาหมักที่ 10 วัน มีปริมาณเยื่อใยและลิกนินต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เท่ากับ 19.67 และ 12.67% ตามลำดับ (ตาราง 4.5 และ 4.6) และการหมัก TPCM ด้วยเชื้อราขาว 1.5% (TPCM2) ที่ระยะเวลาหมักที่ 0 ถึง 30 โดยเฉพาะระยะเวลาหมักที่ 0 วัน มีปริมาณเยื่อใยและลิกนินต่ำที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เท่ากับ 20.07 และ 12.42% ตามลา ดับ ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองหมัก TPCM ไม่ได้ทำ การปรับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้เหมาะสมกับการเกิดกิจกรรมของเชื้อราขาว จากผลการทดลอง (ตาราง 4.1) พบว่าค่า pH ในการหมัก TPCM มีความเป็นกรดตลอดระยะเวลาในการทดลอง ทำให้เชื้อราขาวเจริญเติบโตได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ สอดคล้องกับ Reid (1989) ที่รายงานว่า เชื้อราขาวเจริญเติบโต สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ค่า pH ระหว่าง 4-5 จากผลการทดลองดังกล่าว จึงยังไม่สามารถใช้เชื้อราขาว มาช่วยในการเพิ่มคุณค่าทางอาหารของวัตถุดิบ กากมะเขือเทศผสมมันสำปะหลังได้แต่อย่างใด ดังนั้นการปล่อยให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงในตัวกากมะเขือเทศเองเป็นระยะเวลา 10 วัน จึงเป็นทางที่เป็นไปได้จากการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อให้มีปริมาณเยื่อใยและลิกนินต่ำสุด โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มต้นทุนโดยการหมักด้วยเชื้อราขาวแต่อย่างใด แต่ก่อนที่จะนำไปใช้สำหรับเลี้ยงสุกร ข้อมูลที่สำคัญที่สุดคือ ข้อมูลการย่อยและใช้ประโยชน์ได้ของกากมะเขือเทศ ในสุกรที่เกิดจากการทดสอบในตัวสุกรจริง ซึ่งแสดงข้อมูลค่าการย่อยได้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป

ว่าเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง คือ 13% (NRC, 1998) แต่ก็ยังต่ำกว่ากากมะเขือเทศที่มีเยื่อใยสูงเกือบสองเท่า คือ 25.62% แต่ค่าพลังงานย่อยได้มากกว่ารำละเอียด คือ 3,520 เปรียบเทียบกับ 3,100 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม แต่ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ก็มากว่าคือ 3,136 เปรียบเทียบกับ 2,853 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ถ้าเปรียบเทียบกับมันสำปะหลัง จะเป็นไปในทิศทางเดียวกับเมื่อเทียบกับปลายข้าวคือ กากมะเขือเทศมีพลังงาย่อยได้มากกว่า แต่พลังงานใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่ามันสำปะหลัง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดจะพบว่ากากมะเขือเทศมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้มากกว่าข้าวโพด ดังนั้นในภาพรวมของการใช้ประโยชน์ของกากมะเขือเทศเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในอาหารสุกร สามารถใช้ค่าค่าพลังงานย่อยได้ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ไปประกอบสูตรอาหารสุกรได้ และสามารถใช้ทดแทนแหล่งพลังงานจากวัตถุดิบหลักอื่นได้ โดยข้อจำกัดของการมะเขือเทศจะอยู่ที่ปริมาณของเยื่อใยและลิกนิน ที่มีปริมาณมาก ทำให้ไม่สามารถทดแทนแหล่งพลังงานอื่นได้ทั้งหมด

ตาราง 4.9 ค่าการย่อยได้ของโภชนะและพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมะเขือเทศ

	Total Tract Digestibility %	Composition (g/kg)	Digestibility (g/kg)
Dry Matter	82.96	918.3	761.82
Ash	64.58	42.0	27.12
Crude Protein	79.75	126.0	100.49
Ether Extract	69.44	98.0	68.05
Crude Fiber	75.71	256.2	193.97
Lignin	10.67	165.8	17.69
Gross Energy	-	4346	
Digestible Energy (DE) (Kcal/kg)	-	-	3520
Metabolisable Energy (ME) (Kcal/kg)	-	-	3136

ตาราง 4.10 ค่าพลังงานย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมะเขือเทศเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงานตัวอื่นๆ (NRC, 1998)

วัตถุดิบ	พลังงานย่อยได้ (DE) (Kcal/kg)	พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) (Kcal/kg)
กากมะเขือเทศ	3,520	3,136
มันสำปะหลัง	3,385	3,330
ข้าวโพด	3,420	2,395
รำละเอียด	3,100	2,853
ปลายข้าว	3,565	3,350

บทที่ 5

สรุป

กากมะเขือเทศผสมกับมันสาปะหลังปน (Tomato Pomace-Cassava Mixes; TPCM) ในสัดส่วน 80: 20 หมักด้วยราขาวในระดับ 0, 1, 1.2 และ 1.5 % บ่มเป็นระยะเวลา 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน สรุปได้ว่า

1) เมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้น มีผลทำให้ปริมาณเยื่อใยและลิกนินมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะการหมักที่อาจไม่เหมาะสมสำหรับราขาว โดยเฉพาะความเป็นกรดของกากมะเขือเทศทำให้ pH มีค่าต่ากว่า 4 ราขาวไม่สามารถเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตาม TPCM ที่ไม่มีการหมักด้วยราขาวเมื่อทิ้งไว้ 10 วัน ทำให้ปริมาณลิกนินและเยื่อใยต่ำสุด
2) ผลการประเมินคุณค่าทางโภชนะของกากมะเขือเทศในสุกรพบว่าค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ลิกนิน เท่ากับ 82.96, 64.58, 79.75, 69.44, 75.71 และ 10.67 % ตามลำดับ และมีค่าพลังงานย่อยได้ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 3,520 และ 3,136 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหมักด้วยราขาว ในสภาวะที่มี pH ที่เหมาะสม
2) ควรมีการศึกษาโดยนำค่าการย่อยได้และใช้ประโยชน์ของโภชนะ มาประกอบสูตรอาหารแล้วนำไปทดสอบเลี้ยงสุกร เพื่อประเมินประสิทธิภาพการผลิตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มเกษตรสัญจร. 2531. มะเขือเทศ. หจก. พรสาวน์, กรุงเทพฯ

กิตติยา อติสงเคราะห์ เพ็ญศรี อติวรรณาพัฒน์ และจันไท จิตรจักร. 2545. การใช้เชื้อราช่วยในการผลิตเยื่อแบบซัลเฟตของไม้กระถินเทพา. รายงานการประชุมวิชาการป่าไม้ ประจำปี 2545. กรมป่าไม้, ราชบุรี

กมล เลิศรัตน์ อรสา ดิสถาพร สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร และวีระ ภาคอุทัย. 2544. ผักในประเทศไทย สถานภาพการผลิต การตลาดและวิจัย. รายงานประมวลองค์ความรู้. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย กรุงเทพฯ.

แก้วตา แดงสี สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์ และบุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2545. การใช้กากมะเขือเทศเป็นแหล่งโปรตีนและสารสีในอาหารเป็ดไข่. รายงานการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

จิตรัตน์ ศรีโข. 2542. ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อชมชุน และสิ่งแวดล้อมจากการผลิตกระดาษสา. เอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการ. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 57 น.

จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2548. การใช้กากมะเขือเทศเป็นอาหารสัตว์. ใน รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2548 กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงการเกษตรและสหกรณ์. (2548). กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.

วัชระ ผดุงพจน์. 2533. อิทธิพลของยีนริน ยีนนอร์ และยีนแอลกอบากาในการปรับปรุงคุณภาพของผลมะเขือเทศ. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิทยา สุมามาลย์ เสน่ห์ กุลนะ และอิสระ สุริยาชัยวัฒนะ. 2540. ความเป็นไปได้ในการใช้กากมะเขือเทศเป็นอาหารสัตว์ (6) ผลของการใช้กากมะเขือเทศแห้งระดับต่างๆ ในสูตรอาหารสำหรับห่านระยะรุ่น-ขุน. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2552, จาก http://www.dld.go.th/nutrition/exhibision/RESEARCH/research_full/2547/R4715.doc.

วิโรจน์ วนาสิทธชัยวัฒน์ ประดิฐ์ กุกแก้ว วิทยา สุมามาลย์ และบวร เสนะเกตุ. 2539. ความเป็นไปได้ของการใช้กากมะเขือเทศเป็นอาหารสัตว์ 5) การใช้เป็นอาหารเป็ดเทศ. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2539. หน้า 14-21, มะเขือเทศ. กรุงเทพฯ: กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์.

ปิติกานต์ วิสิษฐ์ศักดิ์. 2551. การลดลิกนินและการผลิตเอนไซม์ลิกนิโนไลติกในระหว่างการหมักเปลือกเมล็ดทานตะวันโดยเห็ดลม *Lentinus polychrous* Lev.. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. 135 น.

ธีรพร กงบังเกิด. 2546. จุลชีววิทยาอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. 198 น.

สมศักดิ์ วงใน. 2528. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ. 193 น.

สายัณห์ ทัดศรี. 2540. พืชอาหารสัตว์เขตร้อน: การผลิตและการจัดการ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ลินคอร์น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2546. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2544/45. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2552, จาก http://www2.oae.go.th/statistic /yearbook/2002-03/Section4/sec4table64.xls

อารีรัตน์ ลุนผา. 2546. แลคติคแอซิดแบคทีเรีย ทางเลือกใหม่ในการเพิ่มคุณภาพของพืชหมัก. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี. สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม, 2551, จาก http://www.agri.ubu.ac.th/seminar/masterstu/Lactic_Acid_Bacteria.htm

A.O.A.C. 2000. Office Methods of Analysis. Association of official analytical chemists. Washington, DC.

Adeola, O. 2001. Digestion and balance technique in pigs. Pp: 903-916. *In* Lewis, A.J. and Southern, L.L. (eds). Swine nutrition. CRC press LLC, Washington, D.C.

Adler, E. 1977. Lignin chemisitry-past, persent and future. Wood. Sci. Technol. 11:169-218

Akhtar, M., M.C. Attridge, R.A. Blanchette, G.C. Mayers, M.B. wall, M.S. Sykes, J.W. Koning Jr, R.R. Burgess, T.H. Wegner and T.K. Kirk. 1992. The white-rot fungus Ceriporiopsis subvermispora saves electrical energy and improves strength orioerties during biochemical pulping of wood, pp. 1-8. In 5th Internayion conference on Biotechnology in Pulp and Industry. Kyoto Japan.

Alvarado, M., E. Pacheco-Relahaye, M. Schnell and P. Hevia. 1999. Dietary fiber in industrial tomato residue and its effects on glycaemic response and seric cholesterol in rats. Archivos Latinoamericanos de Nutricion. 49: 138-142

Annonymous. 2001. What is lycopene [Online]. Available: http://www.watermelon.org. 2001, October.

Arora, D.S. and P.K. Gill. 2001. Comparison of two assay procedures for lignin peroxidase. Enzyme Microb. Technol. 28, 602-605.

Avgerinos. G.C. and D.I.C. Wang. 1983. Selective solvent delignification for fermentation enhancement. Biotech. Bioeng. 25: 67-83.

Ayhan V. and S. Aktan. 2004. Using Possibilities of dried tomato pomace in broiler chicken diets. Hayvansal Uretim 45(1): 19-22.

Bisaria, V.S. and T. Chose. 1981. Biodegradaation of cellulosic materials : substrates, microorganisms, enzymes and products. Enzy Microb. Technol. 3: 90-103.

Blanchette, R.A. 1991. Delignification by wood-decay fungi. Ann. Rev. Phytopatal. 29: 381-398.

Caluya, R.R., R.R.Sair and B.B.Balneg. 2000. Fresh tomato pomace (FTP) as good feed for growing and fattening pigs. Highlights'99; PCARRD-DOSTLos Banos, Laguguna (Philippines). p.100.

Crawford, R.L., L.E. Robinson and R.D. Foater. 1981. Polyguaiacol: a useful model polymer for lignin biodegradation Research. Appl. Environ. Microbiol. 41(5): 1112-1116.

Del Valle, M., M. Camara and M-E. Torija. 2006. Chemical composition of tomato pomace. J. of the sci. of food and agric. 86:1232-1236.

Enoki, M., T. Watanabe, S. Nakagame, K. Koller, K. Messner, Y. Honda and M. Kuwahara. 1999. Extracellular lipid peroxidation selective white-rot fungus, Ceriporiopsis subvermispora. FEMS Microbiol. Lett. 180(2): 205-211.

Eygelling, L. 1983. Lignin-an exceptional biopolymer and a rich resource. Trends in Biotechnol. 1:123-127.

Gold, M.H. and M. Alic. 1993. Molecular biology of the lignin degradation basidiomycete Phanerochaete chrysosporium. Microbiology Reviews. pp. 605-622.

Hatakka, A. 1986. Degradation and Conversion of Lignin, Lignin Relate Aromatic Compounds and Lignocellulose by Secrete White-rot Fungi. Ph.D. Thesis, Department of Microbiology University of Helsinki, Finland.

IUBMB. (Recommendations of the Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology). 1992. Enzyme Nomenclature. Academic Press, Inc. CA, USA.

Janshekar, S.H. and A. Fiechter. 1983. Lignin : biosynthesis, application and biodegradation. Adv. Biochem. Eng. 27: 117-179.

Jensen, K.A., W. Bao, S. Kawai, E. Srebotnik and K.E. Hammel. 1996. Manganese-dependent cleavage of nonpheolic lignin structures by Ceriporiopsis subvermispora in the absence of lignin peroxidase. Appl. Environ. Microbiol. 62(10): 3679-3686.

Jensen, K.A., Z.C. Ryan, A.V. Wymelenberg, D. Cullen and K.E. Hammel. 2002. An NADH: quinone oxidoreductase active during biodegradation by the brown rot basidiomycete Gloeophyllum trabeum. Appl. Environ. Microbiol. 68(6): 2699-2703.

Johnson, C.R., L. Salas, R. Vicuna and T.K. Kirk. 1993. Extracellular enzyme production and synthetic lignin minelization by Ceriporiopsis subvermispora. Appl. Environ. Microbiol. 59(6): 1792-1797.

Kerem, Z. and Y.Harder. 1998. Lignin degradation fungi : Mechanism and Ultilization, pp. 351-363. In Agriculture Biotechnology. Altman Association Publication.

King, A.J. and Z. Gideon. 2004. Tomato pomace may be a good source of vitamin E in broiler diets. California Agriculture, 58 (1).

Kirk, T.K. 1971. Effects of microorganisms on lignin. Ann. Rev. Phytopatol. 9: 185-210.

Kirk, T.K. and D. Cullen. 1988. Enzymology and molecular genetics of wood degradation by white-rot fungi. pp. 273-307. In Environmental Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry. Academic press.

Larsen, M.J. and F. Green III. 1992. Mycofibrillar cell wall extensions in the hyphal sheath of Postia Placenta. Can. J. Microbiol. 38: 905-911.

Levin, L., F. Forchiassin and A.M. Ramos. 2002. Copper induction of lignin-modifying enzymes in the white-rot fungus *Trametes trogii*. Mycologia. 94(3): 377-383.

Mansoori, B., M. Modirsanei and M.M. Kiaei. 2008. Influence of dried tomato pomace as an alternative to wheat bran in maize or wheat based diets, on the performance of laying hens and traits of produced eggs. Iranian J. of Vet. Res., Shiraz University, 9 (4), Ser.No.25: 341-346.

Martinez, A.T., M. Speranza, F.J. Ruiz-Duenas, P. Ferreira, S. Camarero, F. Guillen, M.J. Martinez, A. Gutierrez and J.C. del Rio 2005. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the .fungal attack of lignin. Int. Microbiol. 8: 195-204.

Mayer, A.M. and R.C. Staples. 2002. Laccase : new functions for an old enzyme. Phytochemistry 60: 551-565.

NRC. 1998. Nutrient Requirements of swine. (10th ed.) Washington, DC: National Academy Press.

Nyanhongo, G.S., J. Gomes, G. GObitiz, R. Zvauya, J.S. Reed and W. Steiner. 2002. Production of laccaes by a newly isolated strain of *Trametes modesta*. Bioresour. Technol. 84: 259-263.

Pal, M., A.M. Calvo, M.C. Terron and A.E. Gonzalez. 1995. Solid state fermentation of sugarcane bagasse with Flemmulina velutipes and Trametes versicolar. World J. Microbiol. Biotechnol. 11: 541-545.

Peiretti, P.G.; F. Gai, L. Rotolo, A. Brugiapaglia and L. Gasco. 2013. Effects of tomato pomace supplementation on carcass characteristics and meat quality of fattening rabbits. Meat Science 95: 345-351.

Riedl, J., J. Linseisen and J. Hoffman. 1999. Some dietary fiber reduce the adsorption of carotinoids in women. J. Nutrition. 129: 2170-2176.

Rao, A. V., Z. Waseem and S. Agarwal. 1998. Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene. Food Reacher International. 31 (10): 737-741.

Schneeman, B. O. 2001. Dietary fiber and gastrointestinal function. In: Advance Dietary Fiber Technology, (Eds. V. M. C. Barry and L. Prosky). Blackwell Science, Oxford, UK. Pp. 168-176.

Seyama, N. and I. Abe. 1977. A Study on colour and pigment concentraltion in tomato fruit as influenced by environmental factor. Bullletin of the Vegetable and Ornamental Crops Research Station. 1: 29-99.

Shi, J., M.L. Maguerb, Y. Kakudab, A. Liptayc and F. Niekampb. 1999. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. Food Research International. 32:15-21.

Spellholz, J. E., L. M. Boylan and J. A. Driskell. 1999. Nutrition Chemistry and Biology. CRC Press Boca Raton, London, UK. Pp. 19-29.

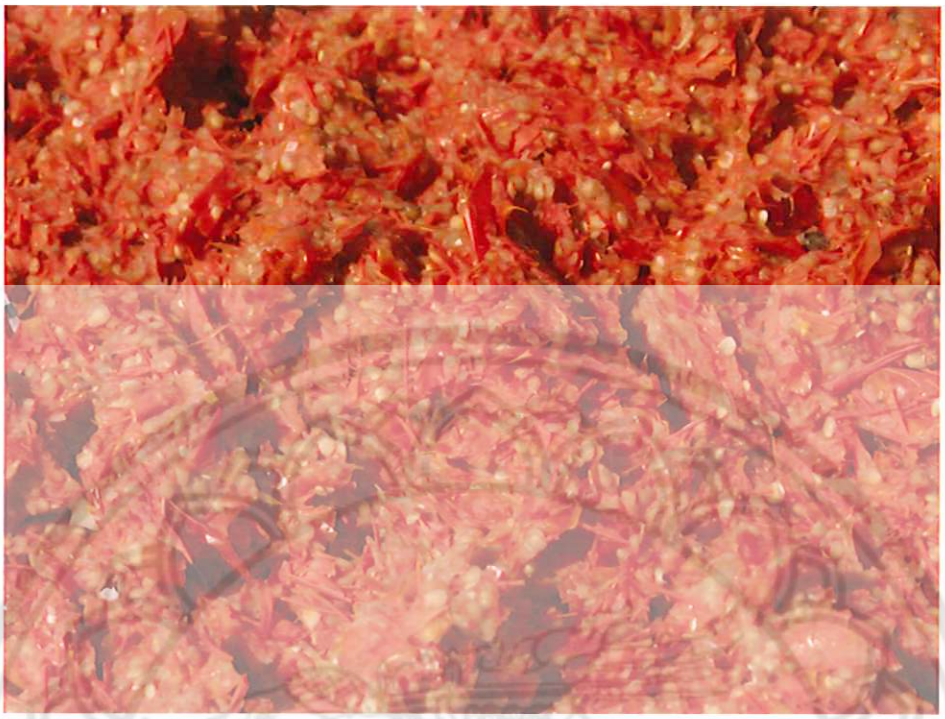
Squires. M. W., E. C. Naber and V. D. Toelle. 1992 The effects of heat, water, acid and alkali treatment of tomato cannery waste on growth, metabolizable energy value and nitrogen utilization of broiler chicks. Poultry Sci. 71: 522-529.

Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principals and procedures of statistics. New York: Mc Graw-Hill.

Steenson, D. F. 1999. Carotenoid thermal degradation products and their effects on the oxidative stability of soybean oil. Ph. D Thesis. The Ohio State University, Ohio, USA.

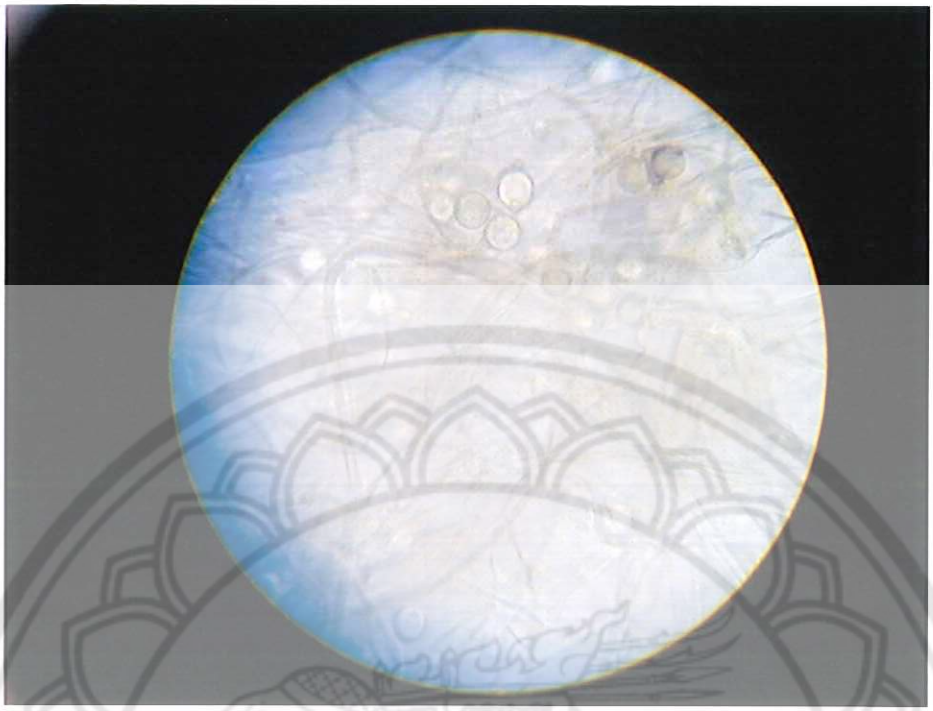
Tsatsaronis, G. C. and D. G. Boskou. 1975. Amino acid and mineral salt content of tomato seed and skin waste. J. Sci Food Agric. 26: 421-423.

ภาคผนวก



ภาพภาคผนวกที่ 1 ลักษณะกากมะเขือเทศ

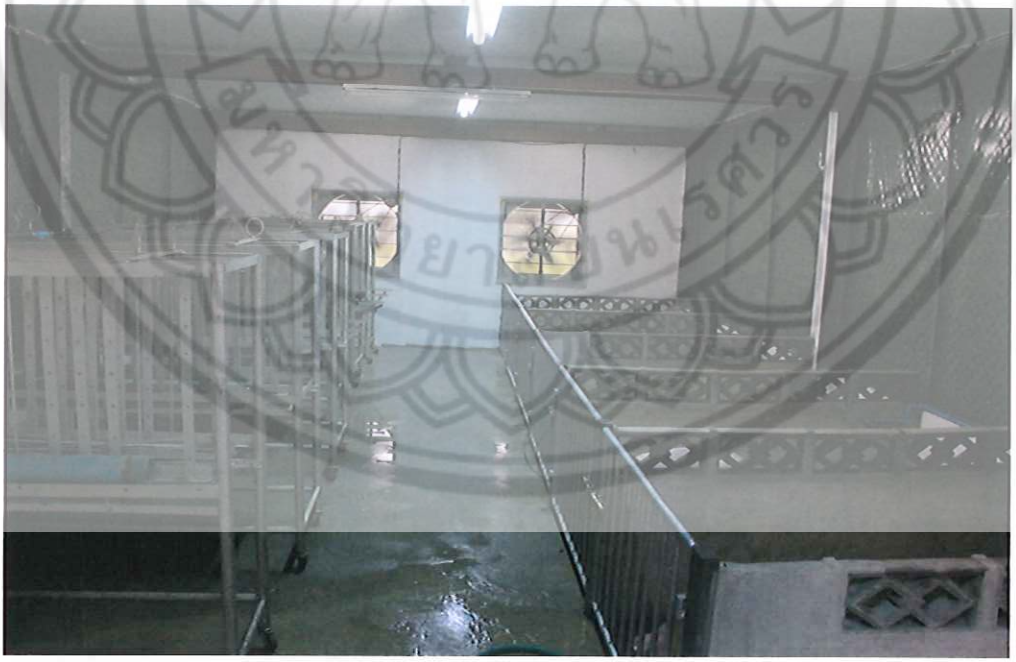
ภาพภาคผนวกที่ 2 ลักษณะกากมะเขือเทศผสมมันสำปะหลังบด



ภาพภาคผนวกที่ 3 ลักษณะสปอร์ของราขาว

ภาพภาคผนวกที่ 4 กากมะเขือเทศผสมมันสำปะหลังหมักด้วยราขาว

ภาพภาคผนวกที่ 5 ภาพโรงเรือที่ใช้ทดสอบการย่อยได้ของโภชนะสุกร



ภาพภาคผนวกที่ 6 ภาพกรงเมตาโบลิคและคอกพักสุกรในโรงเรือนทดสอบการย่อยได้ของโภชนะสุกร

การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนะจากการหมักกากมะเขือเทศร่วมกับมันสำปะหลังด้วยราขาว

Nutrition Transition after the Fermentation of Tomato Pomace and Cassava Meal with White Rot Fungi

วันดี ทาตระกูล[1*] วิภา หอมหวล[1] กุลยาภัสร์ วุฒิจารี[1] บรรเจิด จันต๊ะสา[1] สุรีย์รัตน์ บัวชื่น[1] และอรุณี โยธี[1]

Wandee Tartrakoon*[1], Wipa Homhaul[1], kunlayaphat Wuthijaree[1], Banjued Jantasa[1], Sureerat Buachun[1] and Arunee Yothee[1]

บทคัดย่อ

กากมะเขือเทศเป็นผลพลอยได้จากการผลิตซอสมะเขือเทศ ผสมกับมันสำปะหลังป่น (Tomato Pomace-Cassava Mixes; TPCM) ในสัดส่วน 80: 20 (น้ำหนักเปียก:น้ำหนักแห้ง) เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบพลังงานสำหรับสัตว์ องค์ประกอบทางเคมีของ TPCM ประกอบด้วย วัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และลิกนิน อยู่ในช่วง 91.85-93.04, 9.29-10.79, 7.78-7.93, 20.07-21.71 และ 12.42-15.68% ตามลำดับ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาวิธีการลดปริมาณเยื่อใยและลิกนินใน TPCM โดยใช้การหมักด้วยราขาว ซึ่งมีประสิทธิภาพมากในการย่อยสลายลิกนิน ดังนั้นจึงทำการเพาะเลี้ยง ราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C จากนั้นหมัก TPCM ด้วยราขาวที่ปั่นผสมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ ในระดับ 0, 1, 1.2 และ 1.5 % บ่มเป็นระยะเวลา 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 วันตามแผนการทดลอง 4 x 6 factorial arrangement in CRD พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) ขององค์ประกอบทางเคมีตามระดับความเข้มข้นของราขาวที่แตกต่างกันและพบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้น กลับมีผลทำให้ปริมาณเยื่อใยและลิกนินมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะการหมักที่อาจไม่เหมาะสมสำหรับราขาว โดยเฉพาะความเป็นกรดของกากมะเขือเทศทำให้ pH มีค่าต่ำกว่า 4 ราขาวไม่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างไรก็ตาม TPCM ที่ไม่มีการหมักด้วยราขาวเมื่อทิ้งไว้ 10 วัน ทำให้ปริมาณลิกนิน และเยื่อใยต่ำสุด ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ หลังจากนำไปประเมินคุณค่าทางโภชนะในสัตว์แล้ว

คำสำคัญ : กากมะเขือเทศ มันสำปะหลัง วัตถุดิบพลังงานอาหารสัตว์ ราขาว

Abstract

Tomato Pomace and Cassava Meal (TPCM) was mixed at the ratio of 80:20 (wet weight: air dry weight) to prepare as an energy feed source. Chemical composition of TPCM contained 91.85-93.04,

[1]คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

[1] Faculty of Agriculture Natural Resource and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000

*Corresponding author : Email : wandeeta@nu.ac.th

9.29-10.79, 7.78-7.93, 20.07-21.71 and 12.42-15.68 % of dry matter, crude protein, ether extract, crude fiber and lignin, respectively. The objectives of this study is to find the method of lignin and fiber reduction using white rot fungi fermentation. White rot fungi (WRF) are very effective basidiomycetes for biological pre-treatment as they degrade lignin extensively. WRF were inoculated in potato dextrose agar (PDA). The petri dishes with the WRF were incubated at room temperature for 3 days and stored at 4°C until TPCM inoculation. TPCM were inoculated with 0, 1, 1.2 and 1.5% WRF cultures and incubated for 0, 10, 20, 30, 40 and 50 days at room temperature using 4x6 factorial arrangements in CRD design. There were significant differences (P>0.05) of chemical composition during fermentation period and the concentration of WRF. It was found that the longer of incubation caused the increasing of fiber and lignin concentration in TPCM, may be due to the condition of fermentation was not suitable for WRF such as pH of substrate lower than 4. However, TPCM without WRF inoculation lasted for 10 days had the lowest of lignin and fiber (12.60 and 19.67 %, respectively), therefore it could be used as the energy feed source after nutritional valuable has been examined in animal.

Keywords: tomato pomace cassava meal white rot fungi energy feedstuff

บทนำ

วัตถุดิบที่ใช้ประกอบเป็นอาหารสัตว์สามารถแบ่งเป็นกลุ่มดังนี้ วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของพลังงาน วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปรตีน วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแร่ธาตุและวิตามิน ซึ่งวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 70 เป็นกลุ่มวัตถุดิบที่ให้พลังงาน ถือว่ากลุ่มวัตถุดิบกลุ่มนี้มีผลต่อต้นทุนค่าอาหารเป็นอย่างมาก อีกทั้งราคาวัตถุดิบในกลุ่มของพลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากปัจจัยหลายๆ ด้าน การนำผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารมาเป็นอาหารสัตว์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง แต่งานวิจัยที่ผ่านมา มักมีการศึกษาการนำเอาผลพลอยได้จากการเกษตรมาทดลองใช้เลี้ยงสุกรได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้ผลพลอยได้เหล่านั้นก็ถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้จำกัด และมีปริมาณไม่เพียงพอสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ ดังนั้นการศึกษาในปัจจุบัน ควรศึกษาโดยเริ่มต้นจากศึกษาจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ทางเคมีก่อนว่า สารชนิดใดเป็นข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ในสัตว์ ทำการศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการจนกระทั่งหาวิธีลดข้อจำกัดนั้นโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ แล้วนำมาพัฒนารูปแบบวัตถุดิบให้เหมาะสมกับการนำไปใช้เลี้ยงสุกรได้ในระดับอุตสาหกรรม

กากมะเขือเทศ เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตรอีกชนิดหนึ่ง ที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสุกร เนื่องจากกากมะเขือเทศประกอบด้วยแหล่งโภชนะต่างๆ ที่สุกรต้องการ เช่น พลังงาน โปรตีน และยังเป็นแหล่งของวิตามินที่สำคัญต่อสุกรสูง เช่นวิตามินเอ วิตามินอี และวิตามินดี แต่การนำกากมะเขือเทศสดมาใช้ในการเลี้ยงสุกรยังมีข้อจำกัดคือ กากมะเขือเทศสดที่เหลือจากกระบวนการผลิตมะเขือเทศแปรรูปอยู่ในสภาพเปียก มีปริมาณความชื้นสูง จึงไม่สะดวกต่อการนำกากมะเขือเทศมาใช้ในการเลี้ยงสุกร การ

ใช้มันสำปะหลังร่วมกับกากมะเขือสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการนำกากมะเขือเทศมาใช้ในการเลี้ยงสุกรได้ เนื่องจากมันสำปะหลังสามารถช่วยดูดซับความชื้นของกากมะเขือเทศได้ และมีเยื่อใยอยู่น้อย จึงทำให้การนำกากมะเขือเทศมาใช้ในการเลี้ยงสุกรมีประสิทธิภาพมากขึ้น และนอกจากนี้ปริมาณเยื่อใยและลิกนินที่มีอยู่มากในกากมะเขือเทศ เป็นข้อจำกัดในการใช้ในอาหารสุกรจำเป็นต้องมีกระบวนการพัฒนาเพื่อลดปริมาณปริมาณเยื่อใยและลิกนินให้ลดน้อยลง จึงจะสามารถนำกากมะเขือเทศมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัตถุดิบในอาหารสุกรได้มากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการและการวางแผนการทดลอง

1) นำกากมะเขือเทศสดผสมกับมันสำปะหลังในอัตราส่วน 80:20 กก. (Tomato Pomace-Cassava Mixes; TPCM) อัตราส่วนที่ใช้คำนวณจากน้ำหนักแห้งของกากมะเขือเทศร่วมกับมันสำปะหลัง โดยใช้ปริมาณโปรตีนเป็นเกณฑ์ในการคำนวณ เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ใช้คำนวณเท่ากับ 10% เพื่อให้มีปริมาณเปอร์เซ็นต์โปรตีนใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์โปรตีนของปลายข้าว ข้าวโพด หรือรำละเอียด เมื่อผสมให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปผึ่งแดด 1 วัน เพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักคือ ความชื้น 35±0.5% (กิตติยา และคณะ, 2545)

2) วางแผนการทดลอง 3x6 Factorial arrangement in CRD โดยปัจจัยแรกคืออัตราส่วนของ TPCM 2000, 2500 และ 3000 กรัมต่อปริมาตรเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อ 300 มล. ปัจจัยที่สองคือ ระยะเวลาการหมักที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 วันตามลำดับ โดยหมักตัวอย่างละ 5 ซ้ำ (ดัดแปลงจากปิติ กานต์, 2551และ กิตติยา และคณะ, 2545) เพาะเลี้ยงเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 300 มล.บ่มที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นระยะเวลาประมาณ 7 วัน โดยใช้ตัวชี้วัดคือเมื่อเส้นใยเจริญเต็มเพลตแล้ว นำมาใส่ในเครื่องปั่น เพื่อตัดเส้นใยเป็นชิ้นเล็กๆ นำมาผสมใส่ในถังหมักร่วมกับ TCMP 2000 2500 และ 3000 กรัม ตามลำดับ ต่อปริมาตรเชื้อราขาวในอาหารเลี้ยงเชื้อ 300 มล. หรือคิดเป็นปริมาณเชื้อราขาวที่ใช้ เท่ากับ 1.5, 1.2 และ 1 % ตามลำดับ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 50 วัน สุ่มเก็บตัวอย่างทุกๆ 10 วัน (ดัดแปลงจากปิติกานต์, 2551 และกิตติยา และคณะ, 2545) นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาจากเชื้อจุลินทรีย์

การวิเคราะห์ทางเคมีและสถิติ

การนำ TPCM ที่ได้จากการหมักในระยะ และในอัตราส่วนต่างๆ มาวิเคราะห์หาปริมาณลิกนิน และองค์ประกอบทางโภชนะโดยวิธี proximate analysis (AOAC, 2000) วิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple range test (Steel and Torrie,1980)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองพบว่าการหมัก TPCM ด้วยเชื้อราขาวในอัตราส่วน 0% (TPCM1) ที่ระยะเวลาหมัก 0 ถึง 20 วัน โดยเฉพาะระยะเวลาหมักที่ 10 วัน มีปริมาณเยื่อใยและลิกนินต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เท่ากับ 19.67 และ 12.67% ตามลำดับ (ตาราง 3) และการหมัก TPCM ด้วยเชื้อราขาว 1.5% (TPCM2) ที่ระยะเวลาหมักที่ 0 ถึง 30 โดยเฉพาะระยะเวลาหมักที่ 0 วัน มีปริมาณเยื่อใยและลิกนินต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เท่ากับ 20.07 และ 12.42% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองหมัก TPCM ไม่ได้ทำการปรับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้เหมาะสมกับการทำกิจกรรมของเชื้อราขาว จากผลการทดลอง (ตาราง 1) พบว่าค่า pH ในการหมัก TPCM มีความเป็นกรดตลอดระยะเวลาในการทดลอง ทำให้เชื้อราขาวเจริญเติบโตได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ สอดคล้องกับ Reid (1989) ที่รายงานว่า เชื้อราขาวเจริญเติบโตสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ค่า pH ระหว่าง 4-5

สรุปผลการทดลอง

การหมัก TPCM1 และ TPCM2 ที่ระยะ 0 ถึง 30 วัน สามารถนำไปประกอบสูตรอาหารสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในการหมัก TPCM ควรมีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เพื่อให้เชื้อราขาวเจริญเติบโตได้ และทำกิจกรรมอย่างมีประสิทธิภาพในการหมัก TPCM

ตาราง 1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า pH และวัตถุแห้ง

กลุ่มทดลอง	ระยะเวลาในการหมัก						SEM*
	0	10	20	30	40	50	
ผลการเปลี่ยนแปลงของ pH							
TPCM1	4.03^{Bc}	4.03^{BCc}	3.98^{Bc}	3.70^{Ab}	3.65^{Aab}	3.62^{Aa}	0.034
TPCM2	4.04^{Bb}	4.05^{Cb}	4.03^{Bb}	3.71^{Aa}	3.68^{Ba}	3.68^{Ba}	0.033
TPCM3	3.88^{B}	3.88^{B}	3.90^{B}	3.71^{A}	3.71^{BC}	3.73^{C}	0.031
TPCM4	3.71^{A}	3.72^{A}	3.70^{A}	3.77^{B}	3.75^{C}	3.69^{C}	0.012
SEM**	0.402	0.390	0.400	0.009	0.010	0.016	
ผลการเปลี่ยนแปลงของวัตถุแห้ง							
TPCM1	91.85^{Ba}	91.92^{Ba}	90.87^{Bb}	91.4^{Ba}	91.67^{Ca}	90.86^{Cb}	0.088
TPCM2	91.79^{Ba}	90.86^{Cbc}	91.23^{Babc}	91.31^{Bab}	90.97^{Dbc}	90.64^{Cc}	0.094
TPCM3	91.07^{Cc}	91.65^{Bb}	92.09^{Aab}	91.57^{Bbc}	92.39^{Ba}	92.03^{Bab}	0.089
TPCM4	93.04^{Aa}	93.07^{Aa}	92.57^{Ab}	92.49^{Ab}	93.20^{Aa}	92.84^{Aab}	0.068
SEM**	0.137	0.161	0.164	0.108	0.148	0.153	

หมายเหตุ: TPCM1 ไม่เติมเชื้อราขาว, TPCM2 เติมเชื้อราขาว 1.5 %, TPCM3 เติมเชื้อราขาว 1.2 %, TPCM4 เติมเชื้อราขาว 1 %

^{A,B,C} และ ^{D} ระหว่างคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

^{a,b,c} และ ^{d} ระหว่างแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

SEM* แสดงค่า SEM ในแนวตั้ง, SEM** แสดงค่า SEM ในแนวนอน

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าโปรตีน และ เถ้า

กลุ่มทดลอง	ระยะเวลาในการหมัก						SEM*
	0	10	20	30	40	50	
การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน							
TPCM1	10.45^{ABbc}	9.81^{cd}	9.65^{Bcd}	9.41^{Cd}	11.87^{Aa}	10.84^{ABb}	0.165
TPCM2	10.79^{Aab}	10.83^{ab}	9.35^{Bc}	11.01^{Bab}	11.68^{Aa}	9.96^{Bbc}	0.178
TPCM3	10.05^{Bb}	10.28^{b}	10.28^{Bb}	11.18^{Ba}	9.89^{Bb}	11.47^{Aa}	0.137
TPCM4	9.29^{Bc}	9.77^{bc}	11.68^{Aa}	12.04^{Aa}	11.81^{Aa}	10.38^{ABb}	0.184
SEM**	0.134	0.189	0.210	0.194	0.215	0.217	
การเปลี่ยนแปลงของเถ้า							
TPCM1	5.53^{C}	5.34^{C}	5.33^{B}	5.16	4.84^{B}	5.56^{B}	0.094
TPCM2	5.21^{BC}	5.04^{BC}	5.32^{B}	5.25	5.28^{B}	5.14^{AB}	0.040
TPCM3	4.77^{AB}	4.59^{AB}	4.87^{B}	4.79	5.05^{B}	5.40^{AB}	0.148
TPCM4	4.50^{A}	4.19^{A}	4.19^{AB}	4.43	4.25^{A}	4.30^{A}	0.082
SEM**	0.123	0.135	0.146	0.143	0.126	0.205	

หมายเหตุ: TPCM1 ไม่เติมเชื้อราขาว, TPCM2 เติมเชื้อราขาว 1.5 %, TPCM3 เติมเชื้อราขาว 1.2 %, TPCM4 เติมเชื้อราขาว 1 %

^{A,B,C} และ ^{D} ระหว่างคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

^{a,b,c} และ ^{d} ระหว่างแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

SEM* แสดงค่า SEM ในแนวตั้ง, SEM** แสดงค่า SEM ในแนวนอน

ตาราง 3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าของเยื่อใย ลิกนิน และไขมัน

กลุ่มทดลอง	ระยะเวลาในการหมัก						SEM*
	0	10	20	30	40	50	
การเปลี่ยนแปลงของเยื่อใย							
TPCM1	20.43^{Bcd}	19.67^{cd}	21.71^{Bcb}	24.12^{Aa}	23.74^{a}	21.99^{Cb}	0.291
TPCM2	20.07^{Bd}	22.76^{Bbc}	21.31^{Bcd}	21.77^{Bbc}	23.65^{a}	23.14^{Bab}	0.268
TPCM3	22.28^{Ab}	25.66^{Aa}	23.89^{ABab}	23.29^{ABab}	23.77^{ab}	23.6A^{Bab}	0.395
TPCM4	21.71^{Ac}	24.68^{Aab}	25.88^{Aab}	24.54^{Aab}	23.68^{b}	24.47^{Aab}	0.278
SEM**	0.323	0.468	0.520	0.376	0.365	0.224	
การเปลี่ยนแปลงของลิกนิน							
TPCM1	13.26^{BCbc}	12.67^{Cc}	13.49^{Cbc}	14.81^{a}	14.75^{Ba}	14.21^{Bab}	0.170
TPCM2	12.42^{Cc}	14.57^{Bb}	13.86^{BCb}	14.41^{b}	16.25^{ABa}	16.05^{Aa}	0.240
TPCM3	15.68^{A}	16.80^{A}	15.30^{AB}	15.73	16.14^{AB}	15.44^{A}	0.255
TPCM4	14.11^{Bb}	15.65^{Ba}	15.98^{Aa}	15.90^{a}	16.69^{Aa}	15.93^{Aa}	0.194
การเปลี่ยนแปลงของไขมัน							
TPCM1	7.93^{a}	7.82^{a}	7.53^{a}	6.91^{Bb}	7.96^{Aa}	7.71^{a}	0.090
TPCM2	7.78^{a}	7.75^{a}	7.34^{a}	7.62^{Aa}	6.80^{Bb}	7.85^{a}	0.079
TPCM3	7.87^{ab}	7.44^{b}	7.82^{ab}	8.25^{Aa}	8.04^{Aa}	8.13^{a}	0.079
TPCM4	7.87^{ab}	7.73^{ab}	7.24^{b}	8.30^{Aa}	8.36^{Aab}	7.90^{ab}	0.127
SEM**	0.091	0.080	0.164	0.143	0.120	0.095	

หมายเหตุ TPCM1 ไม่เติมเชื้อราขาว, TPCM2 เติมเชื้อราขาว 1.5 %, TPCM3 เติมเชื้อราขาว 1.2 %, TPCM4 เติมเชื้อราขาว 1 %

$^{A, B, C}$ และ ^{D} ระหว่างคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

$^{a, b, c}$ และ ^{d} ระหว่างแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

SEM* แสดงค่า SEM ในแนวตั้ง, SEM** แสดงค่า SEM ในแนวนอน

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ กองบริหารการวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

กิตติยา อติสงเคราะห์ เพ็ญศรี อติวรรณาพัฒน์ และจันไท จิตรจักร. 2545. การใช้เชื้อราช่วยในการผลิตเยื่อแบบซัลเฟตของไม้กระถินเทพา. รายงานการประชุมวิชาการป่าไม้ ประจำปี 2545. กรมป่าไม้. ราชบุรี.

ปิติกานต์ วิสิษฐ์ศักดิ์. 2551. การลดลิกนินและการผลิตเอนไซม์ลิกนิโนไลติกในระหว่างการหมักเปลือกเมล็ดทานตะวันโดยเห็ดลม *Lentinus polychrous* Lev.. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. 135 น.

A.O.A.C. (2000). Office Methods of Analysis. Association of official analytical chemists. Washington, DC.

Reid, I. D. (1989). Solid-state fermentations for biological delignification. Enzyme and Microbial Technology 11, 786-803.

Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. (1980). Principals an procedures of statistics. New York: Mc Graw-Hill.