ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อการย่อยได้ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ

นางสาวฤทัยรัตน์ โต้งกระโทก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2553

EFFECT OF FERMENTED CASSAVA PULP ON DIGESTIBILITY, GROWTH PERFORMANCE AND CARCASS QUALITY OF BROILERS

Ruthairat Thongkratok

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Animal Production Technology

Suranaree University of Technology

Academic Year 2010

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อการย่อยได้ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(ผศ. น. สพ. ดร.บัญชร ลิขิตเดชาโรจน์)
ประธานกรรมการ

_____

(อ. ดร.สุทิศา เข็มผะกา)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(อ. ดร.วิทธวัช โมพี)
กรรมการ

_____

(อ. ดร.อมรรัตน์ โมพี)
กรรมการ

_____

(อ. ดร.วุฒิ ด่านกิตติกุล)
รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

_____

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ฤทัยรัตน์ โต้งกระโทก : ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อการย่อยได้ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ (EFFECT OF FERMENTED CASSAVA PULP ON DIGESTIBILITY, GROWTH PERFORMANCE AND CARCASS QUALITY OF BROILERS) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สุทิศา เข็มผะกา, 101 หน้า.

อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังก่อให้เกิดเศษเหลือคือ กากมันสำปะหลัง จากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากในแต่ละปี กากมันสำปะหลังมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง (50-70%) แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำ และเยื่อใยสูง จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับไก่เนื้อ อย่างไรก็ตามหากมีการหมักกากมันสำปะหลังร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มโปรตีนน่าจะสามารถเพิ่มระดับการใช้ในอาหารไก่เนื้อได้ ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อ โดยประกอบด้วย 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อจุลินทรีย์ และการทดลองที่ 2 และ 3 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ

การทดลองที่ 1 ใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae, Candida utilis* และ *Aspergillus oryzae* ร่วมกับการใช้แหล่งไนโตรเจนจากยูเรียที่มีความเข้มข้นต่างกัน 6 ระดับ (0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25%) หมักกากมันสำปะหลังเป็นเวลา 7 วัน ทำการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โปรตีน และอะมิโนไนโตรเจนทุกวัน ผลการทดลองพบว่า การหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A.oryzae* โดยใช้ยูเรียที่ระดับ 0.75% หมักเป็นเวลา 4 วัน สามารถเพิ่มโปรตีน และอะมิโนไนโตรเจนได้สูงกว่าการหมักด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* และ *C. utilis* ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวสามารถเพิ่มการผลิตโปรตีน และอะมิโนไนโตรเจนในกากมันสำปะหลังจาก 2.59 และ 0.9% (กากมันสำปะหลังที่ไม่ได้หมัก) เป็น 17.40 และ 15.13% ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *A. oryzae* โดยใช้ยูเรียที่ระดับ 0.75% หมักเป็นเวลา 4 วันในอาหารไก่เนื้อ ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ โดยใช้ไก่เนื้อเพศผู้จำนวน 49 ตัวที่อายุ 15 วัน แบ่งไก่ออกเป็น 7 กลุ่ม กลุ่มละ 7 ซ้ำ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำการสุ่มไก่ให้ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังหมัก 7 กลุ่ม (สูตรควบคุม 1 กลุ่ม และกากมันสำปะหลังหมัก 6 กลุ่ม: 4, 8, 12, 16, 20 และ 24%) เลี้ยงเป็นเวลา 10 วัน ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลงตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากมันสำปะหลังหมัก แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติเมื่อใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 16%

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อ ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และค่าทางชีวเคมีของโลหิต โดยใช้ไก่เนื้อเพศผู้อายุ 1 วัน จำนวน 270 ตัว สุ่มแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม เพื่อรับอาหารทดลอง (สูตรควบคุม 1 กลุ่ม และกากมันสำปะหลังหมัก 5 กลุ่ม: 4, 8, 12, 16 และ 20%) เลี้ยงเป็นเวลา 42 วัน ผลการทดลองพบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารไก่เนื้อที่ระดับสูงสุด 16% โดยไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก สีเนื้อ และค่าทางชีวเคมีของโลหิต อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ 20% มีผลให้น้ำหนักตับเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 4-16% นอกจากนี้ยังพบว่ากากมันสำปะหลังหมักไม่ส่งผลกระทบต่อค่าแอคติวิตีของเอนไซม์แอสพาเตทอะมิโนทรานเฟอเรส (aspartate aminotransferase : AST) และเอนไซม์อะลานีนอะมิโนทรานสเฟอเรส (alanine aminotransferase : ALT) ของไก่เนื้อ

โดยสรุปการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. oryzae* ที่ระดับยูเรีย 0.75% หมักเป็นเวลา 4 วัน มีประสิทธิภาพในการเพิ่มโปรตีน และอะมิโนไนโตรเจนสูงสุดโดยกากมันสำปะหลังหมักดังกล่าวสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อถึงระดับ 16% โดยไม่ส่งผลต่อการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และค่าทางชีวเคมีของโลหิต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

RUTHAIRAT THONGKRATOK : EFFECT OF FERMENTED CASSAVA PULP ON DIGESTIBILITY, GROWTH PERFORMANCE AND CARCASS QUALITY OF BROILERS.THESIS ADVISOR : SUTISA KHEMPAKA, Ph.D., 101 PP.

CASSAVA PULP/FERMENTED/DIGESTIBILITY/GROWTH PERFORMANCE/CARCASS QUALITY/*ASPERGILLUS ORYZAE*/*SACCHAROMYCES CEREVISIAE*/*CANDIDA UTILIS*

Annually the tapioca starch industry generates a large amount of waste in the form of cassava pulp. This pulp contains a lot of starch (50-70%), but contains low amounts of protein and high fiber which limits its use as feedstuff for broilers. However, if this pulp is fermented with microorganisms to improve protein, it would increase the inclusion levels in broiler diets. Therefore, this experiment aimed to study the potential use of fermented cassava pulp in broiler diets. This study consisted of 3 experiments: experiment 1 was conducted to evaluate the optimal conditions of cassava pulp for microbial fermentation and experiments 2 and 3 were conducted to examine the use of fermented cassava pulp on nutrient digestibility and retention, growth performance and carcass quality of broilers.

In experiment 1, *Saccharomyces cerevisiae, Candida utilis* and *Aspergillus oryzae* were used to ferment cassava pulp by varying the concentration of nitrogen (N) source from urea at 6 levels (0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 and 1.25%) for 7 days. Reducing sugars, crude proteins and amino N were measured daily. The results showed that cassava pulp fermented with *A. oryzae* using 0.75% urea for 4 days enhanced the

higher protein and amino N content more than *S. cerevisiae* and *C. utilis*. This condition can increase protein and amino N from 2.59 and 0.9% (unfermented) to 17.4 and 15.13%, respectively.

Experiment 2 studied the effect of cassava pulp fermented with *A.oryzae* using 0.75% urea for 4 days in broiler diets on nutrient digestibility and retention. Forty-nine fifteen-day old male chickens were placed in individual cages and assigned randomly to 7 dietary treatment groups (one control and six fermented cassava pulp: 4, 8, 12, 16, 20 and 24%) for 10 days. The results indicated that protein efficiency ratio, nutrient digestibility and retention decreased with increasing levels of fermented cassava pulp. Over all, these parameters were not significantly decreased when fermented cassava pulp was included up to 16% in diets.

Experiment 3 studied the effect of fermented cassava pulp in broiler diets on growth performance, carcass quality and blood biochemistry. Two hundred and seventy one-day old male chickens were randomly distributed to 6 dietary treatment groups (one control and five fermented cassava pulp: 4, 8, 12, 16 and 20%) for 42 days. The results showed that fermented cassava pulp could be used as an energy source with inclusion level up to 16% in broiler diets which had no significant effects on growth performance, carcass composition, meat color and blood biochemistry. However, the use of fermented cassava pulp at 20% resulted in increased liver weight ($P<0.05$) compared with control and fermented cassava pulp at levels of 4-16%. Moreover, it was found that fermented cassava pulp had no detrimental effects on aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) of broilers.

In conclusion, cassava pulp fermented with *A. oryzae* using 0.75% urea and fermented for 4 days was found to be the optimal condition to enhance the highest protein and amino N contents. This fermented cassava pulp can be used in broiler diets up to 16% without detrimental effects on nutrient digestibility and retention, growth performance, carcass quality and blood biochemistry.

School of Animal Production Technology Student's Signature_____

Academic Year 2010 Advisor's Signature_____

Co-advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุทิศา เข็มผะกา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.วิทธวัช โมพี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยเหลือ และสนับสนุนในด้านการทดลองอย่างใกล้ชิดตลอดระยะเวลาของการศึกษา และการทำวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ทางวิชาการ ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัย ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่งานวิจัยสัตว์ปีก ฟาร์มมหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ สัตว์ทดลอง เชื้อจุลินทรีย์ อุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการศึกษาวิจัย

ขอบคุณ โรงงานแป้งมันสำปะหลังโคราช ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์กากมันสำปะหลัง ขอขอบคุณพี่ๆ และน้องๆ สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจ สนับสนุน และช่วยเหลือจนสำเร็จการศึกษา

ฤทัยรัตน์ โต้งกระโทก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย). ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ). ..... ค

กิตติกรรมประกาศ. ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง. ..... ฎ

สารบัญภาพ. ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา. 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย. 2

1.3 สมมติฐานของการวิจัย. 2

1.4 ขอบเขตของการวิจัย. 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ. 3

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย 4

2.2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง. 7

2.3 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง (cassava pulp). 10

2.4 ผลการใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ 14

2.4.1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อ. 14

2.4.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกร. 16

2.4.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารโคนม. 16

2.5 กระบวนการหมักเพื่อเพิ่มโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์ 18

2.6 จุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมัก. 19

2.6.1 เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.2 เชื้อยีสต์ *Candida utilis* 22
2.6.3 เชื้อรา *Aspergillus oryzae* 22
2.7 เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้ง.....23
2.7.1 เอนไซม์ย่อยภายใน.....23
2.7.1 เอนไซม์ย่อยภายนอก.....24
2.7.1 เอนไซม์ย่อยพันธะกิ่ง 24
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักด้วยเชื้อยีสต์และรา.....25
2.9 ผลของการเพิ่มโปรตีนจากการหมักมันสำปะหลังด้วยยีสต์และรา.....28
2.10 ผลของการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่อสมรรถนะ
การเจริญเติบโตของสัตว์.....30
2.10.1 ผลของการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่อสมรรถนะ
การเจริญเติบโตของสัตว์ปีก.....30
2.10.2 ผลของการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่อสมรรถนะ
การเจริญเติบโตของสุกร.....32
2.10.3 ผลของการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่อสมรรถนะ
การเจริญเติบโตของโคนม.....32
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....33
3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาหาวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ
ของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์.....33
3.1.1 การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ 33
3.1.2 วิธีการหมัก 34
3.1.3 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ทางเคมี.....34
3.1.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ 35
3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ
จากกากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อ.....35
3.2.1 การเตรียมสารละลายสปอร์เชื้อรา *A. oryzae*.....35
3.2.2 การเตรียมหัวเชื้อรา *A. oryzae*.....37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.3 การเตรียมกากมันสำปะหลัง 38
3.2.4 สัตว์ทดลอง....39
3.2.5 อาหารทดลอง. 39
3.2.6 การเก็บข้อมูล....42
3.2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ 43
3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมัก ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ....43
3.3.1 การเตรียมกากมันสำปะหลังหมัก.. 43
3.3.2 สัตว์ทดลอง....43
3.3.3 อาหารทดลอง. 44
3.3.4 ลักษณะที่ต้องการศึกษา. 46
3.3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ. 48
3.4 สถานที่ทำการทดลอง....48
3.5 ระยะเวลาทำการทดลอง. 48
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง....49
4.1 การทดลองที่ 1 ผลการศึกษาหาวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ ของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์.....49
4.2 การทดลองที่ 2 ผลการศึกษาการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ ของกากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อ....59
4.3 การทดลองที่ 3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมัก ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและคุณภาพซากของไก่เนื้อ....61
4.3.1 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต. 61
4.3.2 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ 62
4.3.3 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะ อวัยวะภายในของไก่เนื้อ 64

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.4 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะสีเนื้อและผิวหนังของไก่เนื้อ.....67
4.3.5 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อค่าทางชีวเคมีของโลหิตในไก่เนื้อ.....68
4.3.6 การใช้กากมันสำปะหลังหมักเทียบกับกากมันสำปะหลังปกติในสูตรอาหารไก่เนื้อ.....69
4.3.7 ต้นทุนค่าอาหารเมื่อใช้กากมันสำปะหลังหมักเป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารไก่เนื้อ.....70
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....74
5.1 สรุป.....74
5.2 ข้อเสนอแนะ.....74
รายการอ้างอิง.....75
ภาคผนวก ก วิธีการดำเนินงานทางห้องปฏิบัติการ.....86
ภาคผนวก ข แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โปรตีน และไนโตรเจนจากกรดอะมิโน.....97
ประวัติผู้เขียน..... 101

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของโลกจำแนกตามประเทศ ผู้ผลิตรายใหญ่ปี 2549-2551 5
2.2 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย 5
2.3 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยจำแนกตามภูมิภาค และจังหวัดที่มีการผลิตสูงสุดปี 2550-2553 6
2.4 เปรียบเทียบราคาข้าวโพดและมันสำปะหลังในประเทศไทยปี 2547-2553 7
2.5 ปริมาณการส่งออกแป้งมันสำปะหลังของประเทศไทยปี 2549-2553 7
2.6 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง (%) 10
2.7 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ 13
2.8 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในอาหารไก่เนื้อ 15
2.9 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิตในอาหารสุกร 16
2.10 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ 20
2.11 ผลของการเพิ่มโปรตีนจากการหมักมันสำปะหลังด้วยยีสต์และรา 29
2.12 ผลการใช้มันสำปะหลังต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสัตว์ 31
3.1 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังหมัก (as fed basis) 40
3.2 ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่เนื้อระยะแรก (0-21 วัน) ที่ใช้ในการทดลอง 41
3.3 ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลอง 45
4.1 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังหมัก (% dry matter) 58
4.2 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ 60
4.3 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ (0-42 วัน) 63
4.4 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ 64
4.5 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะอวัยวะภายในของไก่เนื้อ 66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.6 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะสีเนื้อและผิวหนังของไก่เนื้อ 67
4.7 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อค่าทางชีวเคมีของโลหิต.....69
4.8 การใช้กากมันสำปะหลังหมักเทียบกับกากมันสำปะหลังปกติในสูตรอาหารไก่เนื้อ 70
4.9 ส่วนประกอบในสูตรอาหาร และราคาวัตถุดิบอาหารไก่เนื้ออายุ 0-21 วัน 72
4.10 ส่วนประกอบในสูตรอาหาร และราคาวัตถุดิบอาหารไก่เนื้ออายุ 22-42 วัน…….. 73

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง 9

2.2 โครงสร้างทางโมเลกุลของอะไมโลส (ภาพบน) และอะไมโลเพคติน (ภาพล่าง) 11

2.3 การย่อยลินามารินด้วยเอนไซม์ลินามาเรสได้กรดไฮโดรไซยานิค....12

3.1 แสดงการเจริญของเชื้อรา *A.oryzae* 36

3.2 แสดงการเตรียมสารละลายสปอร์เชื้อรา *A. oryzae* 36

3.3 ข้าวสารที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที....37

3.4 ข้าวสารที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อ *A.oryzae* เป็นเวลา 4 วัน....38

4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/กรัม)
ในการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. oryzae* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ
0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 และ 1.25.% หมักเป็นเวลา 7 วัน....50

4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/กรัม)
ในการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ
0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 และ 1.25.% หมักเป็นเวลา 7 วัน....51

4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/กรัม)
ในการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *C. utilis* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ
0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 และ 1.25.% หมักเป็นเวลา 7 วัน....51

4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีน (%) ในการหมักกากมันสำปะหลัง
ด้วยเชื้อ *A. oryzae S. cerevisiae* และ *C. utilis* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ
0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 และ 1.25.% หมักเป็นเวลา 7 วัน....53

4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะมิโนไนโตรเจน (%) ในการหมักกากมันสำปะหลัง
ด้วยเชื้อ *A. oryzae S. cerevisiae* และ *C. utilis* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ
0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 และ 1.25.% หมักเป็นเวลา 7 วัน....54

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการผลิตไก่เนื้อของประเทศไทยได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความต้องการวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะข้าวโพดซึ่งเป็นวัตถุดิบอาหารแหล่งพลังงานหลักสำหรับไก่เนื้อ แต่ในช่วงที่ผ่านมาข้าวโพดได้ถูกแบ่งส่วนไปใช้ในการผลิตเอทานอล ส่งผลให้ต้องมีการนำเข้าข้าวโพดเพิ่มมากขึ้นทุกๆ ปี การศึกษาเพื่อหาแหล่งวัตถุดิบอาหารทดแทนที่เป็นผลพลอยได้หรือเศษเหลือในอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีราคาถูก หาง่ายในท้องถิ่นและมีปริมาณมาก เช่น กากมันสำปะหลัง มาใช้ทดแทนข้าวโพดที่มีราคาแพง น่าจะช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย มีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นทุกปี ประมาณปีละ 16-25 ล้านตัน โดยหัวมันสำปะหลังสดประมาณ 55% ของปริมาณที่ผลิตได้แต่ละปีจะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีเศษเหลือเป็นกากมันสำปะหลังถึง 11.1% (พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และวิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2550) โดยพบว่าในกากมันสำปะหลังยังมีโภชนะหลงเหลืออยู่ (แป้ง 68.89%, เถ้า 1.70%, โปรตีน 1.55%, เยื่อใย 27.75% และไขมัน 0.12%) (Sriroth, Chollakup, Chotineeranat, Piyachomkwan and Oates, 2000) ซึ่งน่าจะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ จากการรวบรวมเอกสารพบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ 8% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต (Khempaka, Molee and Guillaume, 2009) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีจุดด้อยคือ มีปริมาณโปรตีนต่ำ และมีเยื่อใยสูง การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อจึงใช้ได้ในระดับต่ำ ดังนั้นจึงมีแนวคิดว่าหากมีการปรับปรุงโภชนะของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนให้สูงขึ้น น่าจะสามารถเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อได้

เชื้อยีสต์ และเชื้อราเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในกระบวนการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ จากการศึกษาการใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ในการหมักมันสำปะหลังพบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนได้ตั้งแต่ 4.4 ถึง 10.9% การใช้ราในกลุ่ม *Aspergillus niger* สามารถเพิ่มโปรตีนได้ตั้งแต่ 4.4 ถึง 12.2% และการใช้รา *Rhizopus oryzae* สามารถเพิ่มโปรตีนได้ ตั้งแต่ 4.7 ถึง 8.8

(Oboh and Akindahunsi, 2003; Oboh, Akindahunsi and Oshodi, 2002; Oboh and Elusiyan, 2007) นอกจากนี้กัลยานี วุฒิศรี, เพิ่มศักดิ์ ศิริวรรณ และบัวเรียม มณีวรรณ (2551) ได้ศึกษาการใช้มันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *Amylomyces rouxii* ในสูตรอาหารไก่เนื้อ พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารได้ถึง 10% โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร และการศึกษาของ อุษณีย์ภรณ์ สร้อยเพ็ชร, เทอดศักดิ์ คำเหม็ง, ฉลอง วชิราภร และ วิชัย ลีลาวัชรมาศ (2550) ได้ศึกษาการใช้มันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *Aspergillus niger* ในสูตรอาหารเป็ดเนื้อ พบว่าการใช้มันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารเป็ดเนื้อที่ระดับ 10% สามารถเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารได้

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Candida utilis* และเชื้อรา *Aspergillus oryzae* จากนั้นทำการคัดเลือกเชื้อที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาหมักกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารไก่เนื้อ และศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักตั้งแต่ระดับ 0-24% ในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Candida utilis* และเชื้อรา *Aspergillus oryzae* และทำการคัดเลือกเชื้อที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาหมักกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารสำหรับไก่เนื้อ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1.3.1 การหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อจุลินทรีย์สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนะโดยเฉพาะในส่วนของโปรตีนได้

1.3.2 การหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อจุลินทรีย์สามารถเพิ่มการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะเมื่อใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารไก่เนื้อ

1.3.3 การใช้กากมันสำปะหลังหมักสามารถเพิ่มระดับการใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับกากมันสำปะหลังปกติ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึง ผลของการเพิ่มโปรตีนของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Candida utilis* และเชื้อรา *Aspergillus oryzae* และทำการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มโปรตีนที่ดีที่สุดมาหมักกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารไก่เนื้อ โดยศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักตั้งแต่ระดับ 0-24% ต่อการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังหมักในสภาวะที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อต่อไป

1.5.2 ทราบระดับที่เหมาะสมในการใช้กากมันสำปะหลังหมักเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสำหรับไก่เนื้อ

1.5.3 ได้แนวทางการใช้วัตถุดิบอาหารสำหรับไก่เนื้อเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งวิธี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. มีชื่อสามัญเรียกหลายชื่อตามภาษาต่างๆ ได้แก่ cassava, yuca, mandioa, manioc, tapioca มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากเป็นประเทศที่มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเป็นอันดับที่ 3 ของโลก รองจากประเทศไนจีเนีย และบราซิล (แสดงในตารางที่ 2.1) นอกจากนั้นประเทศไทยยังมีการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นอันดับหนึ่งของโลก ซึ่งปริมาณการผลิตมันสำปะหลังยังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณความต้องการมันสำปะหลังเพื่อใช้ในประเทศ และเพื่อการส่งออกยังคงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นทุกปี (แสดงในตารางที่ 2.2) โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการเพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดในประเทศไทย โดยมีพื้นที่เพาะปลูกเท่ากับ 4,242,124 ไร่ หรือร้อยละ 54.73 ของพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังทั้งประเทศ และจังหวัดนครราชสีมามีการเพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดในประเทศ (แสดงในตารางที่ 2.3) โดยหัวมันสำปะหลังสดที่ผลิตได้ประมาณ 55% ถูกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ส่วนหัวมันสำปะหลังสดที่เหลือประมาณ 45% ถูกใช้ในการผลิตเป็นมันเส้น มันอัดเม็ด และการผลิตเอทานอล (ปรารถนา ปรารถนาดี, จิรชัย พุทธกุลสมศิริ, เจริญชัย โขมภักตราภรณ์ และชุมพล มณฑาทิพย์กุล, 2552)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของโลกจำแนกตามประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ ปี 2549-2551

ประเทศ	ผลผลิต (1,000 ตัน)		
	2549	**2550**	**2551**
ไนจีเรีย	45,721	43,410	44,582
บราซิล	26,639	26,541	25,878
ไทย	22,584	26,916	25,156
อินโดนีเซีย	19,987	19,988	21,593
คองโก	14,989	15,004	15,019
กานา	9,638	9,650	9,650
เวียดนาม	7,783	8,193	9,396
อินเดีย	7,855	8,232	9,054
อังโกลา	8,810	8,840	8,840
แทนซาเนีย	6,158	6,600	6,600
อื่นๆ	52,128	50,757	54,772
รวมทั้งโลก	222,292	224,131	230,540

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย

ปี	ผลผลิตหัวมันสด (1,000 ตัน)
2552/53	22,117
2551/52	30,088
2550/51	25,156
2549/50	26,411
2548/49	22,584
2547/48	16,938
2546/47	21,440

ที่มา: มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย (2551)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยจำแนกตามภูมิภาค และจังหวัดที่มีการผลิตสูงสุดปี 2550-2553

ภาค/จังหวัด	ผลผลิต (1,000 ตัน)			
	2550	**2551**	**2552**	**2553**
เหนือ	3,894	3,805	5,287	4,220
ตะวันออกเฉียงเหนือ	14,578	13,448	15,571	11,710
กลาง	8,443	7,903	9,230	6,076
นครราชสีมา	7,018	6,298	7,130	5,051
กำแพงเพชร	1,550	1,504	2,177	1,697
สระแก้ว	1,357	1,289	1,483	973
ชัยภูมิ	1,345	1,266	1,452	1,039
ชลบุรี	1,203	1,072	1,120	1,001
ฉะเชิงเทรา	1,138	1,079	1,171	790
กาญจนบุรี	1,115	1,014	1,231	828
รวมทั้งประเทศ	26,916	25,156	30,088	22,006

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารชนิดหนึ่งที่เหมาะสมกับการใช้เลี้ยงสัตว์ชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารประเภทแป้งที่มีราคาถูกกว่าวัตถุดิบอาหารประเภทแป้งชนิดอื่นๆ เช่นข้าวโพด ดังแสดงในตารางที่ 2.4 การนำมันสำปะหลังมาเลี้ยงสัตว์จะทำให้ต้นทุนการผลิตสัตว์ถูกลง

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบราคาข้าวโพดและมันสำปะหลังในประเทศไทยปี 2547-2553

ปี	มันสำปะหลังเส้น (บาท/กก.)	ข้าวโพดอาหารสัตว์ (บาท/กก.)
2553	6.66	9.06
2552	4.43	6.95
2551	5.49	8.9
2550	4.69	7.78
2549	4.14	6.81
2548	4.40	5.50
2547	3.21	5.70

ที่มา: สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย (2554)

2.2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ในปัจจุบันประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่มีการส่งออกแป้งมันสำปะหลังที่ใหญ่ที่สุดในโลก มีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปีดังแสดงในตารางที่ 2.5 และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นถึง 4 ล้านตันต่อปีในอนาคตอันใกล้ (เดชา พิมพิสุทธิ์, 2550) โดยการผลิตแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะเป็นการผลิตเพื่อการส่งออกสามารถจำแนกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังสำเร็จรูป (native starch industry) อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังแปรรูป (modified starch industry) และอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์อื่นๆ (starch derivatives industry)

ตารางที่ 2.5 ปริมาณการส่งออกแป้งมันสำปะหลังของประเทศไทยปี 2549-2553

ปี	ปริมาณการส่งออก (1,000 ตัน)
2553	2,432
2552	2,497
2551	1,987
2550	2,207
2549	2,307

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

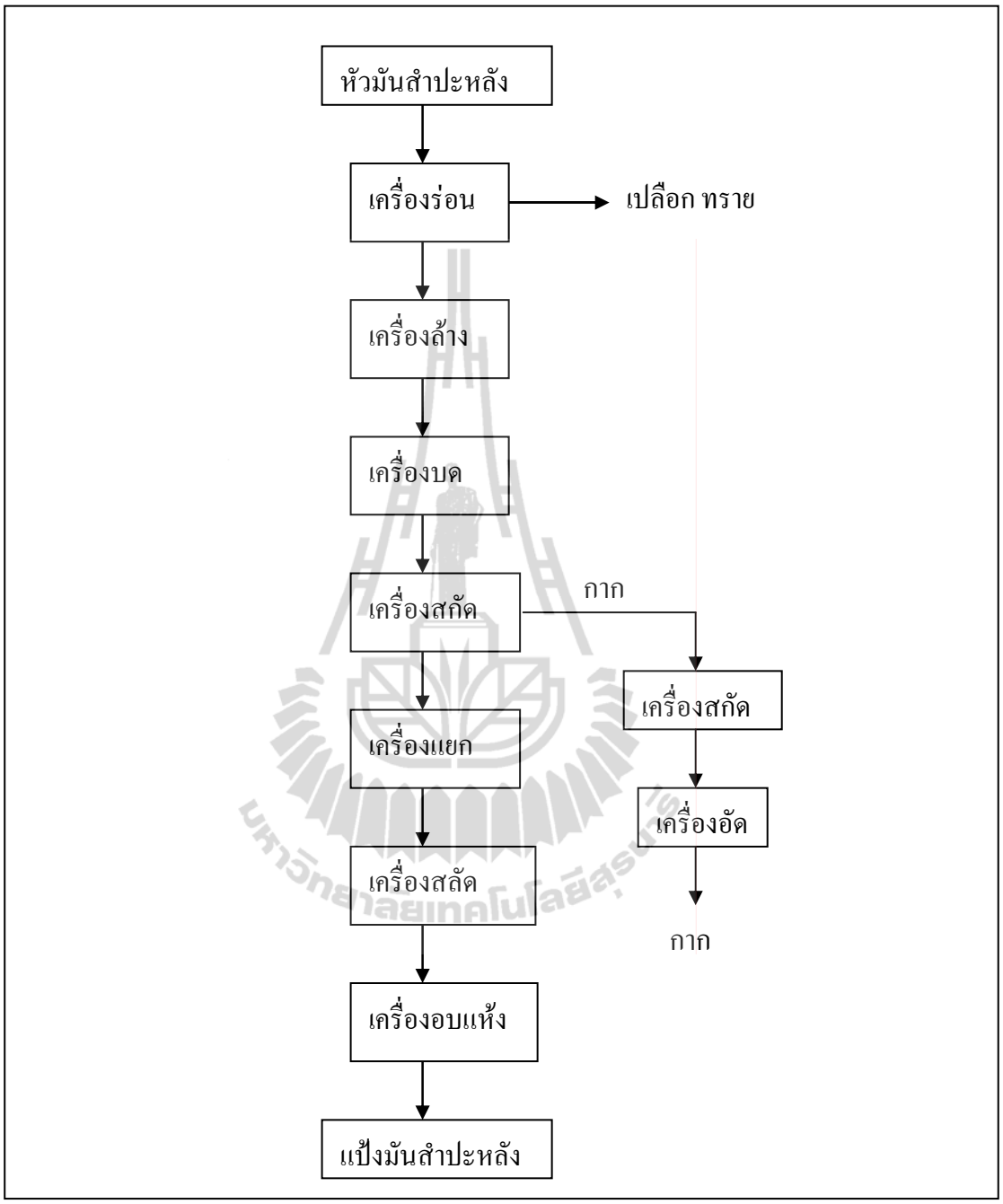
จากผลผลิตหัวมันสำปะหลังส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะถูกนำมาแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง โดยในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีเศษเหลือที่เกิดจากกระบวนการผลิตประมาณ 10-15% (Sriroth et al., 2000) ซึ่งมาจากกระบวนการล้าง การปอกเปลือก และการสกัดแป้ง โดยจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีผลพลอยได้ที่อยู่ในรูปของแข็งได้แก่ เปลือกราก และกากมันสำปะหลัง ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีเศษเหลือเป็นกากมันสำปะหลังถึง 11.1% (พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และวิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2550) กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในปัจจุบันนิยมผลิตแบบสลัดแห้ง มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ เป็นขั้นตอนที่ทำให้ดินทราย และเศษเปลือกหรือรากไม้ที่ปะปนมาให้หลุดไปโดยเครื่องร่อนดินทราย จากนั้นหัวมันสำปะหลังจะถูกล้างให้สะอาดโดยผ่านเครื่องล้างหัวมัน (root washer)

2. การโม่หัวมันสำปะหลัง เป็นขั้นตอนหลังจากหัวมันสำปะหลังผ่านขั้นตอนการล้างทำความสะอาดจากเครื่องล้างหัวมันแล้ว จะถูกลำเลียงด้วยสายพานเพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องสับหัวมัน (root chopper) โดยเครื่องจะสับหัวมันให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นหัวมันขนาดเล็กจะผ่านลงสู่เครื่องโม่ (rasper) ในขั้นตอนนี้จะได้ของเหลวข้น (middle fresh pulp) ที่มีส่วนผสมของแป้ง น้ำ กากมัน และสิ่งเจือปนต่างๆ

3. การสกัดแป้ง เป็นขั้นตอนที่ของเหลวข้นจากเครื่องโม่จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องดีแคนเตอร์ (decanter) ซึ่งเป็นเครื่องแยกน้ำทิ้งที่มีโปรตีน และไขมันออกจากเนื้อแป้ง ดังนั้นส่วนของแข็งที่เป็นแป้งรวมทั้งเส้นใย และกากจะถูกแยกออกจากน้ำแป้งที่มีความเข้มข้นสูง แล้วเข้าสู่หน่วยสกัดแป้งต่อไป เครื่องสกัดแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดสกัดหยาบ (coarse extractor) และชุดสกัดละเอียด (fine extractor) น้ำแป้งจะผ่านเข้าชุดสกัดหยาบก่อน เพื่อแยกกากหยาบออก แล้วจึงเข้าสู่ชุดสกัดละเอียดเพื่อแยกกากอ่อน กากหยาบ และกากอ่อนที่ได้จะผ่านเข้าสู่เครื่องสกัดชุดสกัดกาก (pulp extractor) และเครื่องอัดกากต่อไป (screw press) จากนั้นจะได้กากมันสำปะหลังออกมา

4. การอบแห้ง เป็นขั้นตอนการระเหยความชื้นออกไป และจะมีการตรวจสอบความชื้นของแป้งให้ได้ตามต้องการ จากนั้นจะบรรจุแป้งละเอียดที่ได้ลงถุงต่อไป



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

2.3 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง (cassava pulp)

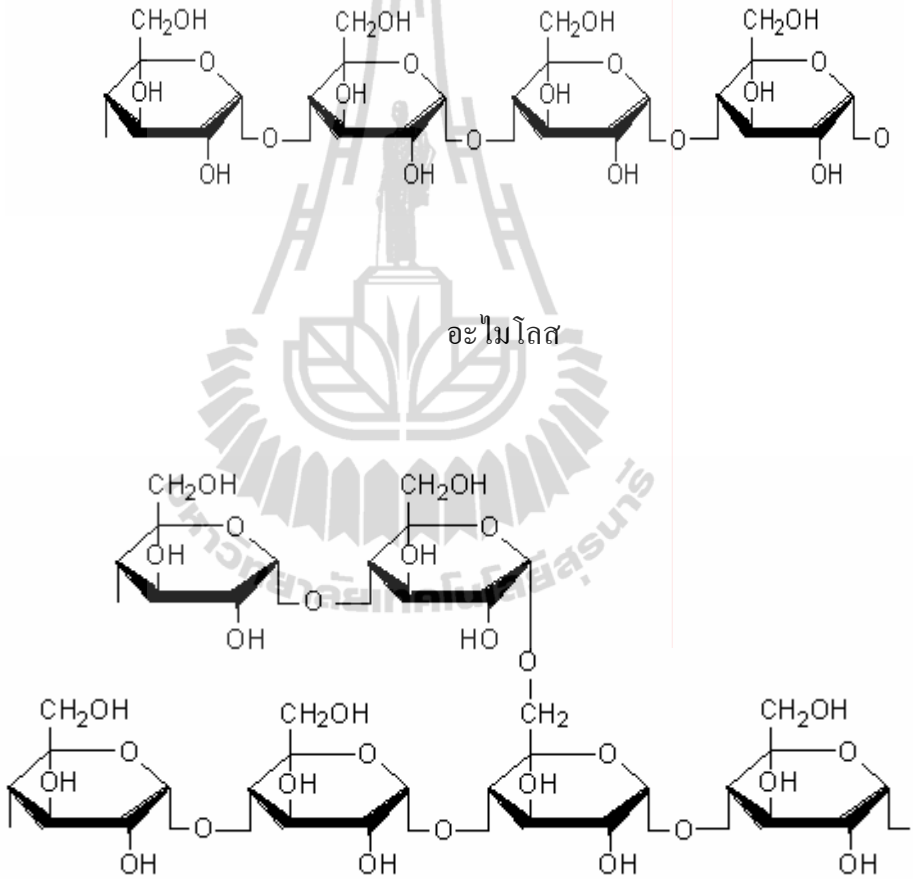
เนื่องจากความต้องการแป้งมันสำปะหลังทั้งในประเทศ และต่างประเทศมีปริมาณเพิ่มขึ้น จึงทำให้กากมันสำปะหลังซึ่งเป็นเศษเหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังได้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เกิดจากความผันแปรอันเนื่องจากคุณภาพของหัวมันสำปะหลัง ได้แก่ สายพันธุ์มันสำปะหลัง ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การเพาะปลูก การดูแลรักษา อายุการเก็บเกี่ยว ฤดูกาล และกรรมวิธีการสกัดแป้งมันสำปะหลังของแต่ละโรงงาน จึงทำให้โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในแต่ละภูมิภาคของประเทศมีวัตถุดิบป้อนเข้าสู่โรงงานที่มีความแตกต่างกัน ส่งผลให้ส่วนของกากมันสำปะหลังที่เป็นเศษเหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง (%)

Starch	Ash	Protein	Fiber	Fat	Dry matter	References
68.89	1.70	1.55	27.75	0.12	-	Sriroth et al. (2000)
-	-	1.71	14.66	-	82.84	วราพันธุ์ และคณะ (2549)
-	3.8	2.6	6.6	0.2	92.6	Suksombat et al. (2006)
53.55	2.83	1.98	13.59	0.13	93.22	Khempaka et al. (2009)
47.97	5.73	3.42	14.75	0.5	88.66	ปรีดา และคณะ (2552)
50.20	5.32	2.35	14.57	0.53	89.12	สุเมธ และคณะ (2552)
66.22	2.65	3.39	15.26	0.24	97.79	ไกรวุฒิ (2550)

มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทแป้ง ซึ่งเมื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งและผ่านกระบวนการสกัดแป้งออก จะมีเศษเหลือเป็นกากมันสำปะหลังซึ่งยังคงมีแป้งหลืออยู่ประมาณ 50-68.89% ซึ่งแป้งจากหัวมันสำปะหลังนี้มีลักษณะเป็นแป้งอ่อน (soft starch) และมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุลได้รวดเร็วทำให้เอนไซม์อะไมเลส (amylase) ในทางเดินอาหารของสัตว์ย่อยแป้งได้รวดเร็ว ก่อให้เกิดผลดีกับตัวสัตว์ เพราะสัตว์จะเกิดความเครียดจากการย่อยอาหารน้อยลง อีกทั้งแป้งที่ย่อยเร็วจะช่วยทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (non-pathogenic bacteria) ในทางเดินอาหารเพิ่มมากขึ้น และมีผลทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคต่อร่างกาย (pathogenic bacteria) ในทางเดินอาหารลดลง ส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพดีขึ้น

โดยโครงสร้างของแป้งประกอบด้วยโพลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) เป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,4 (α-1, 4) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1, 4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1, 6 ดังแสดงในภาพที่ 2.2



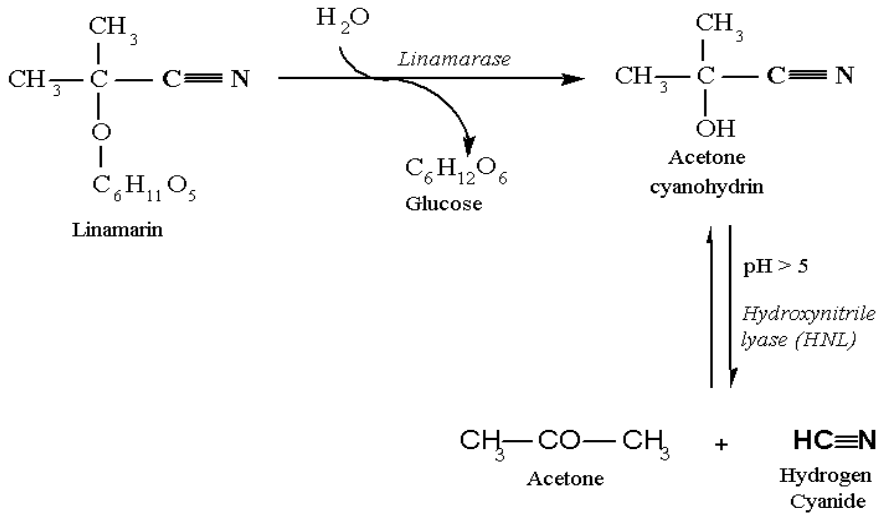
อะไมโลส

อะไมโลเพคติน

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางโมเลกุลของอะไมโลส (ภาพบน) และอะไมโลเพคติน (ภาพล่าง)
ที่มา: Royal Society of Chemistry (2010)

มันสำปะหลังมีการปนเปื้อนของสารพิษเชื้อราเช่น สารพิษอะฟลาทอกซิน สารพิษซีลาลีโนน น้อยมากหรือไม่มีเลย เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดที่มีโอกาสปนเปื้อนของสารพิษเชื้อรามากกว่า สัตว์ที่กินอาหารปนเปื้อนสารพิษเชื้อรา จะกินอาหารน้อยลง การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตน้อยลง สมรรถภาพการสืบพันธุ์ลดลง รวมทั้งมีผลทำให้การสร้างภูมิต้านทานโรคของสัตว์ลดลงด้วย (อุทัย คันโธ, 2546)

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีสารพิษไซยาไนด์ หรือไซยาโนจีนิค ไกลโคไซด์ (cyanogenic glycosides) ที่สร้างขึ้นจากกรดอะมิโน 2 ตัว คือ แวลีน (valine) และไอโซลิวซีน (isoleucine) การสังเคราะห์จากแวลีนจะได้เป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ของแอซิโตนไซยาโนไฮดริน (acetone cyanohydrin) เรียกว่า ลินามาริน (linamarin) ถ้าสังเคราะห์จากไอโซลิวซีนจะได้โลทอสตราลิน (lotaustralin) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) โดยมีอัตราส่วนของลินามาริน ประมาณ 93% และโลทอสสตราลินประมาณ 7% ซึ่งเมื่อมีการสับหัวมันหรือการให้ความร้อน เช่น การผึ่งแดดจะเป็นการเร่งปฏิกิริยาการสลาย (hydrolysis) ลินามาริน ด้วยเอนไซม์ลินามาเลส (linamalase) ได้กรดไฮโดรไซยานิค (hydrocyanic acid) กลูโคส (glucose) และอะซีโตน (acetone) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ส่วนโลทอสตราลิน จะถูกย่อยสลายได้กรดไฮโดรไซยานิค (hydrocyanic acid) กลูโคส (glucose) และบิวทาโนน (butanone) ซึ่งกรดไฮโดรไซยานิคจะระเหยไปในอากาศ ทำให้ระดับกรดไฮโดรไซยานิคในชิ้นมันสำปะหลังลดลงจนอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตราย (เสกสม อาตมางกูร และคณะ, 2550)



ภาพที่ 2.3 การย่อยลินามารินด้วยเอนไซม์ลินามาเรสได้กรดไฮโดรไซยานิค

ที่มา: Cooke, 1978

จากการศึกษาการลดไซยาไนด์ในเศษเหลือจากมันสำปะหลังโดยใช้จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบแห้ง พบว่าการใช้จุลินทรีย์ *M. strictus, R. miehei* และ *Saccharomyces cerevisiae* ในการหมักเศษเหลือจากมันสำปะหลังสามารถลดระดับของไซยาไนด์ได้ (Iyayi and Losel, 2000) และจากการศึกษาการใช้ *L. delbruckii, L. coryneformis* ร่วมกับ *S. cerevisae* หมักมันสำปะหลัง แล้วนำน้ำหมักที่ได้ไปหมักเปลือกมันสำปะหลังอีกครั้ง พบว่าสามารถลดระดับของไซยาไนด์ที่มีในเปลือกมันสำปะหลังได้ โดยจะมีไซยาไนด์ที่ระดับ 6.2-23.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกมันสำปะหลังที่ไม่ได้หมักซึ่งมีไซยาไนด์ที่ระดับ 44.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Oboh, 2006) และจากการศึกษาระดับไซยาไนด์ในกากมันสำปะหลังแห้งก่อนนำไปใช้ในสูตรอาหารสัตว์ พบว่าปริมาณไซยาไนด์เท่ากับ 16.6 ppm ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยในการนำไปใช้ในสูตรอาหารสัตว์ (ยุวเรศ เรืองพานิช และคณะ, 2550)

นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังกับวัตถุดิบอาหารชนิดอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.7 จากผลการศึกษาพบว่ากากมันสำปะหลังมีเปอร์เซนต์โปรตีน และไขมัน มีค่าต่ำกว่าข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว แต่พบว่าวัตถุแห้งนั้นมีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว ส่วนเถ้าสูงกว่าข้าวโพด แต่มีค่าต่ำกว่ากากถั่วเหลือง และ รำข้าว เปอร์เซนต์เยื่อใย ADF และ ADL มีค่าสูงกว่าข้าวโพด และกากถั่วเหลือง แต่มีค่าต่ำกว่ารำข้าว และมี NDF สูงกว่าข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ

เปอร์เซนต์	**วัตถุดิบ**			
วัตถุแห้ง	**กากมันสำปะหลัง**	**ข้าวโพด**	**กากถั่วเหลือง**	**รำข้าว**
วัตถุแห้ง	92.6 $\pm$ 0.06	92.5 $\pm$ 0.15	92.1 $\pm$ 0.18	93.0 $\pm$ 0.10
โปรตีน	2.6 $\pm$ 0.06	8.8 $\pm$ 0.09	48.5 $\pm$ 0.03	12.1 $\pm$ 0.04
ไขมัน	0.2 $\pm$ 0.04	4.7 $\pm$ 0.04	0.9 $\pm$ 0.03	19.2 $\pm$ 0.02
เถ้า	3.8 $\pm$ 0.01	2.5 $\pm$ 0.01	6.6 $\pm$ 0.08	13.9 $\pm$ 0.05
เยื่อใย	6.6 $\pm$ 0.04	2.7 $\pm$ 0.02	5.9 $\pm$ 0.08	14.6 $\pm$ 0.09
NDF	37.6 $\pm$ 0.18	9.7 $\pm$ 0.04	15.3 $\pm$ 0.12	30.7 $\pm$ 0.03
ADF	9.8 $\pm$ 0.12	3.5 $\pm$ 0.04	9.1 $\pm$ 0.20	21.7 $\pm$ 0.05
ADL	3.9 $\pm$ 0.04	1.3 $\pm$ 0.01	1.3 $\pm$ 0.06	9.6 $\pm$ 0.19

ที่มา: ปิตุนาถ หนูเสน (2547)

2.4 ผลการใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์

กากมันสำปะหลังที่เป็นเศษเหลือจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังยังมีคุณค่าทางโภชนะเหลืออยู่ โดยเฉพาะปริมาณแป้งซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ จึงมีการศึกษาการนำกากมันสำปะหลังไปใช้ในสูตรอาหารสัตว์ดังนี้

2.4.1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อ

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ แสดงในตารางที่ 2.8 สามารถสรุปได้ว่าสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อจะลดลงเมื่อใช้กากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารที่ระดับสูง ซึ่งสามารถใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ที่ระดับ 5-10% โดยไม่ส่งผลให้สมรรถนะการเจริญเติบโตลดลง (ปรีดา คำศรี และคณะ, 2552; ยุวเรศ เรืองพานิช และคณะ, 2550; Khempaka et al., 2009) ทั้งนี้เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง หากนำไปใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อในระดับสูง เยื่อใยจะเป็นตัวดูดน้ำระหว่างที่อยู่ในทางเดินอาหาร ทำให้อาหารมีความถ่วงจำเพาะสูง อาหารจึงเคลื่อนที่เร็วขึ้น เอนไซม์ในทางเดินอาหารจึงทำงานได้ไม่เต็มที่ ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง (อุทัย คันโธ, 2529) เมื่อพิจารณารูปแบบของอาหาร ได้แก่ อาหารผง และอาหารอัดเม็ด มีผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ โดยไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดจะมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และปริมาณอาหารที่กินสูงกว่าการใช้อาหารผง (ปรีดา คำศรี และคณะ, 2552) เนื่องจากการอัดเม็ดอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบจะช่วยลดความเป็นฝุ่น เพิ่มความน่ากินของอาหาร และป้องกันการแยกตัวของส่วนประกอบอาหาร ทำให้สัตว์เลือกกินไม่ได้ สัตว์จึงได้รับโภชนะที่สมดุลในอาหารแต่ละเม็ดที่สัตว์กิน (สาโรช ค้าเจริญ, 2547) ส่วนการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 15% ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่ แต่จะส่งผลให้คะแนนสีไข่แดงลดลง เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารที่ไม่มีสารให้สี (สุเมธ ไตรพฤกษชาติ, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และสุกัญญา รัตนทับทิมทอง, 2552) ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ จึงควรมีการพิจารณาเสริมสารสีเพื่อให้ได้ผลผลิตตรงตามความต้องการของตลาด

ตารางที่ 2.8 ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในอาหารไก่เนื้อ

Treatment	BW (g)	BWG (g)	FI (g/bird)	FCR	References
Control	2,422[a]	-	4,566	2.03	Khempaka et
4% Cassava pulp	2,411[a]	-	4,705	2.11	al. (2009)
8% Cassava pulp	2,347[a]	-	4,785	2.23	
12% Cassava pulp	2,149[b]	-	3,949	1.99	
16% Cassava pulp	2,051[b]	-	3,753	1.99	
0 % Cassava pulp	-	2,756	4,801	1.75	ยุวเรศ และ
5 % Cassava pulp	-	2,697	4,743	1.76	คณะ (2550)
10 % Cassava pulp	-	2,679	4,740	1.77	
0% Cassava pulp (mash)	-	2,421	4,079	1.68	ปรีดา และ
5% Cassava pulp (mash)	-	2,546	4,469	1.76	คณะ (2552)
10% Cassava pulp (mash)	-	2,503	4,390	1.75	
0% Cassava pulp (pellet)	-	3,017	5,262	1.74	
5% Cassava pulp (pellet)	-	2,980	5,218	1.75	
10% Cassava pulp (pellet)	-	2,867	5,075	1.76	
Main effect means					
Level of cassava					
0% Cassava pulp	-	2,762[a]	4,756	1.72	
5% Cassava pulp	-	2,763[a]	4,843	1.76	
10% Cassava pulp	-	2,687[b]	4,732	1.76	
Feed form					
Mash		2,497[b]	4,338[b]	1.74	
Pellet		2,949[a]	5,176[a]	1.76	

หมายเหตุ: [a, b] ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.4.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกร

ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิตของสุกร แสดงในตารางที่ 2.9 พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกรอนุบาลได้ถึงระดับ 15% (วริยา โกสุม, ยุวเรศ เรืองพานิช, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง และเสกสม อาตมางกูร, 2552) และสามารถใช้กากมันสำปะหลังในสุกรเล็ก - ขุนได้ถึงระดับ 30% (นารีรัตน์ เจริญวัฒนสกุล, ยุวเรศ เรืองพานิช, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง และ เสกสม อาตมางกูร, 2552; สุกัญญา ทิมทอง, 2546) โดยไม่ส่งผลให้สมรรถนะการผลิตลดลง

ตารางที่ 2.9 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิตในอาหารสุกร

Treatment	FI (g/d)	ADG (g/d)	FCR	Initial weight (kg)	Reference
0% Cassava pulp	685	376	1.83	7	วริยา และ
5% Cassava pulp	663	360	1.84	7	คณะ (2552)
10% Cassava pulp	659	361	1.83	7	
15% Cassava pulp	654	354	1.86	7	
0% Cassava pulp	2,657	720	3.69	26.2	นารีรัตน์ และ
10% Cassava pulp	2,585	710	3.64	26.7	คณะ (2552)
20% Cassava pulp	2,561	685	3.72	26.7	
30% Cassava pulp	2,461	680	3.70	26.2	
0% Cassava pulp	2,050	790	2.60	26.7	สุกัญญา
10% Cassava pulp	2,050	770	2.65	28.4	(2546)
20% Cassava pulp	1,930	740	2.61	28.6	
30% Cassava pulp	1,970	750	2.62	28.2	

2.4.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารโคนม

จากการศึกษาของ Suksombat, Lounglawan and Noosen (2006) ได้ศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังแห้งในการเลี้ยงโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียนที่ระดับ 35, 40 และ 45% ในสูตรอาหารข้น พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง ปริมาณการกินได้โปรตีน ปริมาณน้ำนม

และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ไม่มีความแตกต่างกัน จึงสรุปว่าการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารข้นสามารถใช้ได้ในระดับที่สูงสุดที่ 45% โดยไม่มีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตโคนม

จากข้อมูลเบื้องต้นจะเห็นว่ากากมันสำปะหลังที่เป็นเศษเหลือจากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณผลผลิตที่สูง มีองค์ประกอบทางโภชนะที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์ได้ กากมันสำปะหลังจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการประกอบอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามในการใช้กากมันสำปะหลังยังมีข้อจำกัดในส่วนของโปรตีนที่มีปริมาณต่ำและมีเยื่อใยในปริมาณสูง เมื่อนำมาใช้ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์จึงใช้ได้ในระดับต่ำ การศึกษาหาวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

จากการรวบรวมเอกสารงานวิจัย พบว่ามีการศึกษาการเสริมเอนไซม์ช่วยย่อยเยื่อใยในกากมันสำปะหลังโดยการหมักของเชื้อรา ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มเอนไซม์ช่วยย่อยกลูโคอะไมเลส (glucoamylase) ในกากมันสำปะหลัง เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ พบว่าเชื้อรา *Mucor* TG-KM1 ผลิตเอนไซม์กลูโคอะไมเลสได้สูงถึง 818.10 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเลี้ยงบนอาหารกากมันสำปะหลังผสมกากถั่วเหลืองในอัตราส่วน 1:1 แต่เมื่อมีการทดลองปรับสภาวะแวดล้อมในการเลี้ยงโดยทำการเลี้ยงเชื้อรา *Mucor* TG-KM1 ในกากมันสำปะหลังผสมกากถั่วเหลืองในอัตราส่วน 1:1 ที่ผันแปรความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 50, 60 และ 70 ผันแปร pH ที่ระดับ 5.0, 6.0 และ 7.0 และบ่มที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35°C พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์กลูโคอะไมเลสสูงสุดถึง 1,896 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง จากการเลี้ยงในอาหารที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 50 pH เริ่มต้น 6.0 และบ่มที่อุณหภูมิ 30°C (สืบสกุล พึ่งตนเอง, อาภรณ์ วงษ์วิจารณ์ และศิววรรณ พูลพันธุ์, 2550) และการศึกษาการใช้เอนไซม์เพคติเนสจากเชื้อรา *Rhizopus* sp. 26R ร่วมกับเชื้อรา *R. oligosporus* ที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้ในการหมักกากมันสำปะหลัง เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในกากมันสำปะหลัง จากการทดลองพบว่าการใช้เอนไซม์ย่อยกากมันสำปะหลังพร้อมกับการหมักด้วยเชื้อรา *R. oligosporus* จะมีปริมาณโปรตีนสูงสุดถึง 23.41% (กรกช ฮามสุโพธิ์, ทรงศักดิ์ วัฒนชัยสรีกุล และเพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, 2545)

นอกจากนี้มีการศึกษาการเสริม NSP-degrading enzymes ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ พบว่าการเสริมเอนไซม์ที่ช่วยย่อย NSP ลงในสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบมีผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของไก่เนื้อดีขึ้น และเมื่อพิจารณาด้านระดับกากมันสำปะหลังที่ใช้ในสูตรอาหาร พบว่าที่ระดับ 5% ในสูตรอาหาร ไม่มีผลต่อสมรรถนะการผลิตของไก่เนื้อ แต่การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10% ในสูตรอาหาร มีผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อลดลง (ธิดาพร สุดยิ่ง, อรประพันธ์ ส่งเสริม, เสกสม อาตมางกูร และยุวเรศ เรืองพานิช, 2552)

อย่างไรก็ตามเนื่องจากกากมันสำปะหลังมีจุดด้อยคือ มีโปรตีนต่ำ และมีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบสูง การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสัตว์จึงใช้ได้ในระดับต่ำ และเมื่อมีการนำเอนไซม์มาใช้ผสมในสูตรอาหาร เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับอาหารสัตว์ พบว่ายังไม่สามารถเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสัตว์ได้ จึงมีการศึกษาถึงการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังเพื่อที่จะสามารถใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสัตว์ได้ในระดับที่สูงขึ้นโดยไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมีการศึกษาถึงการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์

2.5 กระบวนการหมักเพื่อเพิ่มโปรตีนในวัตถุดิบอาหาร

การหมักในทางชีวเคมีหมายถึง การสร้างพลังงานจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์เนื่องจากเอนไซม์ กระบวนการหมักสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ การหมักที่ให้ผลผลิตเป็นตัวเซลล์ (microbial cell or biomass) การหมักที่ให้ผลผลิตเป็นเอนไซม์ (microbial enzyme) การหมักที่ให้ผลผลิตเป็นสารเมทาบอไลท์ (microbial metabolite) และการหมักเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบ (transformation process) ซึ่งการหมักกากมันสำปะหลังในครั้งนี้จะเป็นการหมักที่ให้ผลผลิตเป็นตัวเซลล์ โดยการเพิ่มจำนวนเซลล์จุลินทรีย์บนกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์

การหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์สามารถแบ่งตามลักษณะหรือปริมาณน้ำในอาหารเลี้ยงเชื้อได้เป็น 2 ชนิด คือ การหมักแบบเหลว (submerged fermentation) เป็นการหมักที่ทำโดยการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหารที่มีลักษณะเหลว เช่น การหมักแอลกอฮอล์ และการหมักแบบแห้ง (solid state fermentation) เป็นการหมักที่มีการเติมน้ำเล็กน้อย เพียงเพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ที่ต้องการเท่านั้น เช่น การหมักกรดซิตริกโดยใช้เชื้อรา (สมใจ ศิริโภค, 2547)

การหมักแบบเหลว เป็นระบบการหมักวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักละลายอยู่ในน้ำหมัก ดังนั้นส่วนประกอบหลักของอาหารเลี้ยงเชื้อจึงเป็นของเหลว วัตถุดิบที่ใช้ในการหมักแบบเหลวส่วนใหญ่เป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น น้ำตาล แป้ง เป็นต้น กระบวนการหมักในอาหารเหลวนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้เนื้อที่ในการผลิตน้อยทำให้สามารถเก็บผลผลิตได้เร็ว สามารถควบคุมปัจจัยในการหมักได้ง่าย

การหมักแบบแห้ง เป็นระบบการหมักด้วยจุลินทรีย์บนวัตถุดิบที่มีลักษณะอาหารแห้ง อย่างไรก็ตามน้ำที่อยู่ในกระบวนการหมักจะอยู่ในรูปของความชื้น ที่มีอยู่ในวัตถุดิบในกระบวนการหมักแบบแห้งนี้ปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ในกระบวนการ

หมัก จึงค่อนข้างต่ำ และข้อดีของกระบวนการหมักแบบแห้งคือ มีขั้นตอนการหมักที่ไม่ซับซ้อน ไม่สิ้นเปลืองพื้นที่ในการหมัก ค่าใช้จ่ายในการลงทุนน้อย นอกจากนี้วัตถุดิบหมักที่ใช้จะมีความชื้นต่ำ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการได้ และโปรตีนที่เพิ่มขึ้นจากการหมักได้จากการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์หรือเรียกว่าโปรตีนเซลล์เดียว (single cell protein) กระบวนการหมักเพื่อเพิ่มโปรตีนในวัตถุดิบอาหารส่วนใหญ่เป็นการหมักแบบแห้ง ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการหมักแบบแห้งส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งหาง่าย และราคาถูก เช่น ซังข้าวโพด กากมันสำปะหลัง รำข้าว (Gillbert et al., 2007) จากการศึกษาถึงศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าของเศษเหลือที่มีส่วนประกอบของแป้ง และเยื่อใยจากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง พบว่าการใช้จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบแห้งสามารถเพิ่มมูลค่าของเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งได้ (Pandey et al., 2000)

จากการศึกษาการเปรียบเทียบการหมักแบบแข็ง และการหมักแบบเหลวโดยใช้เชื้อรา *Aspergillus oryzae* ในการหมัก และใช้เศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรเช่น รำข้าวสาลี แกลบข้าว รำข้าว กากธัญพืช กากมะพร้าว กากปาล์ม กากงา กากเม็ดขนุน และกากมะกอก เป็นสารตั้งต้นในการหมัก พบว่า ในการหมักแบบแข็งโดยใช้ข้าวสาลีเป็นสารตั้งต้นที่ความชื้น 43.6% ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของเชื้อ 1 มิลลิลิตร (8×10^8 spores/ml) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง มีการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสสูงถึง 31.2 Unit/gds และที่การหมักแบบเหลว โดยใช้ข้าวสาลีเป็นสารตั้งต้นมีการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสเพียง 8.7 Unit/gds (Sandhya, Sumantha, Szakacs, and Pandey, 2005)

2.6 จุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมัก

การเลือกใช้จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักนั้นจะต้องเป็นจุลินทรีย์ที่มีการเจริญเติบโตเร็ว มีความเหมาะสมกับสารตั้งต้นที่เป็นเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรได้ สามารถให้ปริมาณจุลินทรีย์โปรตีนสูง และไม่ก่อให้เกิดสารพิษ โดยทั่วไปจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในกระบวนการหมักได้แก่ จุลินทรีย์ในกลุ่ม ยีสต์ รา และแบคทีเรีย

ตารางที่ 2.10 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์

เชื้อจุลินทรีย์	อาหาร	ที่มา
เชื้อยีสต์		
S. cerevisiae	มันสำปะหลัง	สินชัย และคณะ (2530) ; รณชัย และอุทัย (2530); จรัญ และจรูญ (2530); พัชรา (2550); Oboh and Akindahunsi (2003); Oboh and Elusiyan (2007)
	แป้งมันสำปะหลัง	Oboh and Akindahunsi (2005)
	กากข้าวฟ่าง	Abu et al. (2005)
Schwanniomyces alluvius	มันสำปะหลัง	ทวีศักดิ์ และคณะ (2543)
	น้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง	ประภัสสร (2543)
Schwanniomyces occidentalis TISTR 5555	แป้งมันสำปะหลัง	พรเทพ และคณะ (2541); คณิต และคณะ (2537)
	กากมันสำปะหลัง	อนันตภัทร และคณะ (2548)
Schwanniomyces occidentalis TISTR 5346	แป้งมันสำปะหลัง	คณิต และคณะ (2537)
Schwanniomyces castellii	มันสำปะหลัง	ทวีศักดิ์ และคณะ (2544)
Candida utilis	น้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง	ประภัสสร (2543); นันทกร และคณะ (2543)
Candida sp.	มันสำปะหลัง	จรัญ และจรูญ (2530)
Candida tropicalis	มันสำปะหลัง,ข้าวโพด	Azoulay et al. (1980)
เชื้อรา		
Aspergillus niger	มันสำปะหลัง	รณชัย และอุทัย (2530); จรัญ และจรูญ (2530); สินชัย และคณะ (2530) ; Oboh et al. (2002)
	เปลือกมันสำปะหลัง	Aderemi and Nworgu (2007); Obadina et al. (2006); Adamafio et al. (2010)

ตารางที่ 2.10 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ (ต่อ)

เชื้อจุลินทรีย์	อาหาร	ที่มา
เชื้อรา		
Aspergillus niger	กากข้าวฟ่าง	Abu et al. (2005)
Amylomyces rouxii	มันสำปะหลัง	กัลยานี และคณะ (2551)
Aspergillus flavus	เปลือกมันสำปะหลัง	Obadina et al. (2006); Adamafio et al. (2010)
Aspergillus fumigatus	เปลือกมันสำปะหลัง	Obadina et al. (2006); Reade and Gregory (1975)
Aspergillus oryzae	เศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตร	Chutmanop et al. (2008); Zambare (2010); Sivaramakrishnan et al. (2007)
	กากเบียร์	Francis et al. (2002)
Mucor sp. W252	มันสำปะหลัง	จรัญ และจรูญ (2530)
Mucor sp.	มันสำปะหลัง	สินชัย และคณะ (2530)
Rhizopus oligosporus	กากมันสำปะหลัง	กรกช และคณะ (2545); เสริมศักดิ์ และเพ็ญจิตร (2545); Belewu and Babalola (2009)
Rhizopus oryzae	แป้งมันสำปะหลัง	Oboh and Elusiyan (2007)
Rhizopus stolonifer	เศษเหลือจากอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง	Pothiraj et al. (2006)
Trichoderma viride (ATCC 36316)	เปลือกมันสำปะหลัง	Ezekiel et al. (2010)
เชื้อแบคทีเรีย		
Lactobacillus casei	มันสำปะหลัง	อุทัย และคณะ (2532)
Lactobacillus spp.	เปลือกมันสำปะหลัง	Oboh (2006); Adamafio et al. (2010)

โดยจุลินทรีย์ที่จะนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae*, *C. utilis* และเชื้อรา *A. oryzae*

2.6.1 เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*

ยีสต์ตระกูล *Saccharomyces* เป็นยีสต์ที่รู้จักกันมานานในอุตสาหกรรมการผลิตแอลกอฮอล์ ขนมปัง และใช้เป็นอาหารสัตว์ (สาโรช ค้าเจริญ, 2547) มีการศึกษาการนำมันเส้นมาหมักด้วยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* เพื่อใช้เป็นอาหารไก่เนื้อ โดยมีการเติมเอนไซม์อะไมเลสในอัตราส่วน เอนไซม์ต่อมันเส้นแห้งเท่ากับ 0.25:100 และใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ 0.50 กิโลกรัมต่อมันเส้นแห้ง 100 กิโลกรัม หลังจากนั้นเติมเชื้อ *S. cerevisiae* ในปริมาณ 10 ลิตรต่อมันเส้นแห้ง 100 กิโลกรัม ทำการหมักเป็นเวลา 2 วัน พบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังหมักได้ถึง 11.71% (พัชรา บุพิ, 2550)

2.6.2 เชื้อยีสต์ *Candida utilis*

ยีสต์ *C. utilis* เป็นยีสต์ที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวมากที่สุด เนื่องจากมีการเจริญเติบโตเร็ว เลี้ยงง่าย และให้โปรตีนสูง รวมถึงสามารถใช้น้ำตาล และอาหารได้หลายชนิด มีการศึกษาการหมักมันสำปะหลังโดยใช้ลูกแป้งของเชื้อผสมระหว่างเชื้อรา *Chlamydomucor* SUT1 และเชื้อยีสต์ *C. utilis* พบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังได้ถึง 15.3% และมีอะมิโนไนโตรเจน 11% เมื่อมีการปรับปริมาณยูเรียที่ใช้ให้เหมาะสมในการเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ 1% หลังการหมักเป็นเวลา 6 วัน (นันทกร บุญเกิด และคณะ, 2543) นอกจากนี้มีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง เพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมแล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ พบว่าการใช้เชื้อ *Endomycopis fibuligera* TISTR 5097 และ *C. utilis* TISTR 5046 ในอัตราส่วน 1:4 (ปริมาตรต่อปริมาตร) โดยทำการเลี้ยงเชื้อ *E. fibuligera* TISTR 5097 เป็นเวลา 18 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมเชื้อ *C. utilis* TISTR 5046 และใช้น้ำแช่ข้าวโพดที่ความเข้มข้น 1.3% (ปริมาตรต่อปริมาตร) เป็นแหล่งไนโตรเจน จะให้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด 4.88 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณโปรตีนภายในเซลล์ 0.63 กรัมโปรตีนต่อน้ำหนักแห้ง (ดวงใจ โอชัยกุล และพรรณวิภา แพงศรี, 2549)

2.6.3 เชื้อรา *Aspergillus oryzae*

เชื้อรา *A. oryzae* เป็นเชื้อราที่ใช้หมักทำหัวเชื้อในการผลิตซีอิ้ว เต้าเจี้ยว และเป็นอาหารหมักพื้นบ้านของชาวเอเชียตะวันออก (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545) *A. oryzae* ยังเป็นเชื้อราที่

ถูกนำมาใช้ในการผลิตเอนไซม์ และสารเมทาโบไลท์ต่างๆเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเป็นเชื้อราที่มีความปลอดภัย มีการทดลองการผลิตไวน์ข้าวจากเชื้อรา *A. oryzae* โดยทำการเลี้ยงบนเมล็ดข้าวสุกหรือ เรียกว่าโคจิ (koji) พบว่าเชื้อรา *A. oryzae* สามารถผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยแป้งให้แป้งน้ำตาลได้ และการหมักที่อุณหภูมิต่ำจะได้ไวน์ข้าวที่มีคุณภาพดีกว่าการหมักที่อุณหภูมิสูง (สุนันทา วงศ์ปิยชน, ละม้ายมาศ ยังสุข และพูลศรี สว่างจิต, 2550) นอกจากนี้เชื้อรา *A. oryzae* เป็นเชื้อราที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร และมีการศึกษาการหมักถั่วเหลืองป่นโดยใช้เชื้อ *A. oryzae* ในการหมัก พบว่าสามารถทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 43.54% เป็น 49.41% (Lui, Feng, Xu, Lu and Liu, 2007) และจากการศึกษาของ Zamora and Veum (1979) ในการหมักเมล็ดถั่วเหลืองด้วยเชื้อ *A. oryzae* และเชื้อ *R. oligosporus* พบว่าจากการหมักด้วยเชื้อ *A. oryzae* สามารถทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 18.5% เป็น 21.6% และการหมักด้วยเชื้อ *R. oligosporus* สามารถทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 18.5% เป็น 18.7%

2.7 เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้ง

เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบของแป้งในปริมาณสูง ซึ่งสามารถใช้เป็นสาร ตั้งต้นในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ โดยจุลินทรีย์จะมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยแป้ง และนำผลผลิตที่ได้จากการย่อยแป้งไปใช้ในการเพิ่มจำนวนเซลล์ โดยในกระบวนการหมักกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับสัตว์ จะใช้เอนไซม์จากเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยแป้งจากกากมันสำปะหลัง เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้งมีหลายชนิด โดยสามารถแบ่งเอนไซม์ตามลักษณะการทำงานได้ 3 กลุ่มคือ เอนไซม์ย่อยภายใน เอนไซม์ย่อยภายนอก และเอนไซม์ย่อยพันธะกิ่ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.7.1 เอนไซม์ย่อยภายใน (endo-enzyme) เป็นเอนไซม์ที่ทำงานในโมเลกุลของแป้งโดยจะตัดพันธะ α-1, 4 glucosidic ระหว่างโมเลกุลกลูโคสภายในส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน เอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่

2.7.1.1 แอลฟาอะไมเลส (α-amylase) โดยเอนไซม์นี้จะตัดพันธะ α-1, 4 ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่จับอยู่เท่านั้น ไม่สามารถตัดพันธะ α-1, 6 ได้ ลักษณะการทำงานเป็นการสุ่มตัดภายใน เอนไซม์มีมวลโมเลกุลประมาณ 50 กิโลดาลตัน การทำงานของเอนไซม์ต้องการแคลเซียม (Ca^{++}) ร่วมทำกิจกรรม เอนไซม์มีความเสถียรที่ pH 5.5-9 และที่อุณหภูมิห้องถึง 115°C สามารถผลิตได้จากพืช สัตว์ เชื้อรา และแบคทีเรีย

2.7.2 เอนไซม์ย่อยภายนอก (exo-enzyme) เป็นเอนไซม์ที่ตัดพันธะที่จับกันของกลูโคสทั้งพันธะ α-1, 4 glucosidic และพันธะ α-1, 6 glucosidic เอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่

2.7.2.1 กลูโคอะไมเลส (glucoamylase) เป็นเอนไซม์ที่ตัดพันธะที่จับกันของน้ำตาลกลูโคส ทั้งพันธะ α-1, 4 และพันธะกิ่ง α-1, 6 โดยที่การตัดพันธะกิ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าพันธะ α-1, 4 ในการย่อยแป้งให้ได้โมเลกุลของกลูโคสจะต้องใช้กลูโคอะไมเลสร่วมกับแอลฟาอะไมเลส เอนไซม์นี้มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50-110 กิโลดาลตัน มีความเสถียรที่ pH 3.5-5 และที่อุณหภูมิ $\pm$55°C กลูโคอะไมเลสพบในจุลินทรีย์เช่น *A. niger, A. oryzae* และ *Rhizopus* spp.

2.7.2.2 เอนไซม์เบต้าอะไมเลส (β-amylase) เป็นเอนไซม์ที่ทำงานภายนอกโมเลกุลของแป้ง จะตัดจากนอกเข้ามาใน โดยเริ่มจากปลายของอะไมโลสหรืออะไมโลเพคติน เอนไซม์จะตัดพันธะ α-1, 4 ของโมเลกุลกลูโคสเป็นคู่ๆ ไป ผลที่ได้จะได้เป็นน้ำตาลมอลโตส แต่เมื่อปฏิกิริยาเข้าใกล้พันธะ α-1, 6 ของอะไมโลเพคติน เอนไซม์จะหยุดกิจกรรม ทำให้เหลือโมเลกุลใหญ่ๆไว้มาก เอนไซม์เบต้าอะไมเลสต้องการแคลเซียม (Ca^{++}) ในการทำกิจกรรม เบต้าอะไมเลสพบได้ในพืชชั้นสูง เมล็ดธัญพืช เช่น ข้างบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี และพบได้ในถั่วหรือมันฝรั่ง นอกจากนี้ยังสามารถสกัดเอนไซม์เบต้าอะไมเลสได้จากจุลินทรีย์ เช่น *Bacilli* และ *Pseudomonas* เอนไซม์จากพืชมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 125-150 กิโลดาลตัน เอนไซม์ที่ได้จากจุลินทรีย์มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50 กิโลดาลตัน มีความเสถียรที่ pH 4-9 และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60°C

2.7.3 เอนไซม์ย่อยพันธะกิ่ง (debranching enzyme) เป็นเอนไซม์ที่ตัดพันธะ α-1, 6 กลูโคซิดิก เอนไซม์ในกลุ่มนี้ ได้แก่

2.7.3.1 เอนไซม์ไอโซอะไมเลส (isoamylase) เป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยจุดที่เป็นกิ่งก้านของไกลโคเจน และอะไมโลเพคตินได้ สามารถดำเนินกิจกรรมได้ดีในช่วง pH 3-4 และมีความเสถียรที่อุณหภูมิ 45-55°C เอนไซม์ชนิดนี้สามารถแยกได้จาก พืช สัตว์ และจุลินทรีย์

2.7.3.2 เอนไซม์พูลูลาเนส (pullulanase) เป็นเอนไซม์ที่ใช้ตัดพันธะ α-1, 6 ของพูลูแลนอะไมโลเพคติน แต่การทำกิจกรรมไม่สมบูรณ์เท่ากับย่อยโดยไอโซอะไมเลส และทำกิจกรรมกับไกลโคเจนได้ยาก สามารถย่อยได้สายกลูโคสที่มีความยาว 2-3 หน่วย ไม่สามารถย่อยจนได้กลูโคส 1 หน่วย เอนไซม์มีความเสถียรที่ pH 4.5-5.5 และที่อุณหภูมิ $\pm$ 50°C

โดยเมื่อจุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายแป้งได้ผลผลิตเป็นกลูโคสซึ่งจะใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และถ้ากากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเพิ่มจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ได้ ก็จะสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังได้

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักด้วยเชื้อยีสต์และรา

ในกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์จะต้องมีอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมเพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้อย่างดี ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงประกอบด้วย สารตั้งต้น ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง แหล่งไนโตรเจน และแร่ธาตุ

1. สารตั้งต้น กระบวนการหมักโดยทั่วไปนิยมใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นสารตั้งต้นที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเตรียมสารตั้งต้นให้เหมาะสมต่อกระบวนการหมักเพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาหาสารตั้งต้นที่มีความเหมาะสมในการหมักของเชื้อ *Trichoderma* sp. ต่อความสามารถในการผลิตเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส และกลูโคอะไมเลส ซึ่งสารตั้งต้นประกอบด้วย มอลโทส (maltose) สารละลายแป้ง แป้งข้าวฟ่าง แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง พบว่าเชื้อ *Trichoderma* sp. มีความเหมาะสมต่อมอลโทสซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นได้ดีที่สุด โดยมีการผลิตเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส และกลูโคอะไมเลสได้สูงสุด (Pacheco Chavez, Carvalho Converti, Perego Tavares and Sato, 2004) และการศึกษาผลของแหล่งคาร์บอนต่อการผลิตเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ด้วยเชื้อ *A. oryzae* พบว่าเชื้อ *A. oryzae* สามารถเจริญเติบโตในมอลโทส และมอลโตเด็กทริน (maltodextrins) ได้ดี (Carlsen and Nielsen, 2001) นอกจากนี้มีการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นสารตั้งต้น จากการทดลองนำมันสำปะหลังในรูปแบบที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ มันเส้น มันสด มันเส้นนึ่ง และมันสดนึ่งมาทำการหมักพบว่า การนึ่งวัตถุดิบก่อนการหมักมีอิทธิพลอย่างมากต่อความสามารถของเชื้อในการผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสารตั้งต้น ซึ่งขั้นตอนการนึ่งสามารถช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นที่มีในมันสำปะหลังลงได้จำนวนหนึ่ง จึงสามารถลดภาวะแข่งขันจากเชื้ออื่นๆในระยะเริ่มต้นการหมักได้ ประโยชน์ที่ได้รับอีกประการหนึ่งก็คือ การนึ่งทำให้โมเลกุลของแป้งมีขนาดสั้นลง ช่วยในการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสให้ทำงานได้รวดเร็วขึ้น (นันทกร บุญเกิด และคณะ, 2543)

2. ความชื้น การศึกษาความชื้นที่เหมาะสมในการหมักมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *A. niger* โดยวิธีการหมักแบบแข็ง (solid state fermentation) ได้ความชื้นเริ่มต้นของการหมักที่เหมาะสมคือ 60% โดยใช้เชื้อเริ่มต้นในการหมักเท่ากับ $1x10^8$ สปอร์ต่อกรัมอาหาร ช่วยให้ระดับโปรตีนเพิ่มขึ้น จากเดิม 2.22% เป็น 11.25% (อุษณีย์ภรณ์ สร้อยเพ็ชร์, เทิดศักดิ์ คำเหม็ง, ฉลอง วชิราภากร และ วิชัย ลีลาวัชรมาศ, 2550) นอกจากนี้การทดลองของ Oboh (2006) พบว่าความชื้นที่เหมาะสมของการหมักเปลือกมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *L. delbruckii, L. coryneformis* ร่วมกับ *S. cerevisiae* ในอัตราส่วน 2:1:1 ใช้ความชื้นเริ่มต้นของการหมักที่เหมาะสมคือ 90-93% ช่วยให้ระดับโปรตีนเพิ่มขึ้นจากเดิม 8.2% เป็น 21.5%

3. ความเป็นกรดด่าง (pH) ซึ่งการควบคุม pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม จะสามารถทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี และให้ผลผลิตสูง การควบคุม pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อสามารถทำได้โดยการเติมสารประกอบบางอย่างลงไปเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ หรือการควบคุม pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อโดยการใช้กรดหรือด่างเติมลงไปภายหลัง นอกจากนี้การใช้แหล่งคาร์บอน และแหล่งไนโตรเจนในอัตราส่วนที่สมดุลกันก็จะช่วยควบคุม pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อได้ (สมใจ ศิริโภค, 2547) จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการหมักมันสำปะหลังที่เหมะสมด้วยเชื้อ *Schawanniomyces occidentalis* พบว่าที่ pH 6.5 ของอาหารเพาะเลี้ยงที่ใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์บอน สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้ 22.3% (อนันตภัทร บุญยะกมล และ วิชัย ลีลาวัชรมาศ, 2548) และจากการศึกษา pH ที่ใช้ในการหมักมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *Chlamydomucor* และ *C. utilis* พบว่าที่ pH 5-6 ในระหว่างกระบวนการหมักเป็น pH ที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น 19.45% (นันทกร บุญเกิด และคณะ, 2543)

4. แหล่งไนโตรเจน การศึกษาหาแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้สารหลายชนิดเป็นแหล่งไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีน ดังนั้นในการเลือกใช้แหล่งไนโตรเจนจะขึ้นอยู่กับความสามารถของเชื้อว่าสามารถใช้สารประกอบชนิดไหนได้ดี อีกทั้งการเลือกใช้แหล่งไนโตรเจนมีข้อจำกัดเรื่องต้นทุน จึงควรเลือกใช้แหล่งไนโตรเจนที่มีราคาถูกและเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งแหล่งไนโตรเจนที่นิยมใช้ในกระบวนการหมักอาจมาจากผลผลิตทางการเกษตร เช่น เปลือกสับปะรด และถั่วลิสง ซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักมันสำปะหลัง จากการศึกษาการคัดเลือกชนิดของแหล่งไนโตรเจนที่ใช้ในอาหารเพาะเลี้ยง คือ bacto-peptone, แอมโมเนียมซัลเฟต [$(NH_4)_2 SO_4$], แอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) ที่ระดับความเข้มข้น 0.5% (w/v) พบว่าการเลือกใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหารเพาะเลี้ยงสามารถเพิ่มโปรตีนได้ และลดต้นทุนของการผลิตได้เมื่อเทียบกับแหล่งไนโตรเจนอื่น (อนันตภัทร บุญยะกมล และ วิชัย ลีลาวัชรมาศ, 2548) จากการรายงานของ Pacheco et al. (2004) ที่ศึกษาหาแหล่งไนโตรเจนที่มีความเหมาะสมในการผลิตเอนไซม์ย่อยสารละลายแป้งโดยเชื้อ *Trichoderma sp.* ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด พบว่าการใช้น้ำแช่ข้าวโพด (corn steep liquor) เป็นแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับเชื้อ *Trichoderma sp.* ในการผลิตเอนไซม์ย่อยแป้ง นอกจากนี้มีการทดลอง ใช้ยูเรียเป็นแหล่งอาหารไนโตรเจนโดยทดลองใช้ยูเรียที่ระดับความเข้มข้นต่างๆคือ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25% ตามลำดับพบว่าการใช้ยูเรียที่ระดับความเข้มข้น 1% สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้สูงขึ้นจากตั้งต้น 11.37% ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีโปรตีนสูงถึง 19.45% (นันทกร บุญเกิด และคณะ, 2543) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการเพิ่ม และการผลิตอาหารโปรตีน

สูงจากมันสำปะหลังโดยกระบวนการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ ที่ศึกษาการนำเชื้อยีสต์ที่สามารถแยกได้จากชิ้นมันสำปะหลังดิบมาทดสอบเพื่อหาแหล่งไนโตรเจนที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลิตโปรตีนได้สูงสุด โดยทำการหมักบนมันสำปะหลังแห้งที่มีการแปรผันแหล่งไนโตรเจน คือ แอมโมเนียมซัลเฟต 0.5, 1.0% และยูเรีย 0.5, 1.0% พบว่าเชื้อยีสต์สามารถเจริญเติบโตบนชิ้นมันสำปะหลังแห้งที่มียูเรีย 1% ที่อุณหภูมิ 30°C และระยะเวลาการบ่ม 72 ชั่วโมง สามารถผลิตโปรตีนได้สูงสุดเท่ากับ 280.5 ไมโครกรัมต่อลิตร และการเติมแร่ธาตุก็มีความสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งตามปกติแร่ธาตุที่เติมลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อได้แก่ Mg, P, K, S, Ca และ Cl

นอกจากนี้การหมักในระดับใหญ่ขึ้น ควรมีการพิจารณาถึงสภาวะของระบบการหมักที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิด ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงประกอบด้วย

1) เชื้อเริ่มต้น (starter หรือ inoculum) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมหมัก มีความสำคัญมากเพราะจะมีผลต่อกระบวนการหมักทั้งหมด รวมทั้งระยะเวลาในการหมัก และต้นทุนการผลิตด้วย โดยทั่วไปจุลินทรีย์ที่จะใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นในการหมักควรมีสมบัติดังต่อไปนี้คือ (สมใจ ศิริโภค, 2547)

1. อยู่ในสภาพที่แข็งแรง และว่องไว (active)
2. มีปริมาณมากพอที่จะใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นสำหรับถังหมักขนาดใหญ่ได้ตามต้องการ
3. มีรูปแบบโครงสร้าง (morphological form) ที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก
4. ปราศจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ไม่ต้องการ
5. คงความสามารถในการสร้างผลผลิตที่ต้องการได้

จากการศึกษาประสิทธิภาพของลูกแป้ง *Chamydomucor* SUT1 ต่อกระบวนการย่อยแป้งมันสำปะหลัง (saccharification) พบว่าลูกแป้ง *Chamydomucor* SUT1 ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้เชื้อบริสุทธิ์ ซึ่งสามารถอธิบายเหตุผลได้ 2 ประการคือ ประการแรกเมื่อเติมหัวเชื้อเริ่มต้น (inoculum) ในรูปลูกแป้ง ซึ่งแป้งจะเป็นเหมือนตัวนำ (carrier) ที่จะช่วยป้องกันเชื้อจากสิ่งแวดล้อม ทำให้เชื้อสามารถปรับตัวอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นผลดีต่อการเจริญในระยะแรกที่แตกต่างจากเชื้อบริสุทธิ์ที่อาจได้รับบาดเจ็บ และตายเป็นจำนวนมากในระยะปรับตัว (lag phase) และอีกประการคือ การที่เชื้ออยู่ในรูปลูกแป้งเชื้อจะอยู่ในสภาพที่มีอาหารจำกัด เมื่อพบแหล่งอาหารที่อุดมสมบูรณ์ก็มีการปรับตัวเจริญอย่างรวดเร็ว (นันทกร บุญเกิด และคณะ, 2543)

2) ออกซิเจน การให้ออกซิเจนโดยการกวนสามารถทำให้เชื้อจุลินทรีย์ และสารอาหารภายในถังหมักกระจายตัวอย่างสม่ำเสอ อีกทั้งยังเป็นการคายความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก การกวนในถังหมักแต่ละชนิดขึ้นกับลักษณะเฉพาะของกระบวนการหมัก ในกระบวนการหมักที่ใช้ของเหลวความหนืดต่ำ และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยจะสามารถใช้ระบบการให้อากาศเป็น

ฟองเล็กๆได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องกวน แต่ในกระบวนการหมักแบบแห้งที่มีความชื้นของวัสดุหมักต่ำจะมีความหนืดสูง จึงจำเป็นต้องใช้การกวน จากการศึกษาผลของอัตราการให้อากาศที่มีต่อการหมักเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* บนมันสำปะหลังในถังแพคเบด พบว่าการหมักในถังแพคเบคขนาด 5 ลิตร ที่อัตราการให้อากาศ 2.4 ลิตรต่อนาที สามารถควบคุมอุณหภูมิ ให้อยู่ในช่วงเหมาะสมคือ 30-37°C และให้ค่าปริมาณกลูโคซามีนซึ่งแสดงถึงการเจริญเติบโตของเชื้อที่สูงถึง 25.2 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักมันสำปะหลังแห้ง (เชิดพงษ์ ธนารักษ์, สุจารี แก้วกัน, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, ทรงศักดิ์ วัฒนชัยเสรีกุล และปิยะมาศ สิริแสงสว่าง, 2546) และจากการศึกษาผลของอัตราการให้อากาศที่มีต่อปริมาณกลูโคซามีนในมันสำปะหลังหมัก พบว่าในสภาวะการให้อากาศชื้นเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าการให้อากาศแห้ง และไม่ให้อากาศ โดยที่อัตราเร็วของอากาศชื้น 1 ลิตรต่อนาที สามารถรักษาระดับอุณหภูมิ และความชื้นภายในถังหมัก และทำให้เชื้อรามีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยจะให้ค่าปริมาณกลูโคซามีนซึ่งแสดงถึงการเจริญเติบโตของเชื้อสูงสุด 19.78 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อหมักเป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง (เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ และคณะ, 2546) เนื่องจากในระบบการหมักแบบแห้งที่มีปริมาณการผลิตจำนวนมากจะมีความร้อนเกิดขึ้นจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้ต้องมีการระบายความร้อนออกจากระบบ และการให้อากาศชื้นจะมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ดีกว่าการให้อากาศแห้ง และการไม่ให้อากาศ

2.9 ผลของการเพิ่มโปรตีนจากการหมักมันสำปะหลังด้วยยีสต์และรา

การหมักมันสำปะหลังด้วยยีสต์และราต่อการเพิ่มโปรตีน พบว่าทุกการทดลองในการหมักมันสำปะหลังสามารถเพิ่มโปรตีนได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์โปรตีนที่ใส่ในกระบวนการหมักกากมันสำปะหลัง (Belewu and Babalola, 2009) จากการศึกษาการใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* ในการหมักมันสำปะหลังพบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนได้ตั้งแต่ 4.4 ถึง 10.9% น้ำหนักแห้ง การใช้ราในกลุ่ม *A. niger* สามารถเพิ่มโปรตีนได้ตั้งแต่ 4.4 ถึง 12.2% น้ำหนักแห้ง และการใช้รา *R. oryzae* สามารถเพิ่มโปรตีนได้ ตั้งแต่ 4.7 ถึง 8.8% น้ำหนักแห้ง (Oboh and Akindahunsi, 2003; Oboh et al., 2002; Oboh and Elusiyan, 2007) เช่นเดียวกับการทดลองของ Oboh (2006) ซึ่งเป็นการใช้ *L. delbruckii, L. coryneformis* ร่วมกับ *S. cerevisae* หมักมันสำปะหลัง แล้วนำน้ำหมักที่ได้ไปหมักเปลือกมันสำปะหลังอีกครั้ง พบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนในเปลือกมันสำปะหลังได้ตั้งแต่ 8.2 ถึง 21.5% น้ำหนักแห้ง (ดังแสดงในตารางที่ 2.11) และการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันพบว่าทุกการทดลองมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากในกระบวนการหมักมันสำปะหลังจุลินทรีย์มีการใช้คาร์บอนจากแป้งมันสำปะหลังในการเปลี่ยนเป็นไขมัน จึงทำให้มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น และผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรต และเยื่อใยพบว่าการใช้ *S. cerevisiae*, *A. niger* และ

R. oryzae ในการหมักมันสำปะหลังทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และเยื่อใยลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งคาร์บอนในการสร้างพลังงาน และการเพิ่มจำนวนเซลล์ ส่วนการเพิ่มขึ้นของเถ้าในการหมักมันสำปะหลังอาจเนื่องมาจากการตกค้างของสารอนินทรีย์จากการใส่สารละลายที่เป็นสารอาหารของเชื้อจุลินทรีย์จึงมีผลทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.11 ผลของการเพิ่มโปรตีนจากการหมักมันสำปะหลังด้วยยีสต์และรา

Sample	Nutrient (%DM)					References
	Protein	Fat	Crude fiber	Carbohydrate	Ash	
Control	4.4[c]	3.6	3.8	85.7[a]	2.1	Oboh and
S. cerevisiae	10.9[a]	4.5	3.2	77.9[b]	3.5	Akindahunsi
						(2003)
Control	4.4	2.6	3.8	-	2.1	Oboh et al.
A. niger	12.2	5.7	3.0	-	4.5	(2002)
Control	4.7[c]	1.1[b]	2.7[a]	90.6[a]	0.9[b]	Oboh and
R. oryzae	8.8[b]	4.5[a]	1.6[b]	76.0[b]	2.9[a]	Elusiyan
S. cerevisiae	9.6[a]	5.0[a]	1.8[b]	74.5[b]	3.0[a]	(2007)
Control	8.2[c]	3.1[a]	12.5[a]	64.6[a]	6.4[b]	Oboh (2006)
[A]Naturally	11.1[b]	3.5[a]	6.5[b]	67.3[a]	6.0[b]	
[B]Inoculated	21.5[a]	2.1[b]	11.7[a]	51.1[b]	7.2[a]	

หมายเหตุ: [a, b,c] ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

[A] = เป็นการหมักที่ไม่ใส่เชื้อ [B] = เชื้อที่ใช้ในการหมัก คือ *Lactobacillus delbruckii, Lactobacillus coryneformis* and *S. cerevisiae* ในอัตราส่วน 2:1:1

2.10 ผลของการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสัตว์

2.10.1 ผลของการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสัตว์ปีก

กากมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะนำไปตากแห้งและใช้ผสมในสูตรอาหารสัตว์ เช่น โคสุกร และปลา จากการรวบรวมเอกสารพบว่าการใช้มันสำปะหลังหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสัตว์ปีก แสดงในตารางที่ 4 พบว่าสามารถใช้มันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อได้สูงสุดที่ระดับ 10% โดยไม่ส่งผลให้น้ำหนักตัวสุดท้าย น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตและการกินได้ลดลง (กัลยานี วุฒิศรี และคณะ, 2551; อุษณีย์ภรณ์ สร้อยเพ็ชร และคณะ, 2550; พัชรา บุพิ , 2550) และสามารถเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารในเป็ดเนื้อได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณเยื่อใยสูง ดังนั้นเมื่อเพิ่มระดับการใช้มันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารสัตว์ จึงทำให้เยื่อใยในอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งเยื่อใยอาจส่งผลให้การใช้ประโยชน์ทางโภชนะต่างๆในอาหารลดลง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.12 ผลการใช้มันสำปะหลังหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสัตว์

Treatment	Growth performance					
	Final weight (g/b)	BWG (g/b)	Growth rat (g/b/d)	FI (g/b)	FCR	References
control	2,242[a]	2,291[a]	109.12[a]	3,857[a]	1.70[b]	[1/]กัลยานี และคณะ (2551)
5 % fermented cassava meal	2,076[ab]	2,023.5[ab]	96.37[b]	3,813[a]	1.88[a]	
10 % fermented cassava meal	2,126[a]	2,081[a]	99.11[ab]	3,863[a]	1.86[a]	
15 % fermented cassava meal	1,912[b]	1,937.5[b]	92.35[b]	3,687[ab]	1.90[a]	
20 % fermented cassava meal	1,914[b]	1,868.7[b]	89.02[b]	3,542[b]	1.90[a]	
[A]NC+Enz	3,066.5[c]	-	53.81[c]	-	2.26[a]	[2/]อุษณีย์ภรณ์ และคณะ (2550)
10 % fermented cassava meal	3,337.8[a]	-	58.79[a]	-	2.07[c]	
20 % fermented cassava meal	3,164.5[b]	-	55.56[b]	-	2.19[b]	
30 % fermented cassava meal	3,067.8[c]	-	53.84[c]	-	2.27[a]	
[B]PC	3,214.5[b]	-	56.46[b]	-	2.16[b]	
control	-	1,659[a]	-	3,414[a]	2.06[c]	[3/]พัชรา (2550)
15 % fermented cassava meal	-	1,459[b]	-	3,242[b]	2.19[bc]	
30 % fermented cassava meal	-	1,431[b]	-	3,199[b]	2.23[b]	
45 % fermented cassava meal	-	1,367[b]	-	3,063[bc]	2.23[b]	
60 % fermented cassava meal	-	1,158[c]	-	2,887[c]	2.49[a]	

หมายเหตุ: [a, b,c] ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

[1/] = ศึกษาผลของการใช้มันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Amylomyces rouxii* เสริมในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ

[2/] = ศึกษาการใช้มันสำปะหลังหมักแบบกึ่งแห้งด้วยเชื้อรา *Aspergillus niger* เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในสูตรอาหารเป็ดเนื้อ

[3/] = ศึกษาการใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงในอาหารไก่เนื้อ

[A] = Negative control (NC) สูตรอาหารควบคุมปกติและเสริมเอนไซม์ไฟเตส 500 CFU/kg

[B] = Positive control (PC) สูตรอาหารควบคุมปกติ

2.10.2 ผลของการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกร

จากการศึกษาการใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงในอาหารสุกรหย่านม และสุกรระยะรุ่น-ขุน พบว่าสุกรมีการย่อยได้วัตถุแห้ง พลังงานย่อยได้ และการย่อยได้ของโปรตีนค่อนข้างต่ำ (อุทัย คันโธ, ชินะทัตร์ นาคะสิงห์, นาม ศิริเสถียร และกฤษณ์ มงคลปัญญา, 2532; อโณชา เลาศรีรัตนชัย และอุทัย คันโธ, 2530) และการศึกษาการใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงทดแทนปลายข้าวในอาหารลูกสุกร พบว่าสามารถใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงในสูตรอาหารได้ถึงระดับ 50% หรือทดแทนปลายข้าวได้ 100% แต่ต้นทุนการผลิตจะสูงเพราะการใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องเพิ่มระดับไขมันในอาหารให้สูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงไม่ควรใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงเกิน 30% จึงจะทำให้สมรรถนะการผลิตสูง และคุ้มทุน (สินชัย พารักษา, กรองแก้ว บริสุทธิ์สวัสดิ์ และมาลิน เสสกุล, 2530) ซึ่งต่อมามีการทดลองของ สินชัย พารักษา และนวลจันทร์ แซ่โอ้ว (2530) ที่ศึกษาการใช้มันสำปะหลังหมักเพิ่มโปรตีนจาก เชื้อรา และยีสต์เพื่อทดแทนปลายข้าวในอาหารสุกรรุ่น-ขุน พบว่าสุกรสามารถใช้มันสำปะหลังหมักในระดับ 40% ของสูตรอาหาร โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร แต่ในสุกรขุนสามารถใช้มันสำปะหลังหมักได้ถึง 60% นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้มันสำปะหลังหมักมีผลทำให้สุกรมีความหนาของไขมันสันหลังเมื่อสิ้นสุดการทดลองต่ำกว่าการใช้ปลายข้าว ทั้งนี้อาจเกิดจากการใช้มันสำปะหลังหมักเพิ่มโปรตีนในสูตรอาหารทำให้สุกรสามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนเต็มที่ จึงเหลือเก็บสะสมเป็นไขมันสันหลังน้อยกว่ากลุ่มควบคุม

2.10.3 ผลของการหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของโคนม

จากการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารทดแทนแหล่งพลังงานที่มีผลต่อการย่อยได้ของสูตรอาหาร และเยื่อใยในสูตรอาหารรวมในระบบ *in vitro* ในโคนมพบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักทดแทนแหล่งมันสำปะหลังได้ในระดับ 54% ในสูตรอาหาร ซึ่งจะทำให้การย่อยได้ของสูตรอาหาร และการย่อยได้ของเยื่อใยมีค่าสูงที่สุดในระบบ *in vitro* ในโคนม (ปัทมา ไวยบุญญา และวิโรจน์ ภัทรจินดา, 2551)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง คือการทดลองที่ 1 ศึกษาหาวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ การทดลองที่ 2 ศึกษาการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะจากกากมันสำปะหลังที่ได้จากการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะโดยวิธีการหมักในอาหารไก่เนื้อ และการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ

3.1 การทดลองที่1 :ศึกษาหาวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์

เป็นการศึกษาการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อจุลินทรีย์ (ยีสต์ และรา) 3 ชนิด คือ เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เชื้อยีสต์ *Candida utilis* และเชื้อรา *Aspergillus oryzae* ร่วมกับการใช้แหล่งไนโตรเจน (ยูเรีย) ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ระดับ คือ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25% โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกวันเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นจะทำการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่พบว่าให้ผลต่อการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะดีที่สุดมาใช้หมักกากมันสำปะหลัง เพื่อนำไปเลี้ยงไก่เนื้อต่อไป

3.1.1 การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักกากมันสำปะหลังครั้งนี้คือ เชื้อรา *A. oryzae* (3019) ซึ่งได้จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยทำการ strek เชื้อบนจานอาหาร Potato-Dextrose-Agar (PDA) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 3 วัน และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อนำไปใช้ในการหมัก ส่วนเชื้อยีสต์ *C. utilis* (5046) ซึ่งได้จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* (EC118) ที่ได้จากห้องปฏิบัติการอาหาร อาคารเครื่องมือ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทำการ spread plate ลงบนอาหาร Yeast-Malt-Agar (YMA) โดยนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 1 วัน และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์มีการล้างเซลล์โดยนำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ให้เซลล์ตกตะกอนที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 15 นาที ภายหลังการปั่นเหวี่ยงเทอาหารทิ้ง จากนั้นเติมสารละลายน้ำเกลือ 0.85% แล้วนำไปปั่นเหวี่ยง

ที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 15 นาที ภายหลังการปั่นเหวี่ยงเทส่วนของน้ำเกลือที่แยกชั้นจากเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ทิ้ง ทำซ้ำอีกครั้ง เพื่อให้แยกเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งจะได้ตะกอนของเชื้อจุลินทรีย์ จากนั้นละลายตะกอนของเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสารละลายน้ำเกลือ 0.85% ก่อนการเพาะเลี้ยงเชื้อ ทำการนับจำนวนเซลล์จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองโดยใช้ฮีมาไซโตมิเตอร์ (heamacytometer) และปรับจำนวนเซลล์ให้มีความเข้มข้น $1x10^8$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อ

3.1.2 วิธีการหมัก

นำกากมันสำปะหลังสดจำนวน 50 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติมยูเรียซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ระดับ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25% ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ แล้วจึงเติมสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ *S. cerevisiae, C. utilis* และ *A. oryzae* ($1x10^8$เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ที่ระดับ 1% ของสารตั้งต้น (กากมันสำปะหลังคิดเป็นน้ำหนักเปียก) หลังจากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 7 วัน และทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุกวัน หลังการหมักนำกากมันสำปะหลังที่ได้ไปอบในตู้อบ (oven dry) ที่อุณหภูมิ 55°C เมื่อแห้งนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี

3.1.3 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ทางเคมี

1. นำกากมันสำปะหลังหมักที่ได้มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ตามวิธีการของ (AOAC, 1990)

2. วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธีการ Dinitrosalicylic acid (DNS) micro method (Miller, 1959)

3. วิเคราะห์หาแอมโมเนียคัลไนโตรเจน (Ammoniacal Nitrogen) (TISO, 1983)

4. ทดสอบยูเรียโดยการวิเคราะห์ดัดแปลงจากวิธีการของ เยาวมาลย์ (2523)

3.1.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

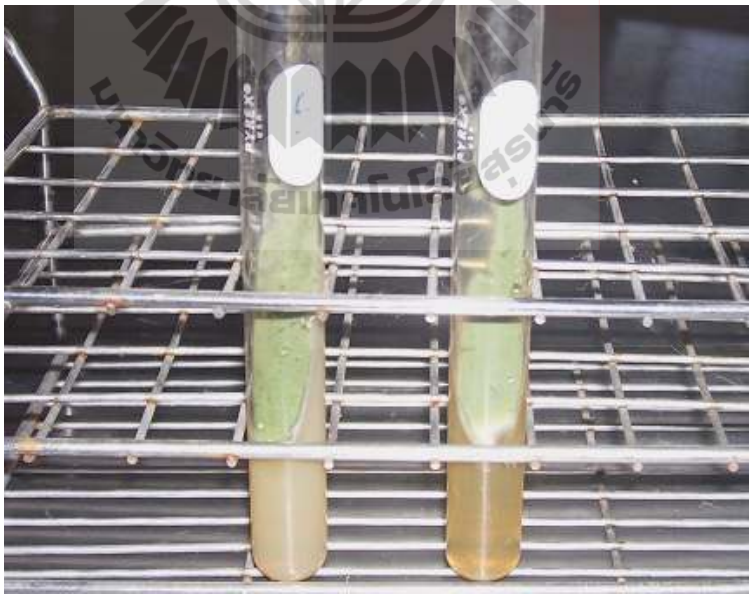
วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ CRD โดยมีการจัดทรีทเมนต์แบบ 3x6 Factorial in Completely Randomized Design with Repeated Measurements ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยของเชื้อจุลินทรีย์ 3 ระดับคือ เชื้อ *S. cerevisiae*, *C. utilis* และ *A. oryzae* และปัจจัยของยูเรีย 6 ระดับคือ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25% วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SAS (1996)

3.2 การทดลองที่2 :ศึกษาการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะจากกากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อ

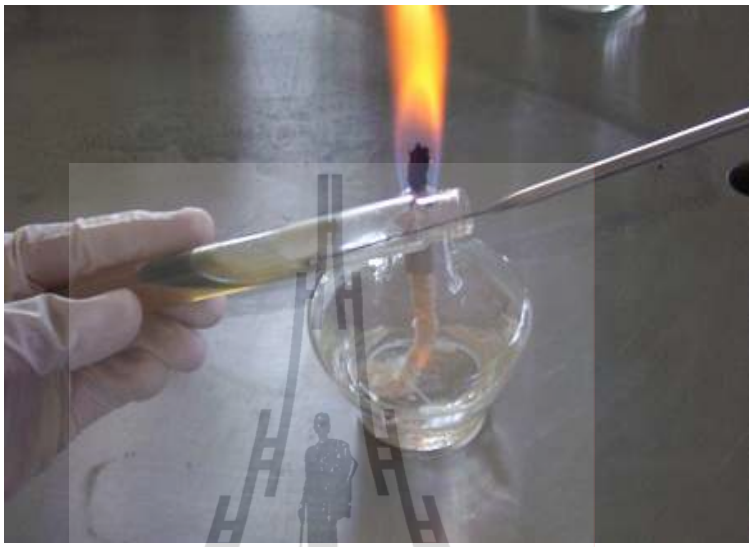
เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ โดยการทดลองนี้ได้ทำการคัดเลือกสภาวะการหมักที่พบว่าให้ผลในการเพิ่มโปรตีนดีที่สุดมาใช้ในการหมักกากมันสำปะหลังเพื่อใช้ประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อ โดยพบว่าการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. oryzae* โดยใช้ยูเรียที่ระดับ 0.75% หลังการหมักเป็นเวลา 4 วัน เป็นสภาวะเหมาะสมที่สุด

3.2.1 การเตรียมสารละลายสปอร์เชื้อรา *A. oryzae*

ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *A. oryzae* บนอาหาร Potato-Dextrose-Agar (PDA) ในหลอดเลี้ยงเชื้อ บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 30˚C เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นเติมสารละลายน้ำเกลือ 0.85% ที่นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121˚C เป็นเวลา 15 นาทีปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใช้เข็มเขี่ยเพื่อลอกเอาเชื้อสปอร์ของรา *A. oryzae* ออกจากอาหาร PDA เพื่อใช้ในการเตรียมหัวเชื้อรา *A. oryzae* ต่อไป



ภาพที่ 3.1 แสดงการเจริญของเชื้อรา *A. oryzae*



ภาพที่ 3.2 แสดงการเตรียมสารละลายสปอร์เชื้อรา *A. oryzae*

3.2.2 การเตรียมหัวเชื้อรา *A. oryzae*

นำข้าวสารปริมาณ 1,000 กรัมแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121˚C นาน 15 นาที ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในถาด จากนั้นนำสารละลายเชื้อรา *A. oryzae* ที่เตรียมไว้เจือจางกับน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อมาแล้วที่อุณหภูมิ 121˚C นาน 15 นาที ปริมาณ 100 มิลลิลิตร คลุกให้ทั่วบนข้าวสารที่ผ่านการนึ่งแล้ว กระจายให้เต็มถาด ปิดด้วยกระดาษฟอยด์ และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30˚C เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55˚C เป็นเวลา 2 วัน นำไปบดละเอียดให้มีขนาดเล็กประมาณ 1.0 มิลลิเมตร ตรวจนับสปอร์ของเชื้อด้วยวิธีการนับจำนวนโคโลนี จะได้จำนวนหัวเชื้อรา *A. oryzae* ที่ใช้ในการหมักกากมันสำปะหลัง

ภาพที่ 3.3 ข้าวสารที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที

ภาพที่ 3.4 ข้าวสารที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อ *A. oryzae* เป็นเวลา 4 วัน

3.2.3 การเตรียมกากมันสำปะหลัง

นำกากมันสำปะหลังจำนวน 50 กิโลกรัมแบ่งใส่ในถุงพลาสติก นำไปนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในถังหมักที่ทำจากพลาสติกมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 58 x107 เซนติเมตร จากนั้นเติมหัวเชื้อรา *A. oryzae* ลงไป 1% และเติมยูเรีย 0.75% ของกากมันสำปะหลังสด คลุกเคล้าให้เข้ากัน บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วันทำการกลับกากมันสำปะหลังวันละครั้งทุกวันเป็นเวลา 4 วัน เมื่อครบเวลานำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำไปบดละเอียดให้มีขนาดเล็กประมาณ 1.0 มิลลิเมตร ก่อนนำกากมันสำปะหลังหมักไปใช้ในการประกอบสูตรอาหารทดลอง ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของกากมันสำปะหลังหมัก เช่น ความชื้น เถ้า ไขมัน เยื่อใย แคลเซียม และฟอสฟอรัส ตามวิธีการของ AOAC (1990) และวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนตามวิธี AOAC (1995) โดยองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังหมักได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

วัดพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy) ตามวิธีการของ Sibbald (1976) เพื่อนำค่าที่ได้ไปประกอบสูตรอาหารไก่เนื้อ โดยมีวิธีการดังนี้ คือ ใช้ไก่เนื้อโตเต็มวัยเพศผู้น้ำหนักประมาณ 2.2 กิโลกรัม ทั้งหมด 12 ตัว นำมาเลี้ยงบนกรงขังเดี่ยวที่มีถาดรองรับมูลใต้กรง ให้ไก่อดอาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (แต่ไม่อดน้ำ) เมื่อครบกำหนดเวลาการอดอาหาร แบ่งไก่ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกให้อดอาหารต่อจนเสร็จสิ้นการทดลอง (24 ชั่วโมง) ส่วนกลุ่มที่สองทำการป้อน (force feeding) กากมันสำปะหลังจำนวน 20 กรัม หลังจาก 24 ชั่วโมง ทำการเก็บ และบันทึกน้ำหนักมูลของไก่ทุกตัว นำมูลที่ได้ทั้งหมดไปอบให้แห้ง และบด เพื่อนำไปวัดค่าพลังงาน และทำการคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง

3.2.4 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่เนื้อเพศผู้พันธุ์อาร์เบอร์ เอเคอร์ (arbor acres) อายุ 1 วัน น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 36 กรัมต่อตัว เลี้ยงจนถึงอายุ 11 วัน จึงสุ่มไก่จำนวน 49 ตัว ขึ้นกรงทดลองแบบขังเดี่ยวที่ใช้สำหรับทดลองการย่อยได้ (metabolism cage) และทำการเลี้ยงบนกรงจนถึงอายุ 14 วัน เพื่อให้ไก่ได้ปรับตัวให้ชินกับสภาพแวดล้อม เมื่อไก่อายุ 15 วัน ทำการแบ่งไก่ออกเป็น 7 กลุ่ม กลุ่มละ 7 ซ้ำ มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 438 กรัมต่อตัว ไก่ในแต่ละหน่วยการทดลองมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยให้อาหารและน้ำแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ไก่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 วัน เก็บมูลเพื่อวิเคราะห์ในช่วง 6-10 วันหลังจากได้รับอาหารทดลอง

3.2.5 อาหารทดลอง

เป็นการทดสอบการใช้กากมันสำปะหลัง ที่ได้จากการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะในอาหารไก่เนื้อ โดยมีการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ (ใช้กากมันสำปะหลังทดแทนข้าวโพด) คือ 0, 4, 8, 12, 16, 20 และ 24% ในสูตรอาหาร โดยอาหารทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีนและพลังงานเท่ากัน ตามคำแนะนำของ NRC (1994) รายละเอียดสูตรอาหารได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 และองค์ประกอบทางโภชนะในอาหารไก่เนื้อแสดงดังตารางที่ 3.1 อาหารทดลองที่ใช้แบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม ประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 : สูตรควบคุม (control)
กลุ่มที่ 2 : กากมันสำปะหลังหมัก 4%
กลุ่มที่ 3 : กากมันสำปะหลังหมัก 8%
กลุ่มที่ 4 : กากมันสำปะหลังหมัก 12%
กลุ่มที่ 5 : กากมันสำปะหลังหมัก 16%
กลุ่มที่ 6 : กากมันสำปะหลังหมัก 20%
กลุ่มที่ 7 : กากมันสำปะหลังหมัก 24%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังหมัก (as fed basis)

Component	**%**
Dry matter	94.39
Crude protein	11.82
Ether extract	0.15
Crude fiber	10.60
Ash	1.58
Calcium	0.07
Total phosphorus	0.03
Starch	35.54
TME, kcal/kg	2,049
Amino acid (mg/100mg)	
Aspartic acid	0.143
Serine	0.101
Glutamic acid	0.250
Glycine	0.086
Histidine	0.040
Arginine	0.136
Threonine	0.107
Alanine	0.137
Proline	0.092
Valine	0.096
Lysine	0.130
Isoleucine	0.072
Leucine	0.131
Phenylalanine	0.078

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่เนื้อระยะแรก (0-21 วัน) ที่ใช้ในการทดลอง

		Fermented cassava pulp					
Ingredients	**Control**	**4%**	**8%**	**12%**	**16%**	**20%**	**24%**
Corn	54.50	50.50	46.50	42.50	38.50	34.50	30.50
Soybean meal	20.61	20.28	19.94	19.60	19.25	18.90	18.49
Fish meal	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
Full-fat soybean	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50
Cassava pulp	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00
Soybean oil	1.91	2.46	3.01	3.57	4.12	4.66	5.19
Cassava starch	1.25	1.02	0.79	0.56	0.34	0.13	0.00
Salt	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Methionine	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29	0.31	0.32
Lysine	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Calcium carbonate	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Dicalcium phosphate	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Premix	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Calculated composition (%)							
ME, kcal/kg	3104	3104	3104	3104	3104	3104	3104
Met + Cys	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Lysine	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
Calcium	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Available P	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Analyzed composition,(%)							
DM	88.09	88.36	88.50	88.36	89.11	89.20	89.80
CP	23.33	23.03	23.39	23.95	23.82	23.63	23.61
CF	3.68	4.41	4.60	4.82	5.37	5.60	6.46

หมายเหตุ: [1]Premix (0.5%) provided the following per kilogram of diet: vitamin A, 15,000 IU; vitamin D_3, 3,000 IU; vitamin E, 25 IU; vitamin K_3, 5 mg; vitamin B_1, 2 mg; vitamin B_2, 7 mg; vitamin B_6, 4 mg; vitamin B_{12}, 25 µg; pantothenic acid, 11.04 mg; nicotinic acid, 35 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 15 µg; choline chloride, 250 mg; Cu, 1.6 mg; Mn, 60 mg; Zn, 45 mg; Fe, 80 mg; I, 0.4 mg; Se, 0.15 mg.

3.2.6 การเก็บข้อมูล

การศึกษาการย่อยได้ (digestibility)

เก็บมูลทั้งหมดที่ไก่ขับถ่ายออกมาวันละ 1 ครั้ง ในเวลา 10.00 น. ในช่วง 4 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยเก็บมูลในถาดพลาสติกที่รองไว้ใต้กรง โดยรองเพื่อเก็บมูลเป็นเวลา 10 วัน สเปรย์มูลที่เก็บได้ในแต่ละวันด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5% เพื่อป้องกันการสูญเสียไนโตรเจน และนำมูลของไก่แต่ละตัวที่ได้รับในแต่ละวัน ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55°C นำมาบดใส่ถุงพลาสติก และเก็บไว้เพื่อรอการวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป

ลักษณะที่ต้องการศึกษา

เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักที่ระดับต่างๆ ในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้ของโภชนะ มีลักษณะที่ต้องศึกษา ดังนี้

1) การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (dry matter digestibility)

$$= \frac{(\text{น้ำหนักอาหารที่กิน} - \text{น้ำหนักมูล}) \times 100}{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}$$

2) การย่อยได้ของโภชนะ (nutrient digestibility)

$$= \frac{(\text{น้ำหนักอาหาร} \times \%\text{โภชนะในอาหาร}) - (\text{น้ำหนักมูล} \times \%\text{โภชนะในมูล}) \times 100}{(\text{น้ำหนักอาหาร} \times \%\text{โภชนะในอาหาร})}$$

3) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio; PER)

$$= \frac{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่ม}}{\text{ปริมาณโปรตีนที่กิน}}$$

3.2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test และวิเคราะห์หาแนวโน้มของการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับต่างๆ ด้วยวิธี orthogonal polynomials contrast โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SAS (1996)

3.3 การทดลองที่3 :ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ

เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักที่ระดับต่างๆ ในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ

3.3.1 การเตรียมกากมันสำปะหลังหมัก

นำกากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักมาทำให้แห้ง หลังจากนั้นนำไปบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 1.0 มิลลิเมตร และนำกากมันสำปะหลังแห้งที่ได้มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีก่อนนำไปใช้ประกอบสูตรอาหารทดลอง

3.3.2 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่เนื้อเพศผู้พันธุ์อาร์เบอร์ เอเคอร์ (arbor acres) อายุ 1 วัน น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 36 กรัมต่อตัว จำนวน 270 ตัว ทำการแบ่งไก่ออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 15 ตัว สุ่มไก่เนื้อลงในหน่วยทดลองโดยการชั่งน้ำหนักไก่ทุกตัว ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design, CRD โดยมีการให้อาหาร และน้ำแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ทำการเลี้ยงไก่แบบปล่อยบนพื้นคอกปูด้วยแกลบ และกกลูกไก่โดยใช้หลอดไฟเพื่อให้ความอบอุ่น มีการกลับแกลบทุกวันเพื่อป้องกันการเกิดก๊าซแอมโมเนียภายในโรงเรือน ไก่ทดลองจะได้รับวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิล และหลอดลมอักเสบเมื่ออายุ 7 วัน และวัคซีนกัมโบโรเมื่ออายุ 14 วัน

3.3.3 อาหารทดลอง

อาหารทดลองเป็นการใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อ โดยอาหารทดลองแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 : สูตรควบคุม (control)

กลุ่มที่ 2 : กากมันสำปะหลังหมัก 4%

กลุ่มที่ 3 : กากมันสำปะหลังหมัก 8%

กลุ่มที่ 4 : กากมันสำปะหลังหมัก 12%

กลุ่มที่ 5 : กากมันสำปะหลังหมัก 16%

กลุ่มที่ 6 : กากมันสำปะหลังหมัก 20%

อาหารทดลองทุกสูตรคำนวณให้มีระดับโภชนะที่เพียงพอกับความต้องการของไก่เนื้อในแต่ละช่วงอายุ (0 - 21 วัน และ 22 - 42 วัน) ตามคำแนะนำของ NRC (1994) ซึ่งส่วนผสมและองค์ประกอบของโภชนะในอาหารไก่เนื้อ แสดงดังตารางที่ 3.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลอง

Ingredients (%)	Fermented cassava pulp											
	Starter (0 to 21 d)						Finisher (22 to 42 d)					
	Control	4%	8%	12%	16%	20%	Control	4%	8%	12%	16%	20%
Corn	54.50	50.50	46.50	42.50	38.50	34.50	63.50	59.50	55.50	51.50	47.50	43.50
Soybean	20.61	20.28	19.94	19.60	19.25	18.90	15.65	15.33	14.97	14.61	14.22	13.80
Fish meal	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Full-fat soybean	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50
Cassava pulp	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00	20.00	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00	20.00
Soybean oil	1.91	2.46	3.01	3.57	4.12	4.66	1.18	1.74	2.31	2.87	3.43	3.97
Cassava starch	1.25	1.02	0.79	0.56	0.34	0.13	1.25	0.98	0.73	0.51	0.29	0.13
Salt	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23
Methionine	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29	0.31	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23
Lysine	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14
$CaCo_3$	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dicalcium P	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Premix	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Calculated composition (%)												
ME, kcal/kg	3104	3104	3104	3104	3104	3104	3104	3104	3104	3104	3104	3104
Met + Cys	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Lys	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Ca	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
Available P	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Analyzed composition, (%)												
DM	88.09	88.36	88.50	88.36	89.11	89.20	88.37	87.23	88.64	87.95	88.34	88.55
CP	23.33	23.03	23.39	23.95	23.82	23.63	20.28	20.60	20.39	20.18	20.05	20.73
CF	3.68	4.41	4.60	4.82	5.37	5.60	4.46	4.75	4.82	4.93	5.21	6.20

หมายเหตุ: [1]Premix (0.5%) provided the following per kilogram of diet: vitamin A, 15,000 IU; vitamin D_3, 3,000 IU; vitamin E, 25 IU; vitamin K_3, 5 mg; vitamin B_1, 2 mg; vitamin B_2, 7 mg; vitamin B_6, 4 mg; vitamin B_{12}, 25 µg; pantothenic acid, 11.04 mg; nicotinic acid, 35 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 15 µg; choline chloride, 250 mg; Cu, 1.6 mg; Mn, 60 mg; Zn, 45 mg; Fe, 80 mg; I, 0.4 mg; Se, 0.15 mg.

3.3.4 ลักษณะที่ต้องการศึกษา

เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักที่ระดับต่างๆ ในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก มีลักษณะที่ต้องการศึกษาดังนี้

1. การศึกษาสมรรถนะการเจริญเติบโต (growth performance)

ทำการบันทึกน้ำหนักตัวไก่ และปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์ ส่วนอัตราการตายบันทึกทุกครั้งที่มีไก่ตาย

1) น้ำหนักต่อตัว (body weight, BW)

$$= \frac{\text{น้ำหนักตัวไก่ทั้งหมด}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด}}$$

2) ปริมาณอาหารที่กินต่อตัว (feed intake, FI)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ให้} - \text{ปริมาณอาหารที่เหลือ}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด}}$$

3) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio, FCR)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่ม}}$$

2. การศึกษาคุณภาพซาก (carcass quality)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 42) สุ่มไก่ 2 ตัว/ซ้ำ อดอาหารเป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยสุ่มให้มีน้ำหนักตัวใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของไก่ทั้งหมด และฆ่าโดยวิธีเชือดที่เส้นเลือดใหญ่บริเวณคอ (jugular vein) จากนั้นนำซากไก่ไปถอนขนด้วยเครื่องถอนขนแบบอัตโนมัติ แล้วนำมาถอนขนอ่อนด้วยมืออีกครั้ง จากนั้นทำการเปิดซากเอาเครื่องในออก แล้วบันทึกน้ำหนักของเครื่องในได้แก่ หัวใจ (heart) ตับ (liver) น้ำดี (gallbladder) ม้าม (spleen) กระเพาะ (proventriculus) กึ๋น (gizzard)ไขมันเกาะอวัยวะ (visceral fat) ไขมันในช่องท้อง (abdominal fat) ลำไส้ส่วนดูโอดีนัม (duodenum) ลำไส้ส่วนเจจูนัม (jejunum) ลำไส้ส่วนไอเลียม (ileum) และบันทึกความยาวของ ลำไส้

ส่วนดูโอดีนัม ลำไส้ส่วนเจจูนัม และลำไส้ส่วนไอเลียม จากนั้นนำซากไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อรอการประเมินค่าสีของเนื้อ และหนัง และตัดแยกซากออกเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ได้แก่ กล้ามเนื้อส่วนอก (breast) กล้ามเนื้อส่วนสะโพก (thigh) กล้ามเนื้อน่อง (drumstick) กล้ามเนื้อสันใน (fillet) และปีก (wing) บันทึกน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ จากนั้นทำการชำแหละชิ้นส่วนซากโดยแยกเนื้อ และบันทึกน้ำหนักเนื้อได้แก่ เนื้อสะโพก (thigh meat) และเนื้อน่อง (drumstick meat) สำหรับข้อมูลที่ทำการบันทึกจะนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซาก (% eviscerated yield) และเปอร์เซ็นต์เครื่องใน (% giblets yield)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซาก (\% eviscerated yield)} = \frac{(\text{น้ำหนักซาก ไม่รวมเครื่องใน คอ และแข้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}}$$

3. การประเมินค่าสีของเนื้อ และหนัง

นำซากที่ผ่านการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทำการวัดค่าสีของเนื้อไก่ส่วนอก สะโพก หนังอก และหนังสะโพก ทำการวัดด้วยเครื่องวัดสี CR-300 MINOLTA (Minolta Camera Co.,Ltd., Osaka, Japan) แล้วรายงานผลเป็นค่าสี (color profile) ออกเป็นค่า L* (lightness) ค่า a* (redness) ค่า b* (yellowness) ก่อนทำการวัดต้องหุ้มเนื้อ และหนังด้วยพลาสติกใส (film wrap) โดยไม่ให้เกิดรอยย่นของพลาสติก และทำการ calibrate เครื่องวัดสีกับแผ่นเทียบสีก่อนทำการวัดครั้งแรก ตำแหน่งที่ทำการวัดสีเป็นตำแหน่งเดิมทุกครั้ง ทำการวัด 3 ตำแหน่งต่อเนื้อหรือหนังหนึ่งชิ้น

4. การศึกษาค่าทางชีวเคมีของโลหิตในไก่เนื้อ

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 42) ทำการสุ่มไก่ทุกกลุ่มการทดลอง เพื่อเจาะเลือดโดยใช้เข็มฉีดยาเบอร์ 23 เจาะที่เส้นเลือด wing vein จากนั้นเก็บเลือดในหลอดเก็บตัวอย่างเลือดที่ไม่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด และตั้งทิ้งไว้ จากนั้นเก็บตัวอย่างเลือดในกระติกน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 °C และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบ เป็นเวลา 15 นาที จะได้ส่วนของซีรัมแยกออกมาจากเม็ดเลือด และเก็บซีรัมเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางชีวเคมีของโลหิต ทำการตรวจวิเคราะห์โดยใช้เครื่องตรวจวัดอัตโนมัติ Reflotron system รุ่น Reflotron IV (Roch Diagnostics Corporation, Indianapolis., Germany) โดยนำซีรัมปริมาตร 32 ไมโครลิตรมาหยดลงบน Reflotron tests kits

(Roch Diagnostics Corporation, Indianapolis., Germany) แล้วนำเข้าเครื่อง Reflotron system เพื่อทำการตรวจวัดระดับค่าทางชีวเคมีของโลหิตดังนี้

1. เอนไซม์ alanine aminotransferase (ALT) หรือ glutamate pyruvate transminase (GPT) เป็นเอนไซม์ที่มีในเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกาย แต่พบมากในตับ และไต หากสัตว์เกิดอาการอักเสบหรือมีความผิดปกติของเนื้อเยื่อตับจะทำให้เอนไซม์ GPT มีค่าสูง

2. เอนไซม์ aspartate aminotransferase (AST) หรือglutamate oxaloacetate transminase (GOT) เป็นเอนไซม์ที่พบมากในเซลล์ตับ และเซลล์กล้ามเนื้อ ในสภาพที่เนื้อเยื่อถูกทำลายระดับของเอนไซม์ GOT จะสูงกว่าค่าปกติ

3.3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test และวิเคราะห์หาแนวโน้มของการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับต่างๆ ด้วยวิธี orthogonal polynomials contrast โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SAS (1996)

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

1. ห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์สัตว์อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. งานสัตว์ปีก ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.5 ระยะเวลาทำการทดลอง

การทดลองที่ 1 ตั้งแต่ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2552

การทดลองที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2552 ถึงวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2552

การทดลองที่ 3 ตั้งแต่วันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2553 ถึงวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2553

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

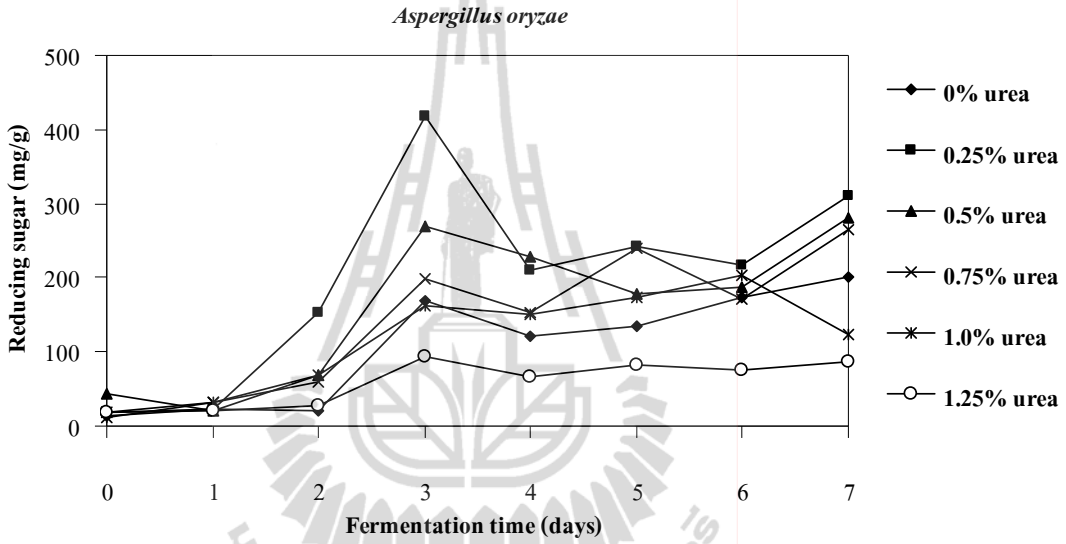
4.1 การทดลองที่ 1: ผลการศึกษาหาวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์

จากการศึกษาผลของการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิด คือ เชื้อ *A. oryzae, S. cerevisiae* และ *C. utilis* ร่วมกับการใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ระดับ คือ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25% โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกวันเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โปรตีน และอะมิโนไนโตรเจน

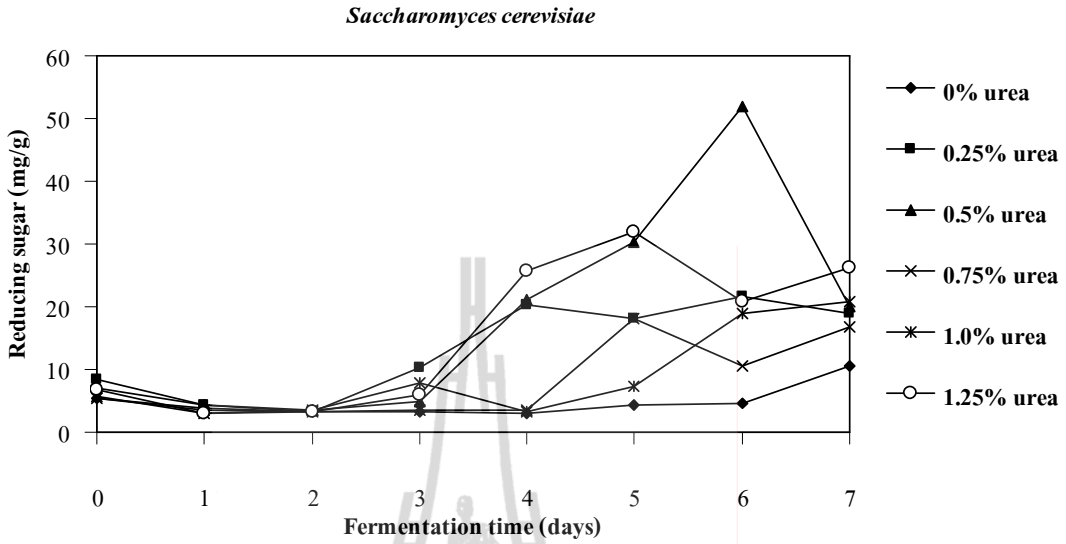
1. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

การวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เป็นการหาปริมาณน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์ที่ผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์เพื่อย่อยแป้งให้ได้เป็นน้ำตาล จากการทดลอง เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเชื้อจุลินทรีย์ ระดับยูเรีย และระยะเวลาในการหมักเกิดขึ้น โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากกระบวนการหมักมีมากกว่า 1 สภาวะที่ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จึงได้นำค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดมาแสดงดังภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 (ส่วนข้อมูลทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก) พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดที่เกิดขึ้น คือ 418 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อหมักด้วยเชื้อ *A. oryzae* ที่ระดับการใช้ยูเรีย 0.25% หลังการหมักเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นปริมาณน้ำตาลจะลดลงเรื่อยๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* และ *C. utilis* มีค่าสูงสุดเพียง 51.92 และ 73.59 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ระดับการใช้ ยูเรีย 0.5 และ 0.25% ตามลำดับ หลังการหมักเป็นเวลา 6 วัน แสดงในภาพที่ 4.2 และ 4.3 ทั้งนี้อาจเป็นผลจากเชื้อ *A. oryzae* มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ได้หลายชนิดได้แก่ เอนไซม์โปรติเอส (protease) แอลฟาอะไมเลส (α-amylase) กลูโคอะไมเลส (glucoamylase) และเซลลูเลส (cellulase) (เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ และคณะ, 2546; Begum, Absar, and Alam, 2009; Francis, Sabu, Nampoothiri, Szakacs, and Pandey, 2002; Zambare, 2010) โดยเอนไซม์ที่ผลิตได้จะสามารถย่อยเยื่อใย (non starch polysaccharide) ที่มีอยู่ในกากมันสำปะหลังได้ (Ronald, 2004) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาการหมักแบบแข็ง (solid state fermentation) ด้วยเชื้อ *A. oryzae* ต่อการผลิตเอนไซม์กลูโคอะไมเลส พบว่าการหมักรำข้าวสาลี ร่วมกับการใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ระดับ

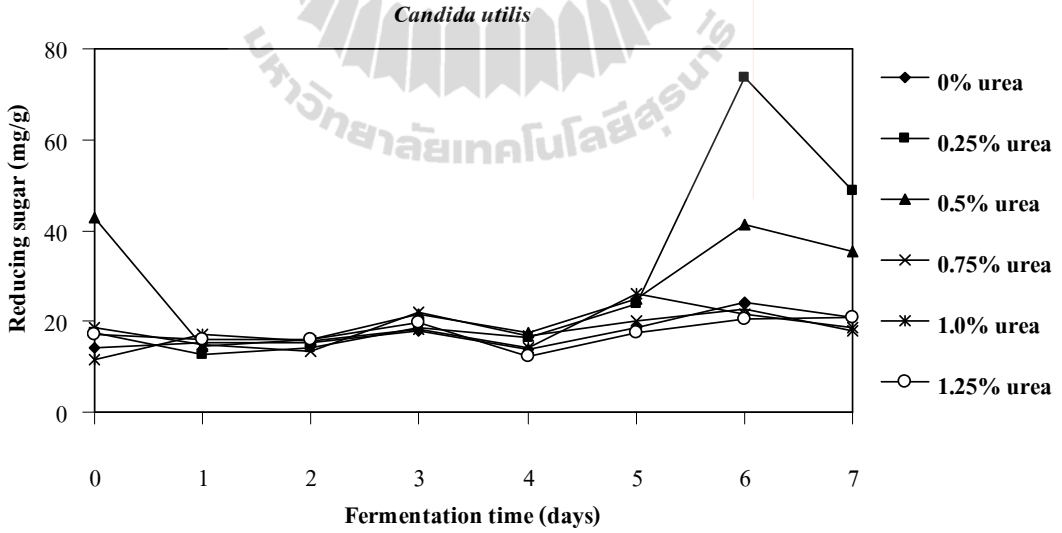
0.25% สามารถผลิตเอนไซม์กลูโคอะไมเลสได้สูงสุด (Zambare, 2010) และการศึกษาการหมักแบบแข็งด้วยเชื้อ *A. oryzae* ต่อการผลิตเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส พบว่าการหมักรำข้าวสาลีสามารถผลิตเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสได้สูงสุดหลังการหมักเป็นเวลา 3 วัน (Sivaramakrishan et al., 2007) ส่วนการหมักกากเบียร์สามารถผลิตเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสได้สูงสุดหลังการหมักเป็นเวลา 4 วัน (Francis et al., 2002)



ภาพที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/กรัม) ในการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. oryzae* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25% หมักเป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/กรัม) ในการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25% หมักเป็นเวลา 7 วัน

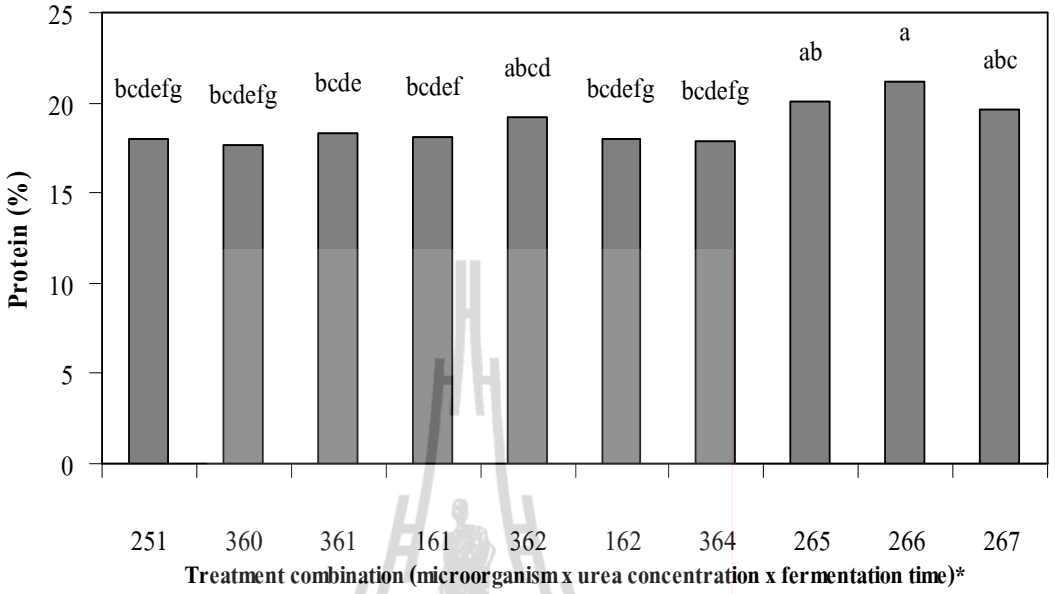


ภาพที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/กรัม) ในการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *C. utilis* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25% หมักเป็นเวลา 7 วัน

2. ปริมาณโปรตีน

จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนพบว่ากากมันสำปะหลังที่ได้รับการหมักด้วยเชื้อ *A. oryzae, S. cerevisiae* และ *C. utilis* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับแตกต่างกัน 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25% เป็นระยะเวลา 7 วัน ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดที่เกิดขึ้นคือ 21.21% เมื่อหมักด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* ที่ระดับการใช้ยูเรีย 1.25% หลังการหมักเป็นเวลา 6 วัน ซึ่งมีค่าสูงกว่าการหมักด้วยเชื้อ *A. oryzae* ที่มีระดับโปรตีนที่เกิดขึ้นสูงสุดคือ 18.11% ที่ระดับการใช้ยูเรีย 1.25% หลังการหมักเป็นเวลา 1 วัน และการหมักด้วยเชื้อ *C. utilis* ที่มีระดับโปรตีนที่เกิดขึ้นสูงสุดคือ 19.18% ที่ระดับการใช้ยูเรีย 1.25% หลังการหมักเป็นเวลา 2 วัน เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างเชื้อจุลินทรีย์ ระดับยูเรีย และระยะเวลาในการหมักเกิดขึ้นโดยมีมากกว่า 1 สภาวะที่ให้ผลไม่แตกต่างกัน จึงได้นำค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้น 10 อันดับค่าแรกมาแสดง ดังภาพที่ 4.4 (ส่วนข้อมูลทั้งหมดได้แสดงไว้ภาคผนวก) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นอาจมาจากปริมาณของยูเรียที่ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน ซึ่งไก่เนื้อไม่สามารถนำยูเรียไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้ จึงมีการทดสอบยูเรียด้วยวิธีการทดสอบเบื้องต้นพบว่า กากมันสำปะหลังหมักไม่มียูเรียตกค้าง นอกจากนี้ควรคำนึงถึงปริมาณยูเรียที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนเซลล์ได้จริง จึงจำเป็นต้องพิจารณาค่าอะมิโนไนโตรเจนซึ่งเป็นตัวที่แสดงถึงการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีกว่าค่าโปรตีน (Read and Gregory, 1975)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



*Microorganism: 1 = *A. oryzae*, 2 = *S. cerevisiae*, 3 = *C. utilis*

Urea concentration: 1 = 0%; 2 = 0.25%; 3 = 0.5%; 4 = 0.75%; 5 = 1.0%; 6 = 1.25%

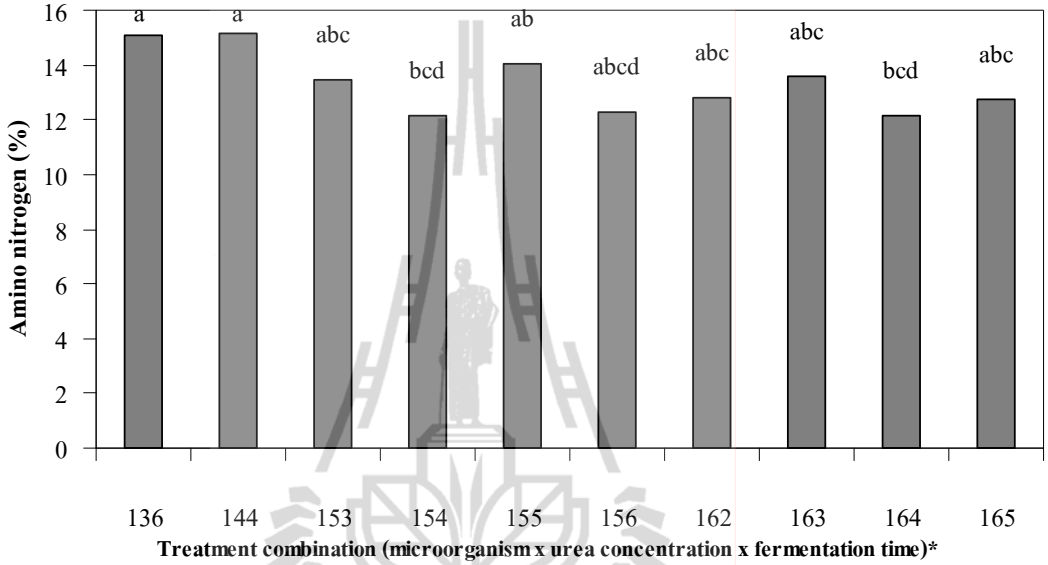
Fermentation time: 0 = day0; 1 = day1; 2 = day2; 3 = day3; 4 = day4; 5 = day5; 6 = day6; 7 = day7

ภาพที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีน (%) ในการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. oryzae, S. cerevisiae* และ *C. utilis* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 และ 1.25% หมักเป็นเวลา 7 วัน

3. ปริมาณอะมิโนไนโตรเจน

จากการทดลองพบว่าค่าอะมิโนไนโตรเจนสูงสุดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักมีมากกว่า 1 สภาวะคือ 15.13% และ 15.10% เมื่อหมักด้วยเชื้อ *A. oryzae* ที่ระดับการใช้ยูเรีย 0.75% และ 0.5% หลังการหมักเป็นเวลา 4 และ 6 วันตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าการหมักด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* ที่มีระดับอะมิโนไนโตรเจนที่เกิดขึ้นสูงสุดคือ 7.58% ที่ระดับการใช้ยูเรีย 0.5% หลังการหมักเป็นเวลา 6 วัน และ การหมักด้วยเชื้อ *C. utilis* ที่มีระดับอะมิโนไนโตรเจนที่เกิดขึ้นสูงสุดคือ 9.20% ที่ระดับการใช้ยูเรีย 1.25% หลังการหมักเป็นเวลา 5 วัน อาจเป็นผลมาจากความสามารถของเชื้อ *A. oryzae* ในการหลั่งเอนไซม์เพื่อย่อยเซลลูโลสในกากมันสำปะหลังได้ดีกว่าเชื้อ *S. cerevisiae* และ *C. utilis* (Oboh et al., 2002)

เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างเชื้อจุลินทรีย์ ระดับยูเรีย และระยะเวลาในการหมักเกิดขึ้น จึงได้นำค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้น 10 อันดับค่าแรกมาแสดง ดังภาพที่ 4.5 (ส่วนข้อมูลทั้งหมดได้แสดงไว้ภาคผนวก)



*Microorganism: 1 = *A. oryzae*, 2 = *S. cerevisiae*, 3 = *C. utilis*

Urea concentration: 1 = 0%; 2 = 0.25%; 3 = 0.5%; 4 = 0.75%; 5 = 1.0%; 6 = 1.25%

Fermentation time: 0 = day0; 1 = day1; 2 = day2; 3 = day3; 4 = day4; 5 = day5; 6 = day6; 7 = day7

ภาพที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะมิโนไนโตรเจน (%) ในการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. oryzae, S. cerevisiae* และ *C. utilis* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 และ 1.25% หมักเป็นเวลา 7 วัน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนในกากมันสำปะหลังหมัก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยปริมาณไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้นั้นเป็นได้ทั้งสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นปริมาณโปรตีนแท้ และปริมาณโปรตีนไม่แท้จริง เช่น ยูเรีย ซึ่งในการทดลองหมักกากมันสำปะหลังครั้งนี้ มีการใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับเชื้อจุลินทรีย์ โดยยูเรียมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบถึง 46% และเมื่อคิดเป็นโปรตีนจะได้เท่ากับ 287.5% ดังนั้นการนำกากมันสำปะหลังหมักไปใช้ในอาหารไก่เนื้อจึงควรมีการวิเคราะห์ปริมาณยูเรียที่อาจเหลือตกค้างในกากมันสำปะหลังหมัก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ต้นทุนต่ำสุด ระยะเวลาการหมักที่เหมาะสม และปริมาณอะมิโนไนโตรเจนซึ่งเป็นตัวที่แสดงถึงการเจริญเติบโต

ของเชื้อจุลินทรีย์ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเชื้อ *A. oryzae* เป็นเชื้อที่เหมาะสมที่สุดในการหมักกากมันสำปะหลังโดยใช้ยูเรียที่ระดับ 0.75% หลังการหมักเป็นเวลา 4 วัน ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวสามารถเพิ่มการผลิตโปรตีนและอะมิโนไนโตรเจนในกากมันสำปะหลังจาก 2.59% และ 0.9% เป็น 17.40% และ 15.13% ตามลำดับ

การขยายขนาดการหมักกากมันสำปะหลัง

เมื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหมักแล้ว จึงทำการขยายขนาดการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. oryzae* โดยใช้ยูเรียที่ระดับ 0.75% หลังการหมักเป็นเวลา 4 วัน เพื่อใช้ในการประกอบสูตรอาหารไก่เนื้อ ซึ่งเป็นการหมักแบบไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้หัวเชื้อ *A. oryzae* ในรูปลูกแป้ง (koji) ที่มีความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 1.56×10^5 CFU/กรัมโดย หลังการหมักกากมันสำปะหลังพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้เพียง 11.82% และมีปริมาณยูเรียตกค้างอยู่ในกากมันสำปะหลัง 2.89% ซึ่งอาจเกิดจากเชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตบนกากมันสำปะหลังได้ไม่ทั่วถึงในถังหมักขนาดใหญ่ ดังนั้นหากมีการออกแบบถังหมักที่มีใบกวนเพื่อให้กากมันสำปะหลังผสมกับเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง น่าจะทำให้ได้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังหมักกับกากมันสำปะหลังปกติจากงานทดลองของ ยุวเรศ เรืองพานิช และคณะ (2550) และ Khempaka et al. (2009) ดังตารางที่ 4.1 พบว่ากากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณแป้ง และเยื่อใยลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากเชื้อ *A. oryzae* มีการหลั่งเอนไซม์เพื่อย่อยเยื่อใย และแป้งในกากมันสำปะหลัง (Oboh et al., 2002) จากนั้นจุลินทรีย์จะใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการสร้างพลังงาน และเพิ่มจำนวนเซลล์ รวมถึงจุลินทรีย์เป็นแหล่งที่มีโปรตีนสูงเมื่อมีการเพิ่มจำนวนจึงทำให้กากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น ส่วนการลดลงของเถ้าในการหมักกากมันสำปะหลัง อาจเกิดจากความแตกต่างของปริมาณสารอนินทรีย์ซึ่งได้แก่ แร่ธาตุ ที่มีอยู่ในกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการหมัก โดยความแตกต่างนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในดินที่ปลูกมันสำปะหลังในแต่ละพื้นที่ และอายุของการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง นอกจากนี้ความแปรปรวนของปริมาณไขมันที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากลักษณะของสายพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว คุณภาพของหัวมันสำปะหลังสด และกรรมวิธีในการสกัดแป้งของแต่ละโรงงาน (Sriroth, Santisopasri, Petchalanuwat, Kurotjanawong and Oates, 1999)

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโน ซึ่งแสดงถึงคุณภาพโปรตีนของกากมันสำปะหลังหมัก ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อจุลินทรีย์สามารถเพิ่มกรดอะมิโนที่จำเป็นได้แก่ ฮิสติดีน อาร์จินีน ทรีโอนีน และวาลีนได้มากกว่ากากมันสำปะหลังปกติที่ได้จากการทดลองของ ยุวเรศ เรืองพานิช และคณะ (2550) และ Khempaka et al. (2009) ส่วนปริมาณกรดอะมิโนที่พบว่ามีอยู่ในกากมันสำปะหลังหมักสูงสุด 3 ลำดับแรกคือ กลูตามิก แอสปาติก และอะลานีน โดยมีปริมาณกรดอะมิโน 0.250, 0.143 และ 0.137 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัม เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางโภชนะเบื้องต้นชี้ให้เห็นว่า กากมันสำปะหลังหมักมีคุณค่าทางอาหารในระดับที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักกากมันสำปะหลัง

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการหมักกากมันสำปะหลังได้แตกต่างกัน โดยเชื้อรา *A. oryzae* เป็นเชื้อที่สามารถผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลได้ดีกว่าเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* และ *C. utilis* โดยพิจารณาจากค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการทดลอง จึงเป็นที่น่าสนใจหากมีการศึกษาการใช้เชื้อรา *A. oryzae* ร่วมกับเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* หรือ *C. utilis* ในการหมักกากมันสำปะหลังน่าจะสามารถเพิ่มโปรตีนได้สูงขึ้น โดย สินชัย พารักษา, กรองแก้ว บริสุทธิ์สวัสดิ์ และมาลิน เสสกุล (2530) ได้รายงานว่าเชื้อยีสต์ และเชื้อราจะสามารถเจริญเติบโตในมันสำปะหลังได้ดี แต่เชื้อยีสต์จะมีความสามารถในการย่อยแป้งในมันสำปะหลังได้น้อยกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงอาจพิจาณาใช้เชื้อรา *A. oryzae* ในการย่อยแป้งที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลังให้เป็นน้ำตาล จากนั้นจึงใส่เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* หรือ *C. utilis* เพื่อให้มาใช้น้ำตาลที่เชื้อรา *A. oryzae* ผลิตได้อีกทอดหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สามารถ มูลอามาตย์, สุจิตรา แสนสาคร และปนัดดา วิชาอาด (2545) ที่ศึกษาการเพิ่มโปรตีนของกากมันสำปะหลังโดยการหมักบนอาหารแข็งด้วยเชื้อ *A. oryzae* และ *Curvularia* sp พบว่าที่อัตราส่วนยูเรียต่อแอมโมเนียมซัลเฟตเท่ากับ 4:0 ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของอาหารแข็ง 60% และใช้เชื้อผสม *A. oryzae* กับ *Curvularia* sp (อัตราส่วน 2:1) ปริมาณ $1x10^7$ สปอร์ต่อกรัมน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนในอาหารแข็งได้สูงสุด คิดเป็น 13.95% ที่ระยะเวลาการหมัก 48 ชั่วโมง

นอกจากนี้จากการทดลองพบว่าการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. oryzae* โดยใช้ยูเรียที่ระดับ 0.75% หลังการหมักเป็นเวลา 4 วัน ในระดับห้องปฏิบัติการสามารถเพิ่มโปรตีนได้ 17.4% และเมื่อทำการขยายขนาดการหมักกากมันสำปะหลังสามารถเพิ่มโปรตีนได้เพียง 11.82% ซึ่งอาจเกิดจากในการหมักระดับห้องปฏิบัติการมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ และเป็นการหมักใน

สภาวะที่ปลอดเชื้อ แต่การหมักในถังหมักขนาดใหญ่เป็นการหมักในสภาวะที่ไม่ปลอดเชื้อ และไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ จึงทำให้การหมักในระดับห้องปฏิบัติการสามารถเพิ่มโปรตีนได้สูงกว่าการหมักในถังหมักขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการเพิ่มโปรตีนในการหมักกากมันสำปะหลังในถังหมักขนาดใหญ่ให้สูงขึ้น ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น อาจมีการออกแบบถังหมักที่มีใบกวนเพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์กระจายตัว และสามารถใช้กากมันสำปะหลัง และยูเรียได้อย่างทั่วถึง ซึ่งน่าจะสามารถเพิ่มโปรตีนได้สูงขึ้น หรืออาจหาวิธีในการพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์ให้มีความเข้มข้นของจำนวนเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณสูง เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญบนกากมันสำปะหลังได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจากการศึกษาของ นันทกร และคณะ (2543) พบว่าการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ในรูปลูกแป้งของเชื้อผสมระหว่างเชื้อ *Chlamydomucor* SUT1 และ *C. utilis* มีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนมันสำปะหลังหมักให้มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้นถึง 18.3% ในการหมักระดับห้องปฏิบัติการ และเมื่อทำการหมักในถังหมักขนาด 540 ลิตร สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนในมันสำปะหลังหมักได้เป็น 15.3%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังหมัก (% as-fed basis)

Component	Fermented cassava pulp	Cassava pulp (Khempaka et al., 2009)	Cassava pulp (ยุวเรศ และคณะ, 2550)
Dry matter	94.39	93.22	88.66
Crude protein	11.82	1.98	2.69
Ether extract	0.15	0.13	0.39
Crude fiber	10.60	13.59	14.75
Ash	1.58	2.83	4.5
Calcium	0.07	0.10	0.57
Total phosphorus	0.03	0.05	0.02
Starch	35.54	53.55	47.96
ME, kcal/kg	-	-	2,363
TME, kcal/kg	2,049	2,484	-
Amino acid (mg/100mg)			
Aspartic acid	0.143	0.131	0.8
Serine	0.101	0.092	0.03
Glutamic acid	0.250	-	0.12
Glycine	0.086	0.078	0.04
Histidine	0.040	0.013	0.03
Arginine	0.136	0.062	<0.005
Threonine	0.107	0.076	0.02
Alanine	0.137	0.139	0.09
Proline	0.092	0.096	0.07
Valine	0.096	0.082	-
Lysine	0.130	0.104	0.26
Isoleucine	0.072	0.065	0.13
Leucine	0.131	0.104	0.20
Phenylalanine	0.078	0.059	0.21
Methionine	-	0.018	<0.005
Glutamine + Glycine	-	0.161	-

4.2 การทดลองที่ 2: ผลการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ

ผลการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0, 4, 8, 12, 16, 20 และ 24% พบว่ามีการย่อยได้ของสิ่งแห้งลดลงแบบเป็นเส้นตรง ($P<0.05$) เฉลี่ยเท่ากับ 69.28, 67.87, 69.80, 67.30, 68.29, 63.88 และ 65.71% ตามลำดับ มีการย่อยได้ของสารอินทรีย์ลดลงแบบเป็นเส้นตรง ($P<0.05$) เฉลี่ยเท่ากับ 72.28, 71.16, 73.07, 70.02, 71.18, 67.42 และ 68.81% ตามลำดับ และมีการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนลดลงแบบเป็นเส้นตรง ($P<0.05$) เฉลี่ยเท่ากับ 44.58, 41.31, 46.3, 41.93, 45.18, 30.20 และ 33.93% ตามลำดับ โดยไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 20 และ 24% มีการย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนต่ำกว่าไก่เนื้อในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากกากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณเยื่อใยสูง (10.60%) ดังนั้นปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นตามระดับการเพิ่มของกากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อ อาจมีผลต่อการลดการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ โดยไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 20 และ 24% จะมีเยื่อใยในสูตรอาหารที่ 5.37 และ 5.60% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ ทวีศักดิ์ และคณะ (2544) ที่รายงานว่าปริมาณเยื่อใยที่สูงขึ้นตามระดับการเพิ่มของมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารทำให้การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ และการนำไปใช้ประโยชน์ได้มีแนวโน้มลดลง และสอดคล้องกับการรายงานของ Jorgensen et al. (1996) ที่รายงานว่าความสามารถในการย่อยได้ของไก่เนื้อจะลดลงเมื่อระดับเยื่อใยในอาหารเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการย่อยได้ของเถ้าเฉลี่ยเท่ากับ 14.09, 9.08, 12.01, 13.64, 16.04, 13.60 และ 9.05% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนเฉลี่ยเท่ากับ 2.77, 2.71, 2.70, 2.51, 2.50, 2.69 และ 2.74% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตางที่ 4.2

จากผลการศึกษาการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะของกากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อ พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อถึงระดับ 16% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Khempaka et al. (2009) ที่ศึกษาถึงการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังปกติ พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังปกติในสูตรอาหารไก่เนื้อเพียง 8% ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อได้สูงกว่ากากมันสำปะหลังปกติ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ซึ่งอาจเกิดจากในกากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 11.82% จึงสามารถทดแทนโปรตีนใน

ข้าวโพดได้มากกว่ากากมันสำปะหลังปกติที่มีโปรตีนในปริมาณต่ำ และเนื่องจากในกระบวนการหมักมีการนึ่งกากมันสำปะหลังก่อนการหมัก เพื่อช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น และทำให้โมเลกุลของแป้งมีขนาดสั้นลง ซึ่งอาจทำให้แป้งที่มีอยู่ในกากมันสำปะหลังหมักมีการย่อยได้มากกว่าแป้งที่ได้จากกากมันสำปะหลังปกติ ส่งผลให้ไก่เนื้อมีการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ในกากมันสำปะหลังหมักได้ดีกว่ากากมันสำปะหลังปกติ

ตารางที่ 4.2 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ

		Fermented cassava pulp							
	Control	**4%**	**8%**	**12%**	**16%**	**20%**	**24%**	**SEM[1]**	**Trend[2]**
Digestibility (%)									
DM[5]	69.28^{a}	67.87^{ab}	69.80^{a}	67.30^{ab}	68.29^{ab}	63.88^{c}	65.71^{bc}	0.47	L=0.0014[3]
Ash	14.09	9.08	12.01	13.64	16.04	13.60	9.05	0.90	NS[4]
N retention	44.58^{a}	41.31^{ab}	46.3^{a}	41.93^{ab}	45.18^{a}	30.20^{c}	33.93^{bc}	1.23	L=0.0005
OM[6]	72.28^{ab}	71.16^{ab}	73.07^{a}	70.02^{abc}	71.18^{ab}	67.42^{c}	68.81^{bc}	0.47	L=0.0027
Protein efficiency ratio									
PER[7]	2.77	2.71	2.70	2.51	2.50	2.69	2.74	0.05	NS

หมายเหตุ: $^{a-c}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างทางสถิติ

[1]Standard error of the mean

[2]Refer to polynomial trend analysis

[3]Linear trend

[4]Not significant (P>0.05)

[5]Dry matter [6]Organic matter [7] Protein efficiency ratio

4.3 การทดลองที่ 3: ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและคุณภาพซากของไก่เนื้อ

4.3.1 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20% ต่อน้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร แสดงในตารางที่ 4.3 จากการทดลองพบว่าไก่เนื้อมีน้ำหนักตัว ปริมาณการกินอาหาร และประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากมันสำปะหลังหมัก โดยการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20% ที่อายุ 0-21 วันไก่เนื้อมีน้ำหนักแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เฉลี่ยเท่ากับ 680, 684, 671, 667, 644 และ 640 กรัมต่อตัว ตามลำดับ มีปริมาณการกินอาหารแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เฉลี่ยเท่ากับ 1047, 1065, 1082, 1077, 1030 และ 1037 กรัมต่อตัวตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการใช้อาหารแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เฉลี่ยเท่ากับ 1.65, 1.66, 1.73, 1.73, 1.72 และ 1.74 กรัมอาหารต่อกรัมน้ำหนักตัว ตามลำดับ และที่อายุ 0-42 วัน โดยมีน้ำหนักตัวลดลงเป็นเส้นโค้งแบบ quadratic ($P<0.05$) เฉลี่ยเท่ากับ 2219, 2240, 2201, 2160, 2116 และ 1996 กรัมต่อตัว ตามลำดับ มีปริมาณอาหารที่กินลดลงเป็นเส้นโค้งแบบ quintic ($P<0.05$) เฉลี่ยเท่ากับ 4151, 4139, 4183, 4112, 4124 และ 4042 กรัมต่อตัว ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงแบบเป็นเส้นตรง ($P<0.05$) เฉลี่ยเท่ากับ 1.91, 1.88, 1.94, 1.94, 1.99 และ 2.07 กรัมอาหารต่อกรัมน้ำหนักตัว ตามลำดับ

โดยภาพรวมแล้วสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักได้ถึงระดับ 16% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลทางด้านการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อในการทดลองที่ 2 โดยจะพบว่ากากมันสำปะหลังหมักสามารถเพิ่มระดับการใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้เมื่อเทียบกับกากมันสำปะหลังปกติที่ไม่ได้มีการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะซึ่งสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อได้เพียง 5-10% (ปรีดา คำศรี และคณะ, 2552; ยุวเรศ เรืองพานิช และคณะ, 2550; Khempaka et al., 2009) ส่วนการลดลงของสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อเมื่อได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 20% อาจเกิดจากข้อจำกัดในด้านความจุของกระเพาะอาหาร อีกทั้งกากมันสำปะหลังหมักมีลักษณะฟ่าม เมื่อนำมาผสมในสูตรอาหารในปริมาณสูง ทำให้อาหารมีลักษณะฟ่าม เป็นฝุ่น และไม่น่ากิน แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ ปรีดา คำศรี และคณะ (2552) รายงานว่าการอัดเม็ดอาหารสูตรที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบสามารถเพิ่มน้ำหนักตัว และปริมาณอาหารที่กินเมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงไก่เนื้อด้วยอาหารผง เนื่องจากการอัดเม็ดอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบจะช่วย

ลดความเป็นฝุ่น เพิ่มความน่ากินของอาหาร และป้องกันการแยกตัวของส่วนประกอบอาหารทำให้สัตว์เลือกกินไม่ได้ สัตว์จึงได้รับโภชนะที่สมดุลในอาหารแต่ละเม็ดที่สัตว์กิน (สาโรช ค้าเจริญ, 2547) ดังนั้นการอัดเม็ดอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบอาจช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

4.3.2 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ

จากผลการทดลองพบว่าไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20% มีเปอร์เซนต์ซาก และเปอร์เซนต์เครื่องในแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) และมีเปอร์เซนต์กล้ามเนื้ออก กล้ามเนื้อสันใน กล้ามเนื้อน่อง ปีก เนื้อน่อง เนื้อสะโพก ไขมันในช่องท้อง และกล้ามเนื้อสะโพก แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังตารางที่ 4.4 สอดคล้องกับการรายงานของ ยุวเรศ เรืองพานิช และคณะ (2550) ที่ศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพ และสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังไม่มีผลต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ อย่างไรก็ตามจากการรายงานของ Khempaka et al. (2009) ที่ศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อ พบว่ากากมันสำปะหลังมีผลให้ไขมันในช่องท้องลดลง และน้ำหนักกึ๋นเพิ่มขึ้นตามระดับของกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ซึ่งอาจมีผลมาจากเยื่อใยในระดับที่สูงของกากมันสำปะหลัง (13.59%) ไปยับยั้งการสังเคราะห์ไขมันในตับ และช่องท้อง อีกทั้งยังมีผลให้พลังงานที่กินได้ในไก่เนื้อลดลง ทำให้ไขมันในช่องท้องลดลง และเพิ่มการทำงานของกึ๋นในการบดอาหารเยื่อใย ทำให้กึ๋นมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นด้วย แต่จากการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างดังกล่าว อาจเนื่องมาจากอาหารทุกสูตรในแต่ละกลุ่มการทดลองที่ไก่เนื้อได้รับในแต่ละวันนั้นได้ทำการปรับสมดุลโภชนะต่างๆ ให้เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน อีกทั้งยังปรับโภชนะต่างๆ ที่จำเป็นในอาหารทุกสูตรให้ครบถ้วน และสมดุลเพียงพอกับความต้องการของไก่ จึงส่งผลให้ไก่เนื้อมีลักษณะซากไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ (0-42 วัน)

		Fermentation cassava pulp						
	Control	**4%**	**8%**	**12%**	**16%**	**20%**	**SEM**	**Trend[1]**
BW (g/bird)								
Day 0	44	43	44	43	44	44	0.12	NS
Day 7	128	132	131	132	126	125	1.34	NS
Day 14	301	312	303	309	297	289	3.08	NS
Day 21	680	684	671	667	644	640	5.93	NS
Day 28	1,116^{ab}	1,138^{b}	1,053^{bc}	1,062^{bc}	1,084^{ab}	1,004^{c}	12.75	Qu^5=0.0149
Day 35	1,729^{a}	1,716^{ab}	1,646^{b}	1,716^{ab}	1,680^{ab}	1,564^{c}	15.58	C^3=0.0105
Day 42	2,219^{ab}	2,240^{a}	2,201^{ab}	2,160^{ab}	2,116^{b}	1,996^{c}	22.63	Q^4=0.0270
FI (g/bird)								
Day 7	112	116	116	126	112	114	1.95	NS
Day 14	404	438	440	463	387	439	11.73	NS
Day 21	1,047	1,065	1,082	1,077	1,030	1,037	8.34	NS
Day 28	1,859	1,854	1,895	1,882	1,804	1,788	13.08	NS
Day 35	3,006	2,999	3,009	3,000	2,951	2,890	15.29	NS
Day 42	4,151^{ab}	4,139^{ab}	4,183^{a}	4,112^{b}	4,124^{ab}	4,042^{c}	12.75	$Quin^6$=0.0460
FCR(g feed/g BW)								
Day 7	1.33	1.31	1.34	1.41	1.36	1.41	0.01	NS
Day 14	1.56	1.63	1.70	1.74	1.53	1.79	0.04	NS
Day 21	1.65	1.66	1.73	1.73	1.72	1.74	0.01	NS
Day 28	1.73^{ab}	1.69^{b}	1.88^{a}	1.85^{a}	1.73^{ab}	1.86^{a}	0.02	Qu^5=0.0056
Day 35	1.78	1.79	1.88	1.80	1.80	1.90	0.02	NS
Day 42	1.91^{bc}	1.88^{c}	1.94^{bc}	1.94^{bc}	1.99^{ab}	2.07^{a}	0.02	L^2=0.0005

หมายเหตุ: SEM = Standard error of the mean; NS = Not significant (P>0.05)

$^{a, b, c}$ ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ; [1]Refer to polynomial trend analysis

L^2 = Linear trend; C^3 = Cubic trend; Q^4 = Quadratic trend; Qu^5 = Quartic; $Quin^6$ = Quintic;

BW = Body weight; FI= Feed intake; FCR= Feed conversion ratio

ตารางที่ 4.4 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ

	Control	Fermented cassava pulp					SEM	Trend[1]
		4%	8%	12%	16%	20%		
% Live weight								
Eviscerated	67.42	67.32	67.02	67.71	65.91	66.10	0.54	NS[2]
Giblets	7.78	8.54	8.17	7.82	7.81	8.38	0.12	NS
% Eviscerated carcass								
Breast	23.60	21.79	22.03	23.06	23.88	22.19	0.34	NS
Fillet	4.79	5.04	4.78	4.92	5.08	5.03	0.10	NS
Thigh	17.33	17.51	19.22	18.83	18.12	19.78	0.31	NS
Drumstick	15.28	15.20	15.22	15.26	14.69	15.51	0.13	NS
Thigh meat	15.54	14.86	16.57	16.13	15.73	16.95	0.31	NS
Drumstick meat	11.51	11.23	11.47	11.62	10.94	11.21	0.11	NS
Abdominal fat	0.73	0.89	0.80	1.09	0.92	1.01	0.05	NS
Wing	10.95	11.28	11.63	11.48	11.01	11.71	0.12	NS

หมายเหตุ: SEM = Standard error of the mean; NS^2 = Not significant (P>0.05);

[1]Refer to polynomial trend analysis

4.3.3 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะอวัยวะภายในของไก่เนื้อ

จากผลการทดลองพบว่าไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20% มีความยาวของลำไส้ส่วนดูโอดีนัม ความยาวของลำไส้ส่วนเจจูนัม และความยาวของลำไส้ส่วนไอเลียมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 4.5

จากการศึกษาถึงน้ำหนักของอวัยวะภายในซึ่งได้แก่ หัวใจ ม้าม กระเพาะ กึ๋น ลำไส้ส่วนดูโอดีนัม ลำไส้ส่วนเจจูนัม ลำไส้ส่วนไอเลียม น้ำดี และไขมันเกาะอวัยวะ ในไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20% มีค่าการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ส่วนน้ำหนักของตับในกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20% มีน้ำหนักตับเฉลี่ยเท่ากับ 1.66, 1.76, 1.73, 1.69, 1.63 และ 1.94 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักตัว โดยไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 20% มีน้ำหนักตับเพิ่มขึ้นเป็นเส้นโค้งแบบ cubic (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 4-16%

จากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตับในไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 20% ในสูตรอาหาร อาจเกิดจากสาเหตุหลายประการคือ ประการแรกอาจเกิดจากความเป็นพิษเนื่องจากปริมาณยูเรียที่ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในกระบวนการหมักกากมันสำปะหลัง ซึ่งยูเรียเป็นสารที่มีไนโตรเจนสูงแต่เป็นไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน หากสัตว์ได้รับไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนในปริมาณมากจะก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ เนื่องจากตับเป็นอวัยวะสำคัญในการกำจัดสารพิษในร่างกาย เมื่อมีสารพิษในปริมาณสูงจึงมีการตกค้างของสารพิษสะสมที่ตับ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Sirilaophaisan, Khajarern and Tengjarernkul (2010) ที่ศึกษาผลของการเสริมเมลามีนหรือยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์หรือส่วนผสมของทั้งสองชนิดต่อคุณภาพซาก ปริมาณตกค้าง และการเปลี่ยนแปลงทางกล้องจุลทรรศน์ในเนื้อเยื่อของไก่เนื้อ โดยทำการเสริมเมลามีนหรือยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์หรือส่วนผสมของทั้งสองชนิด 4 ระดับคือ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.00% พบว่าคุณภาพซากของไก่เนื้อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ให้ผลไม่แตกต่างกันทุกกลุ่มการทดลอง ส่วนการตกค้างของเมลามีน ในเนื้ออก และตับ ไม่สามารถตรวจวัดได้เมื่อไก่กินอาหารที่เสริมเมลามีนที่ระดับ 0.25% และการตกค้างของ เมลามีนในเนื้อเยื่อของเนื้ออก และตับจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของการเสริมเมลามีนในอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งเนื้อเยื่อตับจะมีเมลามีนตกค้างสูงกว่าเนื้อเยื่ออก โดยจากการวิเคราะห์หาปริมาณยูเรียที่ตกค้างอยู่ในกากมันสำปะหลังหมักพบว่ามียูเรียตกค้างในกากมันสำปะหลังหมัก 2.89% ซึ่งเมื่อคิดอัตราส่วนของยูเรียในกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 20% ในสูตรอาหารไก่เนื้อจะมียูเรียตกค้างอยู่เพียง 0.58% และมีการศึกษาการใช้ยูเรียทดแทนโปรตีนในอาหารเป็ดเนื้อ พบว่าสามารถใช้ยูเรียได้สูงถึง 4% ในอาหารเป็ดเนื้อพันธุ์ปักกิ่ง โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต (นรินทร์ ทองวิทยา, นันทฤทธิ์ โชคถาวร และเผ่าพงษ์ ปูระณะพงษ์, 2543) และเนื่องจากในกระบวนการหมักกากมันสำปะหลังเป็นการหมักในสภาพที่ไม่ปลอดเชื้อ จึงอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อราชนิดอื่นในระหว่างการกระบวนการหมัก ซึ่งเชื้อราที่ปนเปื้อนนี้อาจมีการผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน และก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ได้ แต่จากการวิเคราะห์ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในกากมันสำปะหลังหมัก พบว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซิน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงค่าทางชีวเคมีของโลหิต ได้แก่ ค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์แอสพาเตทอะมิโนทรานเฟอเรส (aspartate aminotransferase : AST) และเอนไซม์อะลานีนอะมิโนทรานสเฟอเรส (alanine aminotransferase : ALT) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบเบื้องต้นถึงความเป็นพิษของตับ พบว่าค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ AST และ ALT ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ในไก่เนื้อกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0-20% (แสดงข้อมูลในข้อ 4.3.5)

จากปริมาณเยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลังหมัก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยชนิดไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) ซึ่งสัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้น้อย เนื่องจากไม่มีน้ำย่อย

ในระบบทางเดินอาหาร จึงต้องอาศัยจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารเพื่อเปลี่ยนเยื่อใยให้อยู่ในรูปที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยเมื่ออาหารเยื่อใยผ่านเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ จะทำให้เกิดการหมักโดยจุลินทรีย์ได้เป็นกรดไขมันสายสั้น ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก โดยกรดไขมันที่ผลิตได้จะถูกดูดซึมที่เซลล์เยื่อบุของลำไส้ใหญ่เกิดกระบวนการเมทาบอลิซึม และมีการขนส่งกรดไขมันผ่านทางเส้นเลือดดำไปยังตับ จึงอาจมีการสะสมกรดไขมันสายสั้นที่ตับ และส่งผลให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ กฤติกา กาบพลอย (2551) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารสุกร ทำให้ปริมาณกรดอะซิติกในลำไส้ใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามจากเหตุผลดังกล่าว จึงยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 20% มีน้ำหนักตับเพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 4-16% นั้นเป็นผลมาจากสาเหตุใด

ตารางที่ 4.5 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะอวัยวะภายในของไก่เนื้อ

		Fermented cassava pulp						
	Control	**4%**	**8%**	**12%**	**16%**	**20%**	**SEM**	**Trend[1]**
Organ length (cm/100g BW)								
Duodenum	1.44	1.47	1.44	1.58	1.43	1.55	0.02	NS[2]
Jejunum	3.24	3.67	3.47	3.41	3.35	3.77	0.06	NS
Ileum	3.52	3.68	3.73	3.75	3.59	4.09	0.07	NS
Organ weight (g/100g BW)								
Heart	0.40	0.46	0.43	0.40	0.40	0.39	0.01	NS
Liver	1.66[b]	1.76[b]	1.73[b]	1.69[b]	1.63[b]	1.94[a]	0.03	C[3]=0.0018
Spleen	0.14	0.10	0.12	0.08	0.14	0.13	0.01	NS
Proventiculus	0.32	0.35	0.36	0.34	0.33	0.31	0.01	NS
Gizzard	1.27	1.33	1.15	1.19	1.18	1.18	0.02	NS
Duodenum	0.48	0.52	0.48	0.47	0.42	0.47	0.01	NS
Jejunum	0.88	1.05	1.04	0.92	0.93	1.14	0.03	NS
Ileum	0.85	0.99	0.88	0.80	0.85	0.92	0.02	NS
Gall bladder	0.10	0.11	0.13	0.14	0.11	0.12	0.01	NS
Visceral fat	0.94	0.83	0.95	0.73	0.94	0.71	0.05	NS

หมายเหตุ: [a, b] ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ; SEM = Standard error of the mean;

[1]Refer to polynomial trend analysis; NS[2] = Not significant (P>0.05); C[3] = Cubic trend

4.3.4 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะสีเนื้อและผิวหนังของไก่เนื้อ

เนื่องจากกากมันสำปะหลังหมักเป็นวัตถุดิบอาหารที่ปราศจากสารให้สี (pigment) ดังนั้นในการนำกากมันสำปะหลังหมักไปใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อจึงควรคำนึงถึงเรื่องสารให้สีเนื่องจากสีของเนื้อ และหนังเป็นลักษณะทางกายภาพที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และการประเมินสีเนื้อเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคจะสามารถวัดความพึงพอใจได้ จากการทดลองพบว่าไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20% มีลักษณะของสีเนื้อส่วนอกและสะโพก และสีหนังส่วนอกและสะโพก ซึ่งได้แก่ ความสว่าง (lightness) ความแดง (redness) และความเหลือง (yellowness) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากในการประกอบสูตรอาหารทดลองมีการใช้ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และถั่วเหลืองไขมันเต็ม ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีสารให้สีเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร โดยข้าวโพดเป็นวัตถุดิบเป็นวัตถุดิบที่มีสารให้สี xanthophylls และ lutein ในปริมาณ 17 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (NRC, 1994)

ตารางที่ 4.6 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อลักษณะสีเนื้อและผิวหนังของไก่เนื้อ

		Fermented cassava pulp						
	Control	4%	8%	12%	16%	20%	SEM	Trend[1]
Lightness (L* value)								
Breast meat	56.55	57.62	55.72	57.52	58.20	58.60	0.53	NS[2]
Thigh meat	54.97	55.92	55.13	57.73	57.45	58.00	0.61	NS
Breast skin	68.26	68.04	68.27	69.05	66.01	67.86	0.59	NS
Thigh skin	68.66	68.54	65.25	65.20	64.86	66.54	0.59	NS
Redness (a*value)								
Breast meat	2.52	3.11	2.93	2.67	2.92	3.33	0.12	NS
Thigh meat	4.24	4.15	3.95	3.75	4.81	4.65	0.15	NS
Breast skin	3.49	3.82	3.05	2.76	2.82	4.02	0.19	NS
Thigh skin	3.25	3.76	4.42	4.02	4.12	4.49	0.17	NS
Yellowness (b*value)								
Breast meat	1.60	1.25	1.94	1.00	1.43	2.09	0.16	NS
Thigh meat	1.41	1.65	1.25	2.38	2.91	1.77	0.22	NS
Breast skin	6.90	5.53	5.66	5.22	5.21	5.13	0.32	NS
Thigh skin	6.30	5.96	5.68	4.67	4.65	3.74	0.39	NS

หมายเหตุ: SEM = Standard error of the mean; [1]Refer to polynomial trend analysis; NS[2] = Not significant (P>0.05)

4.3.5 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อค่าทางชีวเคมีของโลหิตในไก่เนื้อ

เมื่อพิจารณาจากการศึกษาผลของกากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อต่อค่าทางชีวเคมีของโลหิต ซึ่งเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นที่สามารถบอกให้ทราบถึงสภาพร่างกายของสัตว์ หากระดับของเอนไซม์สูงขึ้นมักเกิดจากเนื้อเยื่อถูกทำลายหรือเกิดความผิดปกติ โดยตับจะมีหน้าที่ในการกำจัดสารพิษ (detoxification) ดังนั้นตับจึงเป็นอวัยวะที่ได้รับผลกระทบโดยตรงเมื่อมีสารที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษเข้ามาในร่างกาย การวัดระดับของเอนไซม์แอสพาเตทอะมิโนทรานเฟอเรส (aspartate aminotransferase : AST) และเอนไซม์อะลานีนอะมิโนทรานสเฟอเรส (alanine aminotransferase : ALT) ซึ่งพบมากในตับ และจะถูกปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดเพิ่มขึ้นเมื่อเซลล์ตับถูกทำลาย จึงใช้ค่าเอนไซม์เหล่านี้ในการบ่งบอกถึงลักษณะเบื้องต้นของความเป็นพิษจากกากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อ โดยมีการรายงานเกี่ยวกับค่าปกติในสัตว์ปีกของเอนไซม์ AST คือมีค่าระหว่าง 52 ถึง 270 (U/l) และค่าปกติของเอนไซม์ ALT ที่มีค่าระหว่าง 6.5 ถึง 263 (U/l) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของค่าชีวเคมีของโลหิตของสัตว์นั้นจะแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ เพศ อายุ และอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม (Coles, 2007)

จากการทดลองพบว่า การใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20% มีค่าทางชีวเคมีของโลหิต ดังแสดงในตารางที่ 4.7 โดยพบว่าค่าแอคติวิตีของเอนไซม์ AST ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สร้างจากเนื้อเยื่อหัวใจ ตับ กล้ามเนื้อลาย แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือมีค่าระหว่าง 300.72 ถึง 358.60 (U/l) ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าปกติของสัตว์ปีก อาจมีสาเหตุมาจากในการทดลองครั้งนี้มีการเก็บตัวอย่างเลือดที่อายุ 42 วัน ซึ่งเป็นช่วงที่สัตว์โตเต็มที่ จึงเกิดความร้อนภายในร่างกายมากกว่าสัตว์ที่อายุน้อย และส่งผลให้มีค่าของเอนไซม์ AST มีค่าที่สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามมีการรายงานว่าค่าของเอนไซม์ AST ที่สูงกว่า 800 (U/l) จะแสดงถึงภาวะของตับที่เสียหายอย่างรุนแรง (Thrall et al., 2004) และเมื่อพิจารณาร่วมกับเอนไซม์ ALT ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ใช้วัดความผิดปกติของตับเช่นเดียวกับเอนไซม์ AST แต่เอนไซม์ ALT มีความจำเพาะในการบ่งบอกถึงภาวะอันตรายจากตับมากกว่าเอนไซม์ AST เนื่องจากเอนไซม์ ALT มีตับเป็นแหล่งสร้างที่ใหญ่ที่สุดในร่างกาย (King, 1965) พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือมีค่าระหว่าง 12.25 ถึง 18.80 (U/l) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงปกติของสัตว์ปีก ดังนั้นจากผลการทดลองจึงสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ

ตารางที่ 4.7 ผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อค่าทางชีวเคมีของโลหิต

		Fermented cassava pulp						
	Control	**4%**	**8%**	**12%**	**16%**	**20%**	**SEM**	**Trend[1]**
AST (U/l)	358.60	311.53	327.60	300.72	331.60	314.07	7.79	NS[2]
ALT (U/l)	12.25	18.80	15.67	14.20	15.20	12.33	1.35	NS

หมายเหตุ: SEM = Standard error of the mean; NS[2] = Not significant (P>0.05); [1]Refer to polynomial trend analysis

4.3.6 การใช้กากมันสำปะหลังหมักเทียบกับกากมันสำปะหลังปกติในสูตรอาหารไก่เนื้อ

จากผลการทดลอง และการรวบรวมเอกสารงานวิจัยของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ที่ระดับ 16% โดยไม่ส่งผลต่อการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และค่าทางชีวเคมีของโลหิต ซึ่งสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อได้สูงกว่าการใช้กากมันสำปะหลังปกติในสูตรอาหารไก่เนื้อที่สามารถใช้ได้ที่ระดับ 8-10% โดยไม่ส่งผลให้สมรรถนะการเจริญเติบโตลดลง (ยุวเรศ เรืองพานิช และคณะ, 2550; Khempaka et al., 2009) ทั้งนี้เนื่องจากกากมันสำปะหลังหมักมีคุณค่าทางโภชนะโดยเฉพาะในส่วนของโปรตีน (11.82%) ที่สูงกว่ากากมันสำปะหลังปกติ (1-2%) จึงทำให้สามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อได้สูงกว่ากากมันสำปะหลังปกติ

ตารางที่ 4.8 การใช้กากมันสำปะหลังหมักเทียบกับกากมันสำปะหลังปกติในสูตรอาหารไก่เนื้อ

Treatment	BW (g)	BWG (g)	FI (g/bird)	FCR	References
Control	2,422[a]	-	4,566	2.03	Khempaka
4% Cassava pulp	2,411[a]	-	4,705	2.11	et al. (2009)
8% Cassava pulp	2,347[a]	-	4,785	2.23	
12% Cassava pulp	2,149[b]	-	3,949	1.99	
16% Cassava pulp	2,051[b]	-	3,753	1.99	
Control	-	2,756	4,801	1.75	ยุวเรศ และ
5 % Cassava pulp	-	2,697	4,743	1.76	คณะ (2550)
10 % Cassava pulp	-	2,679	4,740	1.77	
Control	2,219[ab]	-	4,151[ab]	1.91[bc]	Fermented
4% Fermented cassava pulp	2,240[a]	-	4,139[ab]	1.88[c]	cassava pulp
8% Fermented cassava pulp	2,201[ab]	-	4,183[a]	1.94[bc]	
12% Fermented cassava pulp	2,160[ab]	-	4,112[b]	1.94[bc]	
16% Fermented cassava pulp	2,116[b]	-	4,124[ab]	1.99[ab]	
20% Fermented cassava pulp	1,996[c]	-	4,042[c]	2.07[a]	

หมายเหตุ: [a,b,c] ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.3.7 ต้นทุนค่าอาหารเมื่อใช้กากมันสำปะหลังหมักเป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารไก่เนื้อ

จากผลการทดลองการใช้กากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0-24% ในสูตรอาหารไก่เนื้อต่อต้นทุนค่าอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อทั้งสองช่วงอายุ คือ 0-21 วัน และ 22-42 วัน ส่งผลให้ต้นทุนค่าอาหารเพิ่มขึ้นตามระดับกากมันสำปะหลังหมักที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร โดยไก่เนื้อในช่วงอายุ 0-21 วัน ที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20% มีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 16.53, 16.59, 16.67, 16.73, 16.81 และ16.89 บาท/กิโลกรัม และไก่เนื้อในช่วงอายุ 22-42 วัน มีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 14.63, 14.71, 14.81, 14.88, 14.98 และ 15.06 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของราคาอาหารไก่เนื้อเมื่อมีการเพิ่มระดับกากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารนั้น เป็นผลมาจากกากมันสำปะหลังหมักเป็นวัตถุดิบอาหารที่มีค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ปานกลาง ดังนั้นเมื่อเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหาร จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มน้ำมันถั่วเหลืองให้

สูงขึ้น เพื่อปรับอาหารทดลองทุกสูตรให้มีระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เท่ากัน ถึงแม้ว่าการเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อ จะลดการใช้ข้าวโพดในสูตรอาหาร แต่เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองมีราคาแพง จึงทำให้ต้นทุนค่าอาหารเพิ่มขึ้นตามระดับกากมันสำปะหลังหมักที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ดังนั้นการพิจารณาใช้กากมันสำปะหลังหมักในสูตรอาหารไก่เนื้อเพื่อให้ได้ต้นทุนที่ต่ำสุดนั้นจะขึ้นอยู่กับราคาของกากมันสำปะหลังหมัก ราคาข้าวโพด และราคาของน้ำมันถั่วเหลือง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาภายใต้การเลือกใช้วัตถุดิบในสูตรอาหารของการทดลองครั้งนี้ จะพบว่ากากมันสำปะหลังหมักจะถูกพิจารณาเพื่อนำมาทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ เมื่อมีส่วนต่างของราคาข้าวโพด และกากมันสำปะหลังหมักที่ 6.50 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งที่ส่วนต่างดังกล่าวจะพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารไก่เนื้อจะช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้

เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นเศษเหลือที่ได้จากกระบวนการผลิตแป้ง หากไม่มีการนำกากมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะเกิดการเน่าเสียของกากมันสำปะหลัง และเกิดกลิ่นเหม็น ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมที่อยู่ใกล้เคียง ดังนั้นกากมันสำปะหลังจึงเป็นเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจต่ำ โดยจากการสอบถามราคาหน้าโรงงานตั้งแต่ปี 2550 จนถึงปัจจุบัน พบว่ากากมันสำปะหลังเปียกมีราคากิโลกรัมละ 30 สตางค์ และกากมันสำปะหลังแห้งมีราคากิโลกรัมละ 4.50 บาท ในขณะที่ข้าวโพดมีราคาแพง และผันแปรไปตามฤดูกาล โดยในปี 2552 ข้าวโพดมีราคากิโลกรัมละ 9 บาท และปัจจุบันมีราคากิโลกรัมละ 12 บาท และเมื่อนำกากมันสำปะหลังเปียกมาทำการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ โดยมีการประเมินค่าใช้จ่ายในกระบวนการหมักซึ่งประกอบไปด้วย ค่ากากมันสำปะหลังเปียก ค่าไฟฟ้า ค่าหัวเชื้อจุลินทรีย์ ค่าบดกากมันสำปะหลังหมักก่อนนำไปใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อ และค่าแรงงาน จากนั้นคิดคำนวณเป็นต้นทุนของกากมันสำปะหลังหมักแห้ง พบว่ากากมันสำปะหลังหมักแห้งมีราคากิโลกรัมละ 6 บาท

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังโดยนำกากมันสำปะหลังมาผลิตเอทานอล แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตยังมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก และมีต้นทุนที่สูงกว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ดังนั้นการพัฒนาเพื่อนำกากมันสำปะหลังมาใช้เลี้ยงสัตว์ จึงยังคงมีโอกาสอีกสูง ถึงแม้การใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารไก่เนื้อยังคงมีต้นทุนการผลิตที่สูงแต่ในอนาคตหากเกิดสภาวะการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารพลังงานหรือเมื่อวัตถุดิบอาหารพลังงานมีราคาสูงขึ้นมาก ก็สามารถพิจารณาใช้กากมันสำปะหลังหมักเป็นวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อได้

ตารางที่ 4.9 ส่วนประกอบในสูตรอาหาร และราคาวัตถุดิบอาหารไก่เนื้ออายุ 0-21 วัน

		Fermented cassava pulp						
Ingredients	**Control**	**4%**	**8%**	**12%**	**16%**	**20%**	**24%**	**ราคา**[1]
Corn	54.50	50.50	46.50	42.50	38.50	34.50	30.50	9
Soybean meal	20.61	20.28	19.94	19.60	19.25	18.90	18.49	18
Fish meal	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	39
Full-fat soybean	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	22
Cassava pulp	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00	6
Soybean oil	1.91	2.46	3.01	3.57	4.12	4.66	5.19	48
Cassava starch	1.25	1.02	0.79	0.56	0.34	0.13	0.00	10
Salt	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	10
Methionine	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29	0.31	0.32	200
Calcium carbonate	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	6
Dicalcium phosphate	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5
Premix	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	133
ราคา (บาท/กิโลกรัม)	18.48	18.51	18.55	18.58	18.63	18.67	18.68	

หมายเหตุ: [1]ราคาวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัม) ณ เดือน พฤษภาคม 2554

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.10 ส่วนประกอบในสูตรอาหาร และราคาวัตถุดิบอาหารไก่เนื้ออายุ 22-42 วัน

		Fermented cassava pulp					
Ingredients	**Control**	**4%**	**8%**	**12%**	**16%**	**20%**	**ราคา**[1]
Corn	63.50	59.50	55.50	51.50	47.50	43.50	9
Soybean meal	15.65	15.33	14.97	14.61	14.22	13.80	18
Fish meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	39
Full-fat soybean	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	22
Cassava pulp	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00	20.00	6
Soybean oil	1.18	1.74	2.31	2.87	3.43	3.97	48
Cassava starch	1.25	0.98	0.73	0.51	0.29	0.13	10
Salt	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	10
Methionine	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	200
Lysine	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	90
Calcium carbonate	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6
Dicalcium phosphate	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5
Premix	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	133
ราคา (บาท/กิโลกรัม)	16.72	16.75	16.80	16.82	16.86	16.89	

หมายเหตุ: [1]ราคาวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัม) ณ เดือน พฤษภาคม 2554

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการศึกษา การหาวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ จากนั้นคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่พบว่าให้ผลต่อการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะดีที่สุดมาใช้หมักกากมันสำปะหลังเพื่อนำไปเลี้ยงไก่เนื้อ และศึกษาผลของกากมันสำปะหลังหมักต่อการย่อยได้ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ สรุปได้ว่า

5.1.1 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิดคือ *A. oryzae, S. cerevisiae* และ *C. utilis* โดยใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นต่างกัน 6 ระดับ คือ 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25% หมักกากมันสำปะหลังเป็นเวลาเป็นเวลา 7 วัน พบว่าการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อ *A. oryzae* โดยใช้ยูเรียที่ระดับ 0.75% หลังการหมักเป็นเวลา 4 วัน มีประสิทธิภาพในการเพิ่มโปรตีน และอะมิโนไนโตรเจนได้ดีกว่าการหมักด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* และ *C. utilis*

5.1.2 กากมันสำปะหลังหมักสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ถึงระดับ 16% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก สีเนื้อและค่าแอคติวิตีของเอนไซม์ AST และ ALT

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การนำมันกากมันสำปะหลังหมักไปใช้ในสูตรอาหารสัตว์อาจมีข้อจำกัดเนื่องจากกากมันสำปะหลังหมักมีลักษณะฟ่าม เบา และมีปริมาณเยื่อใยสูง ดังนั้นควรมีการอัดเม็ดอาหารก่อนนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ น่าจะช่วยเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตได้ดีกว่าให้สัตว์ได้รับอาหารผง

5.2.2 การหมักในขนาดใหญ่ ควรมีการออกแบบถังหมักที่มีใบกวนเพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์กระจายตัว และสามารถใช้กากมันสำปะหลัง และยูเรียได้อย่างทั่วถึง ซึ่งน่าจะทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้น

รายการอ้างอิง

กรกช ฮามสุโพธิ์, ทรงศักดิ์ วัฒนชัยสรีกุล และเพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. (2545). การใช้เอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในกากมันสำปะหลัง. **ว. วิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต.** 6(1): 39-46.

ไกรวุฒิ พ่วงเดช. (2550). ผลการบำบัดขั้นต้นด้วยเอนไซม์ต่อการย่อยสลายกากมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งแบบไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). **เทคโนโลยีของแป้ง.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กัลยานี วุฒิศรี, เพิ่มศักดิ์ ศิริวรรณ และบัวเรียม มณีวรรณ. (2551). ผลของการใช้มันสำปะหลังหมักเชื้อรา *Amylomyces rouxii* เสริมในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ. **การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 46**: (หน้า 31-38). สาขาสัตว์ และสัตวแพทยศาสตร์.

กฤติกา กาบพลอย. (2551). การศึกษาชนิดแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกในกากมันสำปะหลังหมัก และผลการใช้กากมันสำปะหลังหมักเป็นสารเสริมชีวนะสำหรับลูกสุกรหย่านม. วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณิต วิชิตพันธุ์, สุกานดา วนิชวัฒนา และพัฒนา เหล่าไพบูลย์. (2537). **การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากแป้งมันสำปะหลัง.** รายงานการวิจัย สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

จรัญ เจตนะจิตร และจรูญ คำนวณตา. (2530). การเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังโดยการหมัก II. หมักด้วยเชื้อรา *Aspergillus niger*, *Mucor* sp. W252 กับยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Candida* sp. โดยใช้ถังหมักแบบโคจิ. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 25**. (หน้า 219-224). สาขาวิทยาศาสตร์.

เชิดพงษ์ ธนารักษ์, สุจารี แก้วกัน, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, ทรงศักดิ์ วัฒนชัยเสรีกุล และปิยะมาศ สิริแสงสว่าง. (2546). ผลของอัตราการให้อากาศที่มีต่อการหมักเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* บนมันสำปะหลังในถังแพคเบด. **ว. วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**

ดวงใจ โอชัยกุล และพรรณวิภา แพงศรี. (2547). การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยเลี้ยงเชื้อผสม *Endomycopis fibuligera* TISTR 5097 และ *Candida utilis* TISTR 5046. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42**: (หน้า 241-247). สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม.

เดชา พิมพิสุทธิ์. (2550). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพเชิงเศรษฐนิเวศน์อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง. **ครบรอบ 30 ปีสมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย**.

ทวีศักดิ์ นิยมบัณฑิต, อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และสมเกียรติ ทองรักษ์. (2543). การใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงในอาหารไก่กระทง. **ว. สงขลานครินทร์** (ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 23(1): 27-35.

ธิดาพร สุดยิ่ง, อรประพันธ์ ส่งเสริม, เสกสม อาตมางกูร และยุวเรศ เรืองพานิช. (2552). ผลของการเสริม NSP-degrading enzymes ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47**. (หน้า158-65). สาขาสัตวศาสตร์.

นันทกร บุญเกิด, สุรีลักษณ์ รอดทอง และหนึ่ง เตียอำรุง. (2543). **การเปลี่ยนแป้งมันสำปะหลังโดยกระบวนการทางชีวภาพให้เป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนสูงเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ .**รายงานการวิจัย สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

นารีรัตน์ เจริญวัฒนสกุล, ยุวเรศ เรืองพานิช, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง และเสกสม อาตมางกูร. (2552). ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรเล็ก รุ่น และขุน ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47**. (หน้า148-155).สาขาสัตวศาสตร์.

นรินทร์ ทองวิทยา, นันทฤทธิ์ โชคถาวร และเผ่าพงษ์ ปูระณะพงษ์. (2543). **ผลของการใช้ยูเรียทดแทนโปรตีนในอาหารเป็ดเนื้อ**. รายงานผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ประภัสสร บุษหมั่น. (2543). **การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นอาหารคนและอาหารสัตว์.** รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ปรารถนา ปรารถนาดี, จิรชัย พุทธกุลสมศิริ, เจริญชัย โขมภักตราภรณ์ และชุมพล มณฑาทิพย์กุล. (2552). **การจัดโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในประเทศไทย**. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา.

ปรีดา คำศรี, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และณัฐชนก อมรเทวภัทร. (2552). ผลของระดับกากมันสำปะหลัง และรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อ. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47**. (หน้า 148-155). สาขาสัตว์.

ปิตุนาถ หนูเสน. (2547). การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ปัทมา ไวยบุญญา และวิโรจน์ ภัทรจินดา. (2551). ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักทดแทนแหล่งพลังงานต่อการย่อยได้ของสูตรอาหารโคนมในระบบ *in vitro*. (หน้า 251-255). **การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 4 เรื่องการรุกคืบของการผลิตพลังงานทดแทนต่อการผลิตปศุสัตว์.** มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และวิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2550). กากมันสำปะหลังกับการใช้ประโยชน์ในอาหารโคนม. **ว. เกษตรสุรนารี'50**. หน้า 43-50.

พัชรา บุพิ. (2550). การใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงในอาหารไก่เนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

พรเทพ ถนนแก้ว, คณิต วิชิตพันธุ์, พัฒนา เหล่าไพบูลย์ และไวกูณฐ์ ฤทธิรุฒม์. (2541). **การวิจัยและพัฒนาการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวไปเป็นอาหารสัตว์**. รายงานการวิจัย สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, ปรารถนา เก็จวลีวรรณ, พรรณเพ็ญ พัฒนพงษ์ไพบูลย์, สุพัตรา พรหมช่วย, วรรณวิสาข์ ตั้งอมร และสุภาภรณ์ พิศพันธ์. (2546). การศึกษาผลของอัตราการให้อากาศที่มีต่อปริมาณกลูโคซามีนในมันสำปะหลังหมัก. **การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมี และเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13**.

มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. (2551). **ผลสำรวจมันสำปะหลัง** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.tapiocathai.org/Mainpage.html

เยาวมาลย์ ค้าเจริญ. (2523). **คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ยุวเรศ เรืองพานิช, อรประพันธ์ ส่งเสริม, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง, ณัฐชนก อมรเทวภัทร, สุชาติ สงวนพันธุ์, อรทัย ไตรวุฒานนท์ และอรรถวุฒิ พลายบุญ. (2550). **การใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังในการนำมาเป็นอาหารสัตว์ปีก**. รายงานการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

รณชัย สิทธิไกรพงษ์ และอุทัย คันโธ. (2530). การใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงเป็นอาหารไก่ กระทง. **รายงานการประชุมวิชาการสาขาสัตว์ ครั้งที่ 25**. (หน้า 65-70). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วราพันธุ์ จินตณวิชญ์, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, ฤทัยชนก มากระนิตย์, สุกัญญา ศรีมงคลงาม และ ณัฐฐา วิวัฒน์วงศ์วนา . (2549). การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์กลุ่ม แลคติคแอซิคแบคทีเรีย และยีสต์ในระหว่างการหมักกากมันสำปะหลัง. **ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม**.

วริยา โกสุม, ยุวเรศ เรืองพานิช, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง และเสกสม อาตมางกูร. (2552). ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47.** (หน้า 125-131). สาขาสัตวศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2552). **สถิติการเกษตรของประเทศไทย.** [ออนไลด์]. ได้จาก: http://www.oae.go.th/download/ download_journal/ yearbook 2552. pdf .

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2554). **การนำเข้า-ส่งออก: แป้งมันสำปะหลัง** [ออนไลด์]. ได้จาก: http://www.oae.go.th/export_result.php.

สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย. (2554). **ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์.** [ออนไลด์]. ได้จาก: http://www.thaifeedmill.com/tabid/78/default.aspx.

สมใจ ศิริโภค. (2547). **จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม**. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินวิโรฒ.

สาโรช ค้าเจริญ. (2547). **อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวอื้อง**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สามารถ มูลอามาตย์, สุจิตรา แสนสาคร และปนัดดา วิชาอาด. (2545). การเพิ่มปริมาณโปรตีนของมันสำปะหลังโดยการหมักบนอาหารแข็ง. **ว. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น.** 29(1): 175-184.

สุกัญญา ทิมทอง. (2546). ผลของกากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถนะการผลิต และคุณภาพซากของสุกรรุ่น - ขุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุมณฑา วัฒนสินธุ์. (2545). **จุลชีววิทยาทางอาหาร** .ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ .

สุเมธ ไตรพฤกษชาติ, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และสุกัญญา รัตนทับทิมทอง. (2552). ผลของระดับกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47**. (หน้า 165-173). สาขาสัตว์.

สุนันทา วงศ์ปิยชน, ละม้ายมาศ ยังสุข และพูลศรี สว่างจิต. (2550). **การผลิตไวน์ข้าวจากเชื้อบริสุทธิ์ *Aspergillus oryzae* และ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ต่างๆ** .สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว.

สืบสกุล พึ่งตนเอง, อาภรณ์ วงษ์วิจารณ์ และศิววรรณ พูลพันธุ์. (2550). การเสริมเอนไซม์ช่วยย่อยในกากมันสำปะหลังโดยการหมักของเชื้อรา. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45**. (หน้า 525-534). สาขาวิทยาศาสตร์.

สินชัย พารักษา, กรองแก้ว บริสุทธิ์สวัสดิ์ และมาลิน เสสกุล. (2530). การใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงทดแทนปลายข้าวในอาหารลูกสุกร. **ว. เกษตรศาสตร์.**

สินชัย พารักษา และนวลจันทร์ แซ่โอ้ว. (2530). การใช้มันสำปะหลังเพิ่มโปรตีนจากเชื้อราและยีสต์ในอาหารสุกรรุ่น-ขุน. **ว. เกษตรศาสตร์.** 21: 25 - 32 .

เสริมศักดิ์ มานะเลิศสกุล และเพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. (2545). การผลิตอาหารสัตว์จากกากมันสำปะหลังและกากน้ำตาล โดยใช้เชื้อรา *Rhizopus oligosporus* และ *Rhizopus* sp. 26R. **การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12.**

เสกสม อาตมางกูร, ณัฐชนก อมรเทวภัทร, เนรมิตร สุขมณี, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง, ยุวเรศ เรืองพานิช, ทิพย์มนต์ ใยเกษ และวรรณี ชิงปรีชา. (2550). **การใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังในการนำมาเป็นอาหารสุกร**. รายงานการวิจัย จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

อนันตภัทร บุญยะกมล และวิชัย ลีลาวัชรมาศ. (2548). การใช้กากมันสำปะหลังผลิตโปรตีนเซลล์เดียวเพื่อใช้ผสมในอาหารสัตว์ .**ว. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย.** 19 (2): 41-50.

อุษณีย์ภรณ์ สร้อยเพ็ชร์, เทอดศักดิ์ คำเหม็ง, ฉลอง วชิราภากร และวิชัย ลีลาวัชรมาศ. (2550). การใช้มันสำปะหลังหมักแบบกึ่งแห้งด้วยเชื้อรา *Aspergillus niger* เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในสูตรอาหารเป็ดเนื้อ. **การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น .

อุทัย คันโธ. (2529). **อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกร และสัตว์ปีก**. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุทัย คันโธ. (2546). **การผลิตมันเส้นคุณภาพดีเกรดอาหารสัตว์**. สมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.

อุทัย คันโธ, ชินะทัตร์ นาคะสิงห์, นาม ศิริเสถียร และกฤษ์ มงคลปัญญา. (2532). การศึกษาการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังหมักแลคโตบาซิลลัสโปรตีนสูงในสุกรหย่านม. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 27**. (หน้า 199-206). สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ ประมง.

อโณชา เลาศรีรัตนชัย และอุทัย คันโธ. (2530). การใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงเป็นอาหารสุกรระยะรุ่น-ขุน. นม. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 25**. (หน้า 59-64). สาขาสัตว์.

A. O. A. C. (1990). **Official Methods of Analysis of the Association of Offcial Analytical Chemist.** 15th ed. A. O. A. C., Washington, D. C.

Abu, E. A., Ado, S. A., and James, D. B. (2005). Raw starch degrading amylase production by mixed culture of *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae* growth on sorghum pomace. **Afr. J. Biotechnol**. 4: 785-790.

Adamafio, N. A., Sakyiamah, M., and Tettey, J. (2010). Fermentation in cassava (*Manihot esculenta Crantz*) pulp juice improves nutritive value of cassava peel. **Afr. J. Biochemis. Res**. 4(3): 51-56.

Aderemi, F. A., and Nworgu, F. C. (2007). Nutritionnal status of cassava peels and root sieviate biodegraded with *Aspergillus niger*. **J. Agric. & Environ. Sci**. 2(3): 308-311.

Azoulay, E., Jouanneau, F., Bertrand, J. C., Raphael, A., Janssens, J., and Lebeault, J. M. (1980). Fermentation methods for protein enrichment of cassava and corn with *Candida tropicalis*. **Appl. Environ. Microbiol.** 39: 41-47.

Belewu, M.A., and Babalola, F. T. (2009). Nutrient enrichment of waste agricultural residues after solid state fermentation using Rhizopus oligosporus. **J Appl Biosci**. 13: 695-699.

Begum, F., Absar, N., and Shah Alam, M. (2009). Purification and characterization of extracellular cellulose from *A. oryzae* ITCC-4857.01. **J. Appl. Sci. Res.** 5(10): 1645-1651.

Carlsen, M., and Nielsen, J. (2001). Influence of carbon source on α – amylase production by *Aspergillus oryzae*. **Appl. Microbiol. Biotechnol**. 57: 346-349.

Chutmanop, J., Chuichulcherm, S., Chisti, Y., and Srinophakun, P. (2008). Protease production by *Aspergillus oryzae* in solid - state fermentation using agroindustrial substrates. **J Chem Technol Biotechnol**. 83: 1012- 1018.

Coles, B. H. (2007). **Essentials of avian medicine and surgery**. Blackwell Plublication. Oxford.

Cooke, R. D. (1978). An enzymatic assay for the total cyanide content of cassava (Manihot esculenta Crantz.). **J. Sci. Food Agric**. 29: 345.

Ezekiel, O. O., Awort, C. O., Blaschek, H. P., and Thaddeus, C. E. (2010). Protein enrichment of cassava peel by submerged fermentation with *Trichoderma viride* (ATCC 36316). **Afr. J. Biotechnol**. 9(2): 187-194.

Francis, F., Sabu, A., Nampoothiri, K. M., Szakacs, G., and Pandey, A. (2002). Synthesis of α-amylase by *Aspergillus oryzae* in solid-state fermentation**. J. Basic Microbiol**. 42: 320-326.

Gilbert, M., Xiao, X., Chaitaweesub, P., Kalpravidh, W., Premashthira, S., Boles, S., and Slingenbergh, J. (2007). Avian influenza, domestic ducks and rice agriculture in Thailand. **Agriculture Ecosystems & Envirronment**.

Iyayi, E. A., and Losel, D.M. (2000). Cyanide detoxification in cassava by products by fungal state fermentation. **J. food Tech**. 5(2): 48-51.

Jorgensen, H., Zhao, X. Q., Knuden, K. E. B., and Eggum, B. O. (1996). The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. **Br. J. Nutr.** 75: 379-395.

Khempaka, S., Molee, M., and Guillaume, M. (2009). Dried cassava pulp as an alternative feedstuff for broiler: effect on growth performance, carcass traits, digestive organs, and nutrient digestibility. **J. Appl. Poult**. **Res.**18: 487-493.

King, J. (1965). **Practical clinical enzymology**. D. Van Nostrand Co., Ltd., London.

Lui, X., Feng, J., Xu, Z., Lu, Y., and Liu, Y. (2007). The effect of fermented soybean meal on growth performance and immune characteristics in weaned piglets. **Turkish J. Veteri Anim Sci.** 31(5): 341-345.

Miller, G.L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical. Chemistry**. 31(3): 426-428.

National Research Council. (1994). **Nutrient Requirements of Poultry**. 9th ed. National Academ y Press, Washington, DC.

Obadina, A. O., Oyewole, O. B., Sanni, L. O., and Abiola, S. S. (2006). Fungal enrichment of cassava peels proteins. **Afr. J. Biotechnol.** 5: 302-304.

Oboh, G., Akindahunsi, A. A., and Oshodi, A. A. (2002). Nutrient and anti – nutrient contents of *Aspergillus niger* – fermented cassava products (flour and gari). **J Food Compos Anal.** 15: 617-622.

Oboh, G., and Akindahunsi, A. A. (2003). Biochemical changes in cassava products (flour and gari) subjected to *Saccharomyces cerevisae* solid media fermentation. **Food Chemistry.** 82: 599-602.

Oboh, G., and Akindahunsi, A. A. (2005). Nutritional and toxicological evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* fermented cassava flour. **J Food Compost Anal**. 18: 731-738.

Oboh, G. (2006). Nutrient enrichment of cassava peels using a mixed culture of *Saccharomyces cerevisae* and *Lactobacillus spp* solid media fermentation techniques. **Electronic J Biotechnol.** 9: 46-49.

Oboh, G., and Elusiyan, C. A. (2007). Changes in the nutrient and anti- nutrient content of micro-fungi fermented cassava flour produced from low-and medium- cyanide variety of cassava tubers. **Afr. J. Biotechnol.** 6(18): 2150-2157.

Pandey A., Soccol, C. R., Nigam, P., Soccol, V. T., Vandenberghe, L. P.S., and Mohan R. (2000). Biotechnological potential of agro-industrial residues II: cassava bagasse. **Bioresour. Technol.** (74). 81-87.

Pacheco Chavez R. A. , Tavares , L. C., Teixeira, A. C. S. C. , Carvalho, J. C. M. , Converti, A., and Sato, S. (2004). Influence of the nitrogen source on the productions of α-amylase and glucoamylase by a new *Trichoderma sp*. from soluble starch. **Chem. Biochem. Eng. Q**. 18 (4): 403-407.

Pacheco Chavez R. A. , Carvalho, J. C. M. , Converti, A., Perego, P., Tavares , L. C., and Sato, S. (2004). Production of α – amylase and glucoamylase from different starches by a new *Tricoderma sp*. Isolate. **Ann. Microbiol.** 54: 169-180.

Pothiraj C, Balaji P, and Eyini, M. (2006). Enhanced production of cellulases by various fungal cultures in solid state fermentation of cassava waste. **Afr. J. Biotechnol**. 5(20): 1882-1885.

Reade, A.E. and Gregory, K.F. (1975). High-temperature production of protein-enriched feed from cassava by fungi. **J. Appl. Microbiol**. 30: 897-894.

Ronald, R. M. (2004). Enzyme enhancement of the nutrition value of cereals: role of viscous, water-soluble, non starch polysaccharide in chick performance. **Enzyme in Poultry and Swine Nutrition**.

Royal Society of Chemistry. (2004). **Carbohydrates**. (cited 18 August 2008): Available from : URL http://www.rsc.org/Education/Teachers/Resources/cfb/carbohydrates.html.

SAS. (1996). **SAS Procedures Guide, Release 6.3 Edition**. SAS Institute Inc., Cary, NC: 441p.

Sibbald, I. R. (1976). A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. **Poult. Sci.** 55: 303-308.

Sandhya, C., Sumantha, A., Szakacs, G., and Pandey, A. (2005). Comparative evaluation of neutral protease production by Aspergillus oryzae in submerged and solid-state fermentation. **Process Biochemistry**.

Sirilaophaisan, S., Khajarern, J., and Tengjarernkul, B. (2010). Effects of dietary melamine or urea-formaldehyde or their mixtures on performance, carcass quality, melamine residues and microscopic changes in broiler tissues. **Thai J. Vet. Med**. 40(4): 367-375.

Sivaramakrishnan, S., Gangadharan, D., Madhavan Nampoothiri, K., Soccol, C.R., and Pandey, A. (2007). Alpha amylase production by *Aspergillus oryzae* employing solid-state fermentation. **J. Sci Ind Res**. 66: 621-626.

Suksombat, W., Lounglawan, P., and Noosen, P. (2006). Energy and protein evaluation of five feedstuffs used in diet in which cassava pulp as main energy source for lactating dairy cows. **Suranaree J. Sci. Technol**. 14: 99-107

Sriroth, K., Santisopasri, V., Petchalanuwat, C., Kurotjanawong, K., and Oates, C.G. (1999). Cassava starch granule structure-function properties: Influence of time and conditions at harvest on four cultivars of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**. 38(2): 161-170.

Sriroth, K., Chollakup, R., Chotineeranat, S., Piyachomkwan K., and Oates, C. G. (2000). Processing of cassava waste for improve biomass utilization. **Bioresour. Technol.** 71: 63-69.

Thai Industrial Standard Office. (1983). **Indigeneous fish source**s. (TISO3). Bangkok: Ministry of Industrial.

Thrall, M. A., Terry, W. C., and Baker, D. (2004). **Veterinary heamatology and clinical chemistry**. Lippincott Wiliams & Wilkins, Philadephia.

Zamora, R. G., and Veum, T. L. (1979). Whole soybeans fermented with *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oligosporus* for growing pigs. **J. Anim. Sci.** 48: 63-68.

Zambare, V. (2010). Solid state fermentation of *Aspergillus oryzae* for glucoamylase produ on agro residues**. Int J Life Sci.** 4: 16-25.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การปฏิบัติทางห้องปฏิบัติการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ตามวิธีการของ Miller (1959)

การเตรียมสารเคมี

1. ชั่งสารละลาย 3, 5 dinitrosalicylic acid จำนวน 5 กรัม
2. ละลายในน้ำกลั่น จำนวน 708 มิลลิลิตร
3. เติม sodium hydroxide จำนวน 9.5 กรัม ละลายสารทั้งหมดให้เข้ากัน
4. เติม potassium sodium tartate จำนวน 153 กรัม
5. เติม phenol (หลอมเหลวที่ 50°C) จำนวน 3.8 กรัม
6. เติม sodium metabisulfite จำนวน 4.15 กรัม ละลายสารทั้งหมดให้เข้ากัน

เก็บสารละลาย DNS ที่ได้ในขวดสีชา

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. เติมสารละลาย DNS ปริมาตร 3 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง
2. สารละลายตัวอย่าง (ที่ผ่านการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบ เป็นเวลา 15 นาที และแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกแล้ว) ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง
2. นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที
3. ทำให้เย็นโดยการแช่ในอ่างน้ำแข็ง
4. เติมน้ำกลั่นลงไปปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร
6. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตราฐานกลูโคส

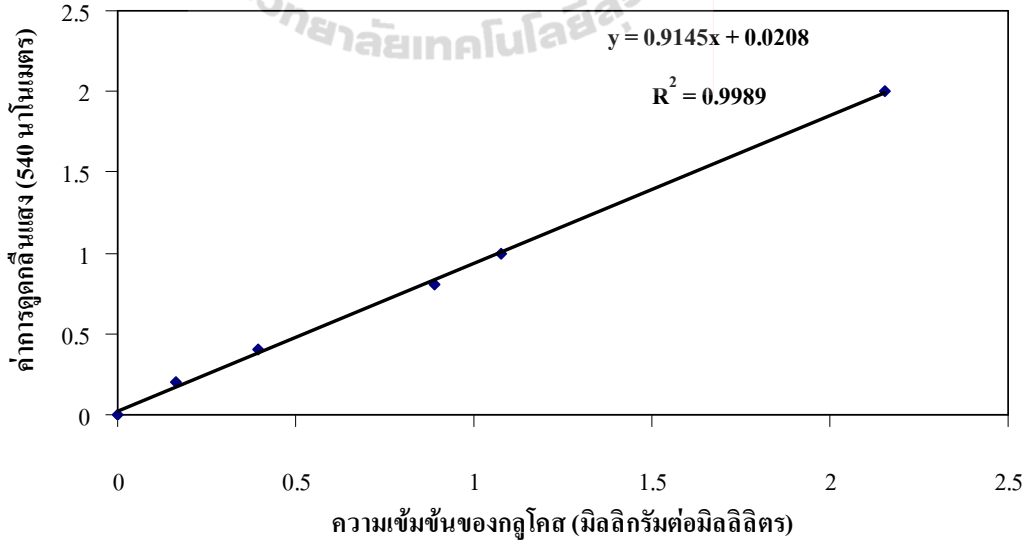
การเตรียมกราฟมาตรฐานกลูโคส

1. เตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐาน เตรียมโดยชั่งกลูโคส 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรสุดท้ายปีน 100 มิลลิลิตร
2. ดูดสารละลายกลูโคสจากข้อ 1 มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในปริมาตร 1 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลาย DNS ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
4. ต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที
5. ทำให้เย็นโดยการแช่ในอ่างน้ำแข็ง

6. เติมน้ำกลั่นลงไปปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
7. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร
8. อ่านค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายาตรฐานกลูโคสที่ได้ และสร้างกราฟมาตรฐานกลูโคส

ตารางที่ ก.1 แสดงกราฟมาตราฐานน้ำตาลกลูโคส

ความเข้มข้นกลูโคส (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	**ค่าการดูดกลืนแสง (OD_{540})**
0	0
0.2	0.163
0.4	0.395
0.8	0.888
1.0	1.076
2.0	2.153



ภาพที่ ก.1 กราฟมาตราฐานน้ำตาลกลูโคส

2. การวิเคราะห์ไนโตรเจนจากกรดอะมิโน TISO (1983)

ไนโตรเจนจากกรดอะมิโน คือ ผลต่างคิดเป็นกรัมระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ไนโตรเจน (formaldehyde nitrogen) กับแอมโมเนียไนโตรเจน

2.1 ฟอร์มัลดีไฮด์ไนโตรเจน

เครื่องมือ

เครื่องวัดพีเอช

สารละลายที่ใช้

1. สารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
2. สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ 35% ที่มีความเป็นกรดด่างเท่ากับ 9 โดยการปรับความเป็นกรดด่างด้วยสารละลาย sodium hydroxide

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างจำนวน 5 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. ปรับค่าความเป็นกรดด่างให้เท่ากับ 7 โดยการปรับความเป็นกรดด่างด้วยสารละลาย sodium hydroxide
3. เติมสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
4. ไตรเตรตด้วยสารละลาย sodium hydroxide จนได้ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 9

วิธีการคำนวณ

คำนวณค่าฟอร์มัลดีไฮด์ไนโตรเจนได้จากสูตรดังนี้

$$X = 14YM$$

เมื่อ X คือ ปริมาณของฟอร์มัลดีไฮด์ไนโตรเจน ในตัวอย่าง (กรัม)

Y คือ ปริมาตรของสารละลาย sodium hydroxide ที่ใช้ในการไตรเตรต (มิลลิลิตร)

M คือ ความเข้มข้นของสารละลาย sodium hydroxide เป็นนอร์มอล

2.2 แอมโมเนียคัลไนโตรเจน

สารละลายที่ใช้

1. แมกนีเซียมออกไซด์
2. กรดบอริก 4%
3. สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
4. เมทิลเรด – โบโมครีซอลกรีนอินดิเคเตอร์

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่าง 0.5 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด Kjeldahl
2. เติมแมกนีเซียมออกไซด์ 1.5 กรัม
3. หยดเมทิลเรด-โบโมครีซอลกรีนอินดิเคเตอร์ 3-5 หยด
4. นำไปกลั่นโดยใช้เครื่องกลั่นหาไนโตรเจน และใช้กรดบอริกเป็นตัวจับแอมโมเนีย ที่ปลายเครื่องควบแน่น
5. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นมาไตเตรตด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

วิธีการคำนวณ

คำนวณหาแอมโมเนียคัลไนโตรเจนได้จากสูตรดังนี้

$$X = 5.6YM$$

เมื่อ X คือ ปริมาณแอมโมเนียคัลไนโตรเจนในตัวอย่าง (กรัม)

Y คือ ปริมาตรของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต

M คือ ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคลอริกเป็นนอร์มอล

4. การนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ (Microbial Population Count)

4.1 การตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์โดยวิธีการนับจำนวนรวม (total or direct count)

เป็นการนับจำนวนเซลล์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ และใช้ haemacytometer ที่มีลักษณะเป็นแผ่นสไลด์แบ่งช่องไว้แน่นอน และมีขอบยกสูงจากบริเวณขีดเมื่อปิดด้วยกระจกสไลด์ขอบนี้จะรองรับกระจกปิดสไลด์ไว้ทำให้เกิดระยะห่างจากกระจกสไลด์ในบริเวณที่ขีดคิดเป็นความลึกได้ 0.1 มิลลิลิตร ขีดแบ่งประกอบด้วยช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสใหญ่ 25 ช่อง แต่ละช่องมีขนาด 0.2 x 0.2 ตารางมิลลิลิตร ในแต่ละช่องใหญ่นี้มีขีดแบ่งเป็นช่องเล็กอีก 16 ช่อง แต่ละช่องมีขนาด 0.05 x 0.05 ตารางมิลลิลิตร ดังนั้นของเหลวที่บรรจุอยู่ในแต่ละช่องเล็กจะมีปริมาตร 0.00025 x (0.05 x 0.05 x 0.1) ลูกบาศก์มิลลิลิตร เครื่องมือนี้จะมีกระจกปิดสไลด์ที่มีขนาด และความหนาเฉพาะไม่ควรใช้กระจกปิดสไลด์อื่นแทน เนื่องจากน้ำหนักของกระจกจะมีผลทำให้ปริมาตรภายในช่องระหว่างสไลด์กับกระจกผิดไปได้ การนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ควรเจือจางจุลินทรีย์ด้วย 0.85% NaCl (normal saline) ให้อยู่ในระดับที่สามารถตรวจนับในแต่ละช่องใหญ่ได้ในระหว่าง 10-50 เซลล์ การนับด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือสามารถทราบจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถสังเกตุลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ได้ ข้อเสียคือเป็นการตรวจนับจำนวนเซลล์จุลินทรีย์ทั้งเซลล์ที่มีชีวิตและเซลล์ที่ตายแล้ว

วิธีการ

1. ล้าง haemacytometer ให้สะอาด เช็ดให้แห้ง
2. ปิดทับด้วยกระจกปิดสไลด์
3. ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์ที่เจือจางแล้วหยดลงบน haemacytometer บริเวณช่องระหว่างสไลด์และกระจกปิดสไลด์
4. นับจำนวนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยใช้กำลังขยาย 40 เท่า
5. นับจำนวนจุลินทรีย์ในสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ใหญ่ไม่น้อยกว่า 5 ช่อง (บริเวณหัวมุม 4 ช่อง และตรงกลาง 1 ช่อง)

การคำนวณ

รวมจำนวนจุลินทรีย์ที่นับจากแต่ละช่องใหญ่จะได้ X เซลล์ต่อช่อง

คำนวณจุลินทรีย์ต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ได้ดังนี้

การตรวจนับจาก 5 ช่องใหญ่ (มี 16 ช่องเล็กภายใน)

ตัวอย่าง ที่ปริมาตร 1/5 มิลลิลิตร (กว้าง) x 1/5 มิลลิลิตร (ยาว) x 1/10 มิลลิลิตร (สูง) x 5 (ช่อง) ลูกบาศก์มิลลิลิตร มีจุลินทรีย์ = X เซลล์

= X x 5 x (10^4) x dilution factor (ค่าที่เจือจางเชื้อ) เซลล์ต่อมิลลิลิตร

4.2 การนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่เพาะบนจานอาหาร (plate count) เป็นการนับจำนวนเซลล์จุลินทรีย์ที่เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้วิธี spread plate ในการนับเซลล์จุลินทรีย์ด้วยวิธีนี้ จำนวนโคโลนีที่เจริญบนจานอาหารต้องมีจำนวนไม่มากหรือน้อยเกินไป โดยทั่วไปจะนับเฉพาะจานอาหารที่มีจำนวนเซลล์ระหว่าง 30-300 เซลล์เท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้จำนวนโคโลนีที่เจริญบนจานอาหารอยู่ในช่วงดังกล่าว ควรทำการเจือจางเชื้อเริ่มต้นหลายๆครั้ง โดยทั่วไปทำเป็นลำดับลำดับละ 10 เท่า (serial dilution) แล้วทำการเพาะเชื้อจุลินทรีย์ที่แต่ละระดับการเจือจางลงบนจานอาหาร เมื่อเชื้อจุลินทรีย์เจริญบนจานอาหารแล้วนับจำนวนจุลินทรีย์ และทำการคำนวณหาจุลินทรีย์ต่อกรัม ส่วนการรายงานผลมักรายงานเป็น colony forming unit (CFU) การนับจำนวนด้วยวิธี plate count จึงเป็นการนับจำนวนเซลล์จุลินทรีย์ที่มีชีวิต

วิธีการ

1. ปิเปตเชื้อจุลินทรีย์จำนวน 0.1 มิลลิลิตร หยดลงบนจานเพาะเลี้ยงที่เทอาหารทิ้งไว้จนแข็ง

2. เชื้อจุลินทรีย์จะถูกแผ่กระจายทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นใช้แท่งแก้วรูปตัว L ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว (spreader) เกลี่ยเชื้อให้ทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (cfu/ml) = [(จำนวนโคโลนีที่นับได้ x ระดับความเจือจาง)] x (1/ปริมาณตัวอย่าง)

5. การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับใช้ในการทดลองจะใช้อาหารสำเร็จรูป โดยเตรียมอาหารตามรายละเอียดที่ระบุไว้ข้างขวด และตามความเหมาะสมของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิด ได้แก่

1. อาหารสำหรับเชื้อรา *Aspergillus oryzae* จะใช้อาหารสำเร็จรูป Potato Dextrose Broth (PDB) สามารถเตรียมได้โดยการชั่งอาหารจำนวน 24 กรัมในน้ำกลั่น 1 ลิตร

2. อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* และเชื้อยีสต์ *Candida utilis* จะใช้อาหารสำเร็จรูป Yeast Malt Broth (YMB) สามารถเตรียมได้โดยการชั่งอาหารจำนวน 21 กรัมในน้ำกลั่น 1 ลิตร

วัสดุและอุปกรณ์

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ
2. ฟลาสค์ที่ใช้บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ
3. จานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว
4. หลอดเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์
5. หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave)
6. น้ำกลั่น

ชนิดของอาหารเลี้ยงเชื้อสามารถเตรียมได้ในลักษณะอาหารเหลว (liquid medium) และอาหารแข็ง (solid medium) โดยมีวิธีการเตรียมแต่ละลักษณะคือ

1. การเตรียมอาหารเหลว

เตรียมฟลาสค์เพื่อใช้ในการบรรจุอาหาร โดยการล้างแล้วคว่ำให้แห้ง จากนั้นชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อที่ต้องการ ในน้ำ 1 ลิตร ใส่ในฟลาสค์จากนั้นให้ปิดฝา เพื่อป้องกันการปนเปื้อน เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อ และทิ้งไว้ให้เย็นแล้วสามารถนำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อได้

2. การเตรียมอาหารแข็ง

เตรียมฟลาสค์เพื่อใช้ในการบรรจุอาหาร โดยการล้างแล้วคว่ำให้แห้ง จากนั้นชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อที่ต้องการในน้ำ 1 ลิตร และเติมวุ้น (agar) 1.5% จึงทำให้อาหารแข็ง สามารถเตรียมได้หลายแบบ คือ

2.1 จานอาหารแข็ง (agar plate) เป็นอาหารแข็งที่เตรียมในจานอาหาร (petri dish) เตรียมได้จากเมื่อนำอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วนำออกมาจากหม้อนึ่ง ทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 30 นาที จากนั้นเทลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (plate) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้อาหารแข็งตัว นำไปใช้ในการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งจะใช้ในการศึกษาลักษณะหรือในการนับจำนวนโคโลนี

2.2 หลอดอาหารแข็ง (agar tube) เป็นอาหารแข็งที่เตรียมในหลอดเพาะเลี้ยงที่มีผิวหน้าเอียงลาด เรียกว่า slant agar เตรียมได้โดยนำหลอดฝาเกลียวที่ล้างทำความสะอาดแล้ว จากนั้นเทอาหารแข็งที่เตรียมแล้วก่อนการนำไปนึ่งฆ่าเชื้อประมาณ 1/4 ของหลอด ระวังอย่าให้มีอาหารเปื้อนปากหลอด ปิดฝาหลอดให้สนิทแล้วคลายเกลียวออกครึ่งรอบ จากนั้นนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ เมื่อครบเวลาให้นำอาหารออกมาจากหม้อนึ่ง ทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 15 นาที ให้นำขวดอาหารไปวางเอียงทำมุมพื้นราบตามความเหมาะสม เมื่ออาหารเอียงแข็งแล้วให้ปิดฝาเกลียวให้สนิท เพื่อป้องกันการปนเปื้อน หลังจากอาหารเอียงเย็นแล้วสามารถนำไปทำการเลี้ยงเชื้อได้ จะใช้ในการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ และใช้เป็นกล้าเชื้อจุลินทรีย์ในการทำหัวเชื้อ

6. การกำจัดเชื้อ (sterilization)

เป็นการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนมาในอาหารเลี้ยงเชื้อหรืออุปกรณ์ที่ใช้กับเชื้อจุลินทรีย์ โดยการใช้หม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที

7. การเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

การเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์จะใช้ในการเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ หรือใช้ในการต่ออายุของเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการศึกษาเพื่อเก็บเชื้อเป็น stock culture

วัสดุและอุปกรณ์

1. อาหารแข็งที่บรรจุในหลอดอาหารแข็งที่มีผิวหน้าเอียงลาด
2. ลวดเขี่ยเชื้อ (loop)
3. ตะเกียงแอลกอฮอล์
4. ตู้เขี่ยเชื้อ (laminar air flow)
5. ตู้บ่มเชื้อ (incubator)

วิธีการ

การเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์จะปฏิบัติในตู้เขี่ยเชื้อเพื่อป้องกันการปนเปื้อน โดยมีวิธีการดังนี้

1. เขียน (label) ข้อมูลของการทดลอง เช่น ชื่อการทดลอง วันที่ขยายเชื้อ ชนิดของเชื้อ
2. ลนไฟลวดเขี่ยเชื้อจนลวดร้อนแดงตลอดอัน จากนั้นปล่อยให้เย็น (ประมาณ 10 วินาที) โดยห้ามวางลวดเขี่ยเชื้อบนพื้น
3. ใช้ลวดเขี่ยเชื้อแตะเชื้อจุลินทรีย์จาก stock culture มาขีดลากบนผิวหน้าอาหารเอียงจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง โดยเริ่มจากส่วนล่างของหลอดอาหารเอียง ขึ้นมาด้านบน (โดยพยายามปฏิบัติให้ใกล้เปลวไฟ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อในอากาศ)
4. นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อ

8. การเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์

การเก็บรักษาจุลินทรีย์มีวัตถุประสงค์ เพื่อรักษาจุลินทรีย์ให้มีชีวิตรอดได้นาน โดยยังมีความบริสุทธิ์ และไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรม วิธีการเก็บรักษาจุลินทรีย์มีหลายวิธี แต่มีหลักการสำคัญ คือ การหยุดหรือลดการเจริญเติบโตของเชื้อโดยควบคุมปัจจัยที่จำเป็นในการเจริญ เช่น การจำกัด อากาศ อุณหภูมิ สารอาหาร และน้ำ การเก็บรักษาจุลินทรีย์แต่ละวิธีต้องทำให้เชื้อยังมีชีวิตรอดอยู่มากที่สุด คงลักษณะเดิมมากที่สุด และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรม ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการต่อเชื้อ (subculture) เพื่อเป็นการต่ออายุในการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการหมักกากมันสำปะหลัง

วัสดุและอุปกรณ์

1. อาหารแข็งที่บรรจุในหลอดอาหารแข็งที่มีผิวหน้าเอียงลาด
2. ลวดเขี่ยเชื้อ (loop)
3. ตะเกียงแอลกอฮอล์
4. ตู้เขี่ยเชื้อ (laminar air flow)
5. ตู้บ่มเชื้อ (incubator)

ขั้นตอนการต่อเชื้อ

การต่อเชื้อทำได้ในสภาพที่ปลอดเชื้อโดยการเขี่ยเชื้อจุลินทรีย์จาก stock culture แล้วนำไป steak บนอาหารวุ้นเอียงที่เตรียมไว้ โดยเชื้อราจะใช้อาหาร PDA จากนั้นนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 3 วัน เชื้อราจะเจริญเติบโตมองเห็นเป็นสีเหลือง และจะเจริญต่อไปจนเห็นเป็นสีเขียว แล้วจึงนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ส่วนเชื้อยีสต์จะใช้อาหาร YMA จากนั้นนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นจึงนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C

9. การตรวจวัดค่าทางชีวเคมีของโลหิตในไก่เนื้อ

การตรวจวิเคราะห์ระดับ glutamate oxaloacetate transaminase (GOT)

glutamate oxaloacetate transaminase (GOT) หรือ aspatate aminotransferase (AST) เป็นเอนไซม์ที่พบมากในเซลล์ตับ และเซลล์กล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังพบในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจด้วย การตรวจวัดแอคติวิตีของเอนไซม์ GOT ในเลือดสามารถบ่งบอกความเสียหายของตับได้

หลักการตรวจวัด

α- ketoglutarate และ alanine sulphinate ในแถบน้ำยาจะถูกเปลี่ยนเป็น pyruvate และ glutamate โดยเอนไซม์ GOT ในซีรัม pyruvate ที่เกิดขึ้นจะถูกย่อยต่อโดยเอนไซม์ pyruvate oxidase ในแถบน้ำยา

α- ketoglutarate + alanine sulphinate $\xrightarrow{\text{GOT}}$ pyruvate + glutamate

pyruvate + PO_4^{3-} + H_2O + O_2 $\xrightarrow{\text{PyOD}}$ acetyl phosphate + CO_2 + H_2O_2

H_2O_2 + indicator (colorless) $\xrightarrow{\text{POD}}$ indicator (blue) + H_2O_2

ภาพที่ ก. 2 ปฏิกิริยาการตรวจวัด GOT

การตรวจวิเคราะห์ glutamate pyruvate transminase (GPT)

glutamate pyruvate transminase (GPT) หรือ alanine aminotransferase (ALT) เป็นเอนไซม์ที่พบมากในซัยโตพลาสซึมของเซลล์ตับ ซึ่งแตกต่างจาก GOT ที่พบทั้งในส่วนซัยโตพลาสซึม และไมโตคอนเดรียของเซลล์ตับ ดังนั้นการตรวจวัดแอคติวิตี้ของเอนไซม์ GPT และ GOT ในเลือดจึงสามารถบ่งบอกความผิดปกติของตับได้

หลักการตรวจวัด

$$\alpha\text{- ketoglutarate + alanine} \xrightarrow{\text{GPT}} \text{pyruvate + glutamate}$$

$$\text{pyruvate + } PO_4^{3-} + O_2 + H_2O \xrightarrow{\text{PyOD}} \text{acetyl phosphate + } CO_2 + H_2O_2$$

$$H_2O_2 + \text{indicator (colorless)} \xrightarrow{\text{POD}} \text{indicator (blue)} + H_2O_2$$

ภาพที่ ก. 3 ปฏิกิริยาการตรวจวัด GPT

ขั้นตอนการตรวจวัด

1. ใช้ไมโครไปเปตดูดตัวอย่างซีรัมปริมาตร 32 ไมโครลิตร แล้วปล่อยลงบนแถบน้ำยาแห้งบริเวณแผ่นกรองสีแดง แล้วทิ้งไว้ประมาณ 10 วินาที เพื่อให้ซีรั่มถูกดูดซึม
2. เปิดฝาเครื่องส่วน measuring chamber โดยเลื่อนฝาขึ้นด้านบน แล้วใส่แถบน้ำยาแห้งที่หยดซีรัมแล้วเข้าไปในเครื่องให้เหมาะสมแล้วจึงเลื่อนฝาปิดลง
3. จากนั้นเครื่องจะแสดงเวลาในการตรวจวัดเป็นวินาที เมื่อครบเวลาการตรวจวัดเสร็จสมบูรณ์เครื่องจะรายงานผลการตรวจวัดบนหน้าจอเครื่อง

10. การวิเคราะห์พลังงานใช้ประโยชน์จริงของวัตถุดิบอาหารสัตว์ (True metabolizable energy) (Sibbald, 1976)

วิธีการคำนวณ

$$TME\ (kcal/g) = [(G.E._f \times X)-(Y_{ef}-Y_{ec})]/\ X$$

โดย $G.E._f$ = ค่าพลังงาน Gross energy ของวัตถุดิบอาหาร (kcal/g.)

Y_{ef} = ค่าพลังงาน Gross energy ของมูลในไก่ที่ได้รับการ Force feeding

Y_{ec} = ค่าพลังงาน Gross energy ของมูลในไก่ที่ไม่ได้รับการ Force feeding

X = น้ำหนักวัตถุดิบอาหารที่ใช้ Force feeding

ภาคผนวก ข.

แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โปรตีน และไนโตรเจนจากกรดอะมิโน

ตารางที่ ข.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ของกากมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อ *C. utilis, A. oryzae* และ *S. cerevisiae* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ 0-1.25% และหมักเป็นเวลา 7 วัน

	Fermentation period (days)							
Urea level	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
	Candida utilis							
0	13.97	15.34	15.10	17.92	13.86	18.61	24.19	20.76
0.25%	17.47	12.64	14.32	18.74	16.32	23.64	73.59	48.91
0.5%	42.64	14.69	16.01	21.67	17.49	25.05	41.30	35.53
0.75%	18.61	15.05	13.47	21.98	16.72	20.20	22.68	17.86
1.0%	11.50	16.94	15.81	18.23	13.98	25.92	21.47	18.61
1.25%	17.15	15.97	15.89	19.59	12.35	17.57	20.39	20.82
	Aspergillus oryzae							
0	13.97	23.87	21.51	168.22	121.22	134.56	173.70	200.99
0.25%	17.47	23.80	151.89	418.88	209.28	241.64	216.33	310.11
0.5%	42.64	21.69	68.72	269.75	227.89	177.35	186.98	280.74
0.75%	18.61	31.37	59.94	197.73	153.07	240.28	170.63	265.39
1.0%	11.50	32.07	68.21	162.48	150.74	173.24	203.18	122.63
1.25%	17.15	21.44	27.11	94.66	66.27	82.14	76.06	87.01
	Saccharomyces cerevisiae							
0	5.42	3.75	3.26	3.30	3.00	4.32	4.72	10.44
0.25%	8.36	4.27	3.16	10.31	20.38	18.00	21.63	18.81
0.5%	7.04	4.38	3.60	4.75	20.97	30.38	51.92	19.92
0.75%	5.39	3.55	3.34	3.47	3.62	18.08	10.42	16.79
1.0%	5.78	3.05	3.38	7.73	3.28	7.35	18.91	20.91
1.25%	6.63	3.03	3.12	6.03	25.75	31.80	20.83	26.09

ตารางที่ ข.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนของกากมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อ *C. utilis, A. oryzae* และ *S. cerevisiae* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ 0-1.25% และหมักเป็นเวลา 7 วัน

	Fermentation period (days)							
Urea level	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
	Candida utilis							
0	2.59	2.40	3.96	3.65	3.52	1.89	4.11	3.16
0.25%	6.53	5.83	5.44	6.16	8.45	5.99	8.32	6.34
0.5%	8.82	9.55	10.59	8.02	10.75	8.94	10.45	8.38
0.75%	11.72	12.57	12.03	13.78	11.16	10.68	12.78	12.49
1.0%	11.47	13.29	13.25	13.33	14.16	12.80	13.63	14.86
1.25%	17.64	18.26	19.18	16.52	17.88	16.82	16.86	15.44
	Aspergillus oryzae							
0	2.59	4.30	5.01	3.71	4.66	4.89	4.08	3.41
0.25%	6.53	5.72	6.63	9.74	10.18	7.47	9.54	6.96
0.5%	8.82	10.86	12.08	13.65	14.51	13.13	12.00	10.72
0.75%	11.72	11.01	12.37	14.61	17.40	13.92	14.90	14.28
1.0%	11.47	14.44	14.53	15.24	15.69	17.00	16.37	14.00
1.25%	17.64	18.11	17.95	15.48	15.48	16.71	13.60	13.68
	Saccharomyces cerevisiae							
0	8.52	3.89	4.76	5.41	3.32	3.01	3.07	2.90
0.25%	8.22	8.08	7.52	7.83	7.64	6.65	4.17	7.82
0.5%	13.08	9.60	10.27	9.03	9.15	11.41	10.00	12.16
0.75%	15.15	9.43	12.31	11.93	12.77	15.43	11.15	14.82
1.0%	14.62	18.04	11.33	13.07	15.32	14.83	15.69	16.54
1.25%	17.11	17.40	17.40	11.36	8.46	20.02	21.21	19.59

ตารางที่ ข.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนจากกรดอะมิโนของกากมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อ *C. utilis, A. oryzae* และ *S. cerevisiae* เมื่อใช้ยูเรียที่ระดับ 0-1.25% และหมักเป็นเวลา 7 วัน

	Fermentation period (days)							
Urea level	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
	Candida utilis							
0	0.90	1.05	4.21	3.75	3.98	3.73	6.38	5.61
0.25%	0.80	3.06	5.80	5.57	4.70	5.68	7.97	5.86
0.5%	1.72	4.63	7.28	5.61	6.55	6.95	7.29	5.91
0.75%	1.23	7.26	6.86	5.31	6.69	6.72	7.72	6.76
1.0%	0.78	6.56	8.30	5.06	8.04	6.02	5.69	4.15
1.25%	0.91	5.51	8.54	4.91	6.96	9.20	4.30	4.01
	Aspergillus oryzae							
0	0.90	4.44	6.01	2.83	3.70	5.74	6.08	3.26
0.25%	0.80	4.60	4.61	5.19	5.67	9.03	6.83	4.92
0.5%	1.72	7.36	9.47	8.84	7.92	8.80	15.10	7.78
0.75%	1.23	7.00	8.96	9.07	15.13	9.78	11.81	8.25
1.0%	0.78	9.44	10.88	13.44	12.13	14.06	12.30	11.52
1.25%	0.91	8.72	12.77	13.58	12.15	12.72	5.83	7.36
	Saccharomyces cerevisiae							
0	0.23	1.57	0.90	0.24	1.00	6.16	1.06	3.01
0.25%	1.00	2.00	0.87	0.11	2.75	2.63	1.57	1.05
0.5%	0.80	1.07	0.94	0.36	1.75	1.26	7.58	6.59
0.75%	2.05	1.76	0.76	1.27	0.53	1.27	4.55	5.36
1.0%	0.21	1.41	1.60	0.11	1.52	3.33	2.83	2.69
1.25%	0.95	0.66	1.21	0.29	2.06	2.93	1.88	4.92

ประวัติผู้เขียน

นางสาวฤทัยรัตน์ โต้งกระโทก เกิดวันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2527 ที่ อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.นครราชสีมา เริ่มศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านหนองยาง และระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนหนองยางพิทยาคม อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.นครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2549 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2550