# ผลของกากมันสำปะหลังเสริมด้วยเอนไซม์ไซลาเนสต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ

นายธงชาติ สุริยวงค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

# EFFECTS OF CASSAVA PULP SUPPLEMENTED WITH XYLANASE ON NUTRIENT DIGESTIBILITY, GROWTH PERFORMANCE AND CARCASS QUALITY OF BROILERS

**Thongchat Suriyawong**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**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 2013**

**ผลของกากมันสำปะหลังเสริมด้วยเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(รศ. ดร.พงษ์ชาญ ณ ลำปาง)
ประธานกรรมการ

_____

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

_____

(อ. ดร.วิทธวัช โมพี)
กรรมการ

_____

(ผศ. น.สพ. ดร.ภคนิจ คุปพิทยานันท์)
กรรมการ

_____

(ผศ. ดร.อมรรัตน์ โมพี)
กรรมการ

_____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปีจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

_____

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ธงชาติ สุริยวงค์ : ผลของกากมันสำปะหลังเสริมด้วยเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ (EFFECTS OF CASSAVA PULP SUPPLEMENTED WITH XYLANASE ON NUTRIENT DIGESTIBILITY, GROWTH PERFORMANCE AND CARCASS QUALITY OF BROILERS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิศา เข็มผะกา, 68 หน้า

กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจ แต่ในขณะเดียวกันก็มีเยื่อใยที่สูง ซึ่งขัดขวางการนำโภชนะไปใช้ประโยชน์ การเสริมเอนไซม์ไซลาเนสเพื่อย่อยเยื่อใยน่าจะสามารถเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก ประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันระเหยง่าย และแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ในหลอดทดลอง ต่อการย่อยได้ของเยื่อใยและสิ่งแห้ง และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยแบ่งระดับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสออกเป็น 12 ระดับ (0 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10 0.12 0.14 0.16 0.18 0.20 และ 0.22% ตามลำดับ) ผลการทดลองไม่พบความแตกต่างทางสถิติของแต่ละพารามิเตอร์ในทุกกลุ่มการทดลอง การทดลองที่ 2 ใช้ไก่เนื้อเพศผู้ อายุ 21 วัน จำนวน 49 ตัว แบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม ๆ ละ 7 ซ้ำ เลี้ยงในกรงขังเดี่ยว ใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลร่วมกับกลุ่มควบคุม (Augmented Factorial in CRD (3x2) + 1) อาหารทดลองแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มคือ กลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลัง 3 ระดับ (8 12 และ 16%) ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 2 ระดับ (0.10 และ 0.20%) ผลการทดลองพบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ถึง 16% เมื่อเสริมร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ เยื่อใย และการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน การทดลองที่ 3 ใช้ไก่เนื้อเพศผู้ จำนวน 320 ตัว อายุ 1 วัน แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 20 ตัว ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ อาหารทดลองมี 4 กลุ่ม แบ่งออกเป็นกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลัง 8 12 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% เป็นเวลา 42 วัน โดยภาพรวมพบว่า กากมันสำปะหลังสามารถใช้ในอาหารไก่เนื้อได้ถึง 16% เมื่อเสริมร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนส โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก จำนวนประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตกรดไขมันระเหยง่ายของไก่เนื้อ แต่อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 12 - 16% มีการผลิตแอมโมเนียที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$)

โดยสรุปกากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่เนื้อได้ถึง 16% เมื่อเสริมร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนส โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก ประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตกรดไขมันระเหยง่ายของไก่เนื้อ โดยระดับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสที่เหมาะสมคือ 0.10%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

THONGCHAT SURIYAWONG : EFFECTS OF CASSAVA PULP SUPPLEMENTED WITH XYLANASE ON NUTRIENT DIGESTIBILITY, GROWTH PERFORMANCE AND CARCASS QUALITY OF BROILERS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUTISA KHEMPAKA, Ph.D., 75 PP.

CASSAVA PULP/DIGESTIBILITY/GROWTH PERFORMANCE/CARCASS QUALITY

Cassava pulp is an alternative energy feedstuff of interest and it is also high in fiber content which leads to interference with nutrient utilization. The supplementation of xylanase to break down fiber may improve the utilization of cassava pulp in broiler diets. Therefore, the objective of this research was to investigate the effects of using cassava pulp supplemented with xylanase enzyme on nutrient digestibility, growth performance, carcass quality, microbial population, and cecal volatile fatty acids and ammonia production in broilers. This study was divided into 3 experiments. Experiment 1 was conducted to determine the efficacy of cassava pulp with various levels of xylanase supplementation *in vitro* on crude fiber (CF) and dry matter (DM) digestibilities and reducing sugars. Twelve levels of xylanase (0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.20 and 0.22%, respectively) were used in this study. The results showed no significant difference among treatments in any of the observed parameters. In Experiment 2, a total of 49 21-day-old male broilers were placed into metabolic cages and assigned into 7 treatments with 7 replicates in Augmented Factorial in CRD (3x2) + 1. Seven dietary treatments consisted of control and 3 levels of cassava pulp (8, 12 and 16%) supplemented with 2 levels of xylanase enzyme (0.10 and 0.20%). The results showed that cassava pulp used in broiler diets

up to 16% with 0.1% xylanase had no detrimental effects on DM, organic matter and CF digestibilities or protein utilization. In Experiment 3, a total of 320 1-day-old male broilers were randomly assigned to 4 dietary treatments with 4 replicates of 20 chicks each using the CRD. The 42-day experimental diets consisted of 4 treatments (control, cassava pulp at levels of 8, 12 and 16%) supplemented with 0.10% xylanase. Over all, feeding cassava pulp up to 16% supplemented with xylanase did not affect growth performance, carcass quality, cecal microbial populations or volatile fatty acid production. However, diets which incorporated cassava pulp at levels of 12-16% produced higher ammonia than the control ($P<0.05$). In conclusion, cassava pulp could be used as part of energy source in broiler diets at levels of up to 16% with xylanase supplementation without affecting nutrient digestibility, growth performance or carcass quality of broilers. The optimal level of xylanase supplementation was approximately 0.10%.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Animal Production Technology
Academic Year 2013

Student's Signature _____
Advisor' Signature _____
Co-Advisor' Signature _____

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิศา เข็มผะกา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.วิทธวัช โมพี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งให้การช่วยเหลือ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ทุก ๆ ท่านที่อบรมสั่งสอนจนสำเร็จการศึกษา และให้ความรู้ทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในส่วนของฟาร์มสัตว์ปีก ทุก ๆ ท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือ ในการดูแลไก่เนื้อ ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่น้องบัณฑิตทุกท่านที่เสียสละเวลาให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาในทุก ๆ เรื่องของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

สุดท้าย ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุน และช่วยเหลือจนข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษา

ธงชาติ สุริยวงค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# สารบัญ

**หน้า**


บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฏ

**บทที่**

**1 บทนำ** ..... 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาในการวิจัย ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย ..... 2
1.3 สมมติฐานงานวิจัย ..... 2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย ..... 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

**2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง** ..... 4
2.1 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย ..... 4
2.2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ..... 5
2.3 กากมันสำปะหลัง (Cassava pulp) ..... 7
2.4 โครงสร้างของแป้งในกากมันสำปะหลัง ..... 8
2.5 เยื่อใยที่พบในกากมันสำปะหลัง ..... 8
2.6 ประเภทของเยื่อใยในอาหารสัตว์ ..... 9
2.6.1 เยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) ..... 9
2.6.2 เยื่อใยที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber) ..... 11
2.7 การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่ ..... 12
2.8 เอนไซม์ (Enzyme) ..... 16

# สารบัญ (ต่อ)

**หน้า**

2.9 เอนไซม์ย่อยเยื่อใย (Fibrolytic enzyme) ที่ใช้ในอาหารไก่เนื้อ....17
2.10 เอนไซม์ไซลาเนส (Endo-1, 4-β-xylanase)....19
2.11 ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารไก่เนื้อ....20
**3 วิธีการดำเนินการวิจัย**....25
3.1 การทดลองที่ 1 ผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังในหลอดทดลอง (In vitro digestion)....25
3.1.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง....25
3.1.2 การทดสอบการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังในหลอดทดลอง....25
3.2 การทดลองที่ 2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ....26
3.2.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง....26
3.2.2 สัตว์ทดลอง....26
3.2.3 อาหารทดลอง....27
3.2.4 การเก็บข้อมูล....29
3.2.5 การวิเคราะห์ทางเคมี....29
3.2.6 การวิเคราะห์สถิติ....29
3.3 การทดลองที่ 3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก จำนวนประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันระเหยง่าย และแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อ....29
3.3.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง....30
3.3.2 สัตว์ทดลอง....30
3.3.3 อาหารทดลอง....30
3.3.4 การเก็บข้อมูล....32
3.3.5 การวิเคราะห์สถิติ....33
**4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง**....34
4.1 การทดลองที่ 1 ผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังในหลอดทดลอง (In vitro digestion)....34

# สารบัญ (ต่อ)

**หน้า**

4.2 การทดลองที่ 2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ.....36
4.3 การทดลองที่ 3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก จำนวนประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันระเหยง่าย และแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อ.....39
**5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ** .....49
รายการอ้างอิง .....51
ภาคผนวก วิธีการดำเนินงานในห้องปฏิบัติการ .....58
ประวัติผู้เขียน .....66

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**


2.1 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังภายในประเทศไทย .....5
2.2 ปริมาณส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยในแต่ละปี .....5
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง .....7
2.4 ชนิดของเยื่อใยในกากมันสำปะหลัง .....9
2.5 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ .....13
2.6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ .....14
2.7 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่ .....16
2.8 ชนิดและปริมาณของเอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่เสริมในอาหารไก่เนื้อ .....18
2.9 ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อค่าความหนืดของอาหารในหลอดทดลอง .....21
2.10 ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในหลอดทดลอง .....22
2.11 ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะในไก่เนื้อ .....23
2.12 ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ .....24
3.1 ส่วนประกอบของวัตถุดิบและโภชนะในสูตรอาหารทดลอง .....28
3.2 ส่วนประกอบของวัตถุดิบและโภชนะในสูตรอาหารทดลองไก่เนื้อช่วงอายุ 1-21 และ 22-42 วัน .....31
4.1 ผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในกากมันสำปะหลัง ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และเยื่อใยหยาบในหลอดทดลอง .....35
4.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ .....38
4.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ .....42
4.4 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อคุณภาพซากของไก่เนื้อ .....43

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางที่** **หน้า**

4.5 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อความยาวและน้ำหนักของอวัยวะในระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อ.....44
4.6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อลักษณะสีของเนื้อไก่.....45
4.7 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย และแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อ.....48

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# สารบัญภาพ

**ภาพที่** **หน้า**

2.1 กระบวนการการสกัดแป้งมันสำปะหลัง.....6
2.2 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน.....8
2.3 ประเภทของเยื่อใยในอาหารสัตว์.....10
2.4 กลไกการทำงานของเอนไซม์แบบแม่กุญแจกับลูกกุญแจ (Lock and key model).....17
2.5 กลไกการทำงานของเอนไซม์ไซลาเนส.....19

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | | |
|---|---|---|
| BW | = | Body weight |
| Ca | = | Calcium |
| CFU | = | Colony forming unit |
| CRD | = | Complete randomized design |
| Cys | = | Cysteine |
| FCR | = | Feed conversion ratio |
| FCP | = | Fermented cassava pulp |
| FI | = | Feed intake |
| FPU | = | Filter paper unit |
| GC | = | Gas chromatography |
| HCl | = | Hydrochloric acid |
| L | = | Linear trend |
| MCK agar | = | Macconkey agar |
| ME | = | Metabolisable energy |
| Met | = | Methionine |
| MRS broth | = | de Man Rogosa and Sharpe Broth |
| NDF | = | Neutral Detergent Fiber |
| NRC | = | National research council |
| NS | = | Not significant |
| NSP | = | Non-starch polysaccharide |
| P | = | Phosphorus |
| Q | = | Quadratic trend |
| SEM | = | Standard error of the mean |
| VFAs | = | Volatile fatty acids |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาในการวิจัย

ปัจจุบันวัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาสูงขึ้น โดยเฉพาะข้าวโพดซึ่งเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานหลักในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ถูกแบ่งส่วนไปใช้ในการผลิตเอทานอล ส่งผลให้ข้าวโพดมีราคาแพงและมีผลต่อเนื่องถึงต้นทุนค่าอาหารที่สูงขึ้น การศึกษาและการวิจัยเพื่อหาวัตถุดิบแหล่งพลังงานอื่นทดแทนข้าวโพด อาทิผลพลอยได้จากการเกษตร หรือเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมน่าจะช่วยแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรได้

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกแป้งมันสำปะหลังเป็นอันดับหนึ่งของโลก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี ในการผลิตแป้งมันสำปะหลังถ้าใช้หัวมันสำปะหลังสด 100% จะได้กากมันสำปะหลังประมาณ 11.1% เมื่อคิดจากปริมาณการผลิตหัวมันสำปะหลังสดในปี 2555 ที่มีการผลิตหัวมันสำปะหลังสด 27 ล้านตัน (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2556) จะได้กากมันสำปะหลังประมาณ 3 ล้านตันโดยกากมันสำปะหลังดังกล่าวยังมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง (50-60%) สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับไก่เนื้อได้ จากการรวบรวมเอกสารพบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ 5-8% (Khempaka, Molee, and Guillaume, 2009; ปรีดา คำศรี, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และ ณัฐชนก อมรเทวภัทร, 2552) และในไก่ไข่ได้ 15-25% (สุเมธ ไตรพฤษชาติ, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง, 2552; ลัดดาวัลย์, 2557) โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต แต่อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังมีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบสูง (13-14%) ซึ่งเป็นข้อจำกัดทำให้ระดับการใช้ได้ในสูตรอาหารไก่เนื้อค่อนข้างต่ำ การหาแนวทางปรับปรุงคุณภาพของกากมันสำปะหลัง น่าจะสามารถเพิ่มระดับการใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้สูงขึ้น จากการรวบรวมเอกสาร พบว่าการเสริมเอนไซม์เพื่อช่วยย่อยเยื่อใยเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าจะสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังได้ โดยพบว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใย เช่น เอนไซม์ไซลาเนส เอนไซม์เซลลูเลส หรือเอนไซม์กลูคาเนส ในสูตรอาหารที่ใช้วัตถุดิบเยื่อใยสูงเป็นส่วนประกอบ เช่น ข้าวบาร์เล่ย์ ข้าวสาลี สามารถเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตได้ (Dusel, Kluge and Jeroch, 1998; Mathlouthi, Mallet, Saulnier, Quemener and Labier, 2002; Meng, Slominzki and Guenter, 2004; Meng, Slominski, Nyachoti, Campbell and Guenter, 2005) เยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของเฮมิเซลลูโลส (Suksombat,

Lounglawan and Noosen, 2006) ที่มีไซแลนเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสน่าจะลดข้อจำกัดของเยื่อใยในกากมันสำปะหลังได้

เอนไซม์ไซลาเนส คือเอนไซม์ในกลุ่มที่ย่อยสลายเยื่อใยจำพวกเฮมิเซลลูโลสในส่วนของพันธะ β 1, 4 - D xylosidic linkages ของไซแลนให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำตาลไซโลส น้ำตาลอะราบิโนส เป็นต้น หรือคาร์โบไฮเดรตสายสั้น ๆ ซึ่งกากมันสำปะหลังมี เยื่อใยที่อยู่ในกลุ่มของเฮมิเซลลูโลส การเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในสูตรอาหารกากมันสำปะหลังจึงน่าจะสามารถเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะและส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อได้ แต่อย่างไรก็ตามเยื่อใย อาจมีประโยชน์หากสัตว์ได้รับในปริมาณที่เหมาะสม โดยมีผลต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (*Lactobacillus* หรือ *Bifidobacteria*) และลดปริมาณของจุลินทรีย์ก่อโรค (*E.coli* หรือ *Salmonella*) เปลี่ยนแปลงการเพิ่มการผลิตกรดไขมันระเหยง่าย และลดการผลิตแอมโมเนีย (ลัดดาวัลย์, 2557; Bach – Knudsen, Jensen and Hansen, 1993; Russel, 1992; Van der wielen, Biesterveld, Notesmans, Hofstra, Urlings and Van Knapen, 2000)

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก ประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันระเหยง่าย และแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อ

## 1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหาระดับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ที่เหมาะสมต่อการย่อยได้ของโภชนะในกากมันสำปะหลัง ในหลอดทดลอง (*in vitro* digestion)

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงาน ต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก ประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันระเหยง่าย และแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อ

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแป้งมันที่มีแป้งหลงเหลืออยู่สูง ซึ่งน่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทางเลือกในอาหารสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังมีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบสูง ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ เยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลังเป็นเยื่อใยในกลุ่มเฮมิเซลลูโลส การเสริมเอนไซม์ไซลาเนสที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายเยื่อใยในกลุ่มของเฮมิเซลลูโลส จึงน่าจะสามารถ

ย่อยเยื่อใยและเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อได้

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ ต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซากประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันระเหยง่าย และแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อได้สูงขึ้น

1.5.2 สามารถนำผลที่ได้จากงานวิจัยเป็นแนวทางในการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในสูตรอาหารที่ใช้วัตถุดิบคุณภาพต่ำลักษณะคล้ายคลึงกับกากมันสำปะหลังสำหรับเลี้ยงไก่เนื้อได้

1.5.3 เพิ่มแนวทางการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังได้มากขึ้น ช่วยกำจัดของเสีย และลดมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# บทที่ 2
# ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย

มันสำปะหลัง (*Manihotesculenta* (L.) Crantz) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยผลผลิตส่วนใหญ่มาจากจังหวัดนครราชสีมา คิดเป็น 57% จากผลผลิตทั้งหมด และพื้นที่ภาคกลาง คิดเป็น 31% ของผลผลิตทั้งหมด (Sriroth, Chollskup, Chotineeranat, Piyachomkwan and Oates, 2000) โดยปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยในแต่ละปีได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ซึ่งประเทศไทยมีผลผลิตจากการปลูกมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี โดยหัวมันสดทั้งหมดจะถูกแปรรูปเพื่อนำไปใช้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น มันเส้น มันอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลังเป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะนำมาใช้ประโยชน์ทั้งภายในประเทศ และส่งออกต่างประเทศในรูปแบบต่าง ๆ (ตารางที่ 2.2) โดยประเทศไทยนั้นมีการส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังเป็นอันดับหนึ่งของโลก และปริมาณการผลิตยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี นอกจากนี้ในแต่ละปีผลผลิตของมันสำปะหลังประมาณ 45% จะถูกนำมาผลิตแป้งมันสำปะหลัง และจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีเศษเหลือประมาณ 10-15% ของหัวมันสำปะหลังสด (Sriroth et al., 2000) มาจากการล้าง การปอกเปลือก และการสกัดแป้ง ซึ่งประกอบด้วย น้ำทิ้ง เศษดินทราย เปลือกมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลัง (Cassava pulp) ประมาณ 3-6% ของปริมาณเศษเหลือทั้งหมด

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เก็บสะสมอาหารไว้ที่รากในรูปแบบของแป้ง ความสามารถในการสร้างและสะสมแป้งที่รากแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำฝน โดยทั่วไปหัวมันสำปะหลังประกอบไปด้วย น้ำ 60.21-75.32% เปลือก 4.08-14.08% เนื้อ (แป้ง) 25.87-41.88% และปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิค 2.85-39.27 ppm (กล้าณรงค์ ศรีรอต, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, วัชรี เลิศมงคล, จำลอง เจียมจำนรรจา, ปิยะ ดวงพับตรา, เอ็จ สโรบล, ปิยะวุฒิ พูนสงวน, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์ และ วิจารณ์ วิชชุกิจ, 2542) จากองค์ประกอบของหัวมันสด พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่นอกจากน้ำแล้วก็คือแป้ง ดังนั้นมันสำปะหลังจึงเหมาะเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานกับสัตว์ได้ดี อย่างไรก็ตามในหัวมันสำปะหลังสดจะมีไซยาไนด์ (กรดไซยานิคอิสระ) เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่แตกต่างกันไป ตั้งแต่ 2.85 มิลลิกรัม ถึง 39.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของหัวมันสด ซึ่งกรดไซยานิคเมื่อนำไปเลี้ยงสัตว์จะก่อให้เกิดอันตรายกับสัตว์แต่จะถูกทำลายเมื่อถูกความร้อน เช่น การตากแดด เผา ต้ม หรือการให้ความร้อนจากการอัดเม็ดผลิตภัณฑ์มันเส้นหรือ

มันอัดเม็ดซึ่งผ่านการตากแดด และอัดเม็ด จึงปลอดภัยจากสารพิษของกรดไฮโดรไซยานิคเมื่อนำไปเลี้ยงสัตว์ มันเส้นหรือมันอัดเม็ดเป็นวัตถุดิบประเภทแป้งเช่นเดียวกับข้าวโพด และปลายข้าว แต่มันเส้นและมันอัดเม็ดมีโปรตีนต่ำ การแก้ปัญหาในเรื่องของโปรตีนต่ำสามารถแก้ได้โดยการเพิ่มวัตถุดิบอาหารที่มีโปรตีนสูง เช่น กากถั่วเหลือง ปลาป่น หรือเนื้อป่น ในสูตรอาหารก็จะช่วยให้มันเส้นหรือมันอัดเม็ดมีคุณค่าทางโภชนะที่ดีขึ้นได้ เพื่อใช้ในการทดแทนข้าวโพดหรือปลายข้าวในสูตรอาหารเลี้ยงสัตว์ได้

**ตารางที่ 2.1** ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังภายในประเทศไทย

| ปี | ผลผลิตหัวมันสด (ตัน) |
|---|---|
| 2555/56 | 27,547,242 |
| 2554/55 | 26,601,090 |
| 2553/54 | 21,912,416 |
| 2552/53 | 22,055,740 |

**ที่มา**: มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย (2556)

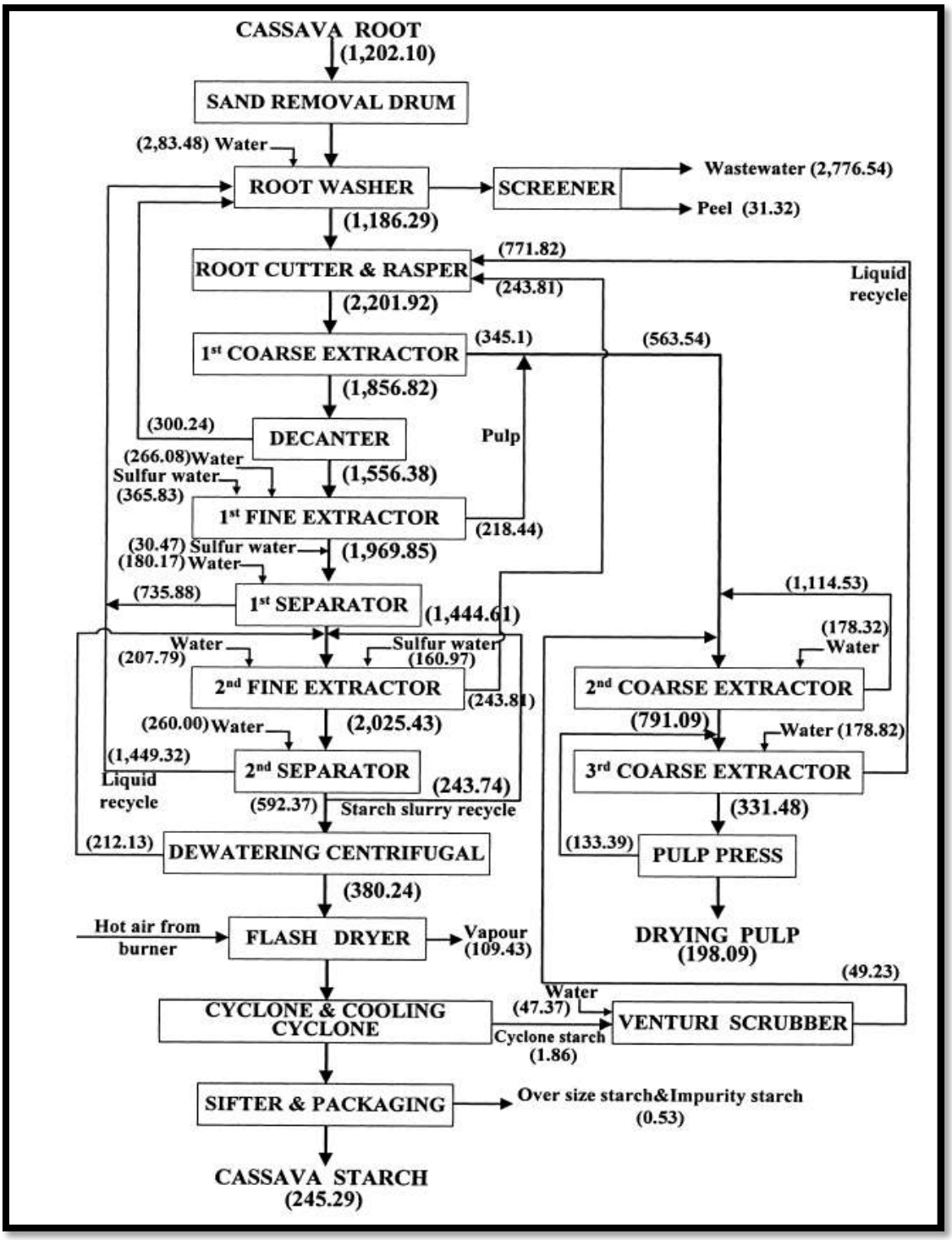
**ตารางที่ 2.2** ปริมาณส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยในแต่ละปี

| ประจำปี | มันเส้น (ตัน) | มันอัดเม็ด (ตัน) | แป้งมันสำปะหลัง (ตัน) |
|---|---|---|---|
| 2549/50 | 3,867,625 | 1,365,622 | 1,961,096 |
| 2550/51 | 1,263,729 | 2,021,591 | 2,127,110 |
| 2551/52 | 2,887,275 | 300,818 | 2,120,408 |
| 2552/53 | 5,137,317 | 235,250 | 2,603,115 |
| 2553/54 | 3,268,213 | 31,224 | 2,493,412 |
| 2554/55 | 4,453,061 | 48,988 | 2,784,961 |

**ที่มา** : มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย (2556)

## 2.2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมทางการเกษตรที่มีความสำคัญของประเทศไทย โดยจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิต คือ เปลือกมันสำปะหลัง (Cassava peel) กากมันสำปะหลัง (Cassava pulp) และน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต การผลิตแป้งมันสำปะหลัง มีขั้นตอนการผลิตคือ




**ภาพที่ 2.1** กระบวนการการสกัดแป้งมันสำปะหลัง

**ที่มา** : Sriroth et al. (2000)

1. การเตรียมรากมันสำปะหลังจะต้องมีการกำจัดเศษรากดินทราย การปอกเปลือกและการล้างรากมันสำปะหลังก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการบดรากมันสำปะหลัง โดยรากมันสำปะหลังที่

สะอาดจะถูกส่งไปยังเครื่องสับหัวมัน ซึ่งจะสับให้มีขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว แล้วชิ้นมันนี้จะตกเข้าสู่เครื่องขูดรากมัน ทำให้มันสำปะหลังมีชิ้นละเอียดยิ่งขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดแป้ง

2. การสกัดแป้งมัน กากมันสำปะหลังจะถูกเติมน้ำและถูกนำเข้าเครื่องสกัดแป้ง ซึ่งกากมันสำปะหลังในขั้นตอนการสกัดแป้งจะมีน้ำอยู่ในปริมาณมาก และกากมันสำปะหลังจะถูกแยกออกจากน้ำแป้งเพื่อนำเข้าสู่เครื่องอัดกากและนำไปตากแดดเพื่อนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ต่อไป

3. การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้ง โดยการแยกกากมันออกให้หมดและทำให้น้ำแป้งข้นขึ้นจากนั้นก็จะทำให้แป้งแห้งและการบรรจุผลิตภัณฑ์ ซึ่งแป้งที่ถูกแยกน้ำออกแล้วจะถูกพ่นเข้าสู่ท่อไอร้อน ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้แป้งแห้งเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อป้องกันการรวมตัวของแป้งเป็นเม็ด (กรมโรงงงานอุตสาหกรรม, 2551) ดังภาพที่ 2.1

## 2.3 กากมันสำปะหลัง (Cassava pulp)

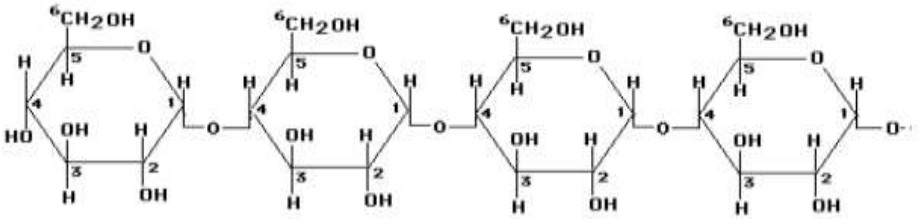
ในปัจจุบันความต้องการแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณสูงขึ้นจากทั้งในประเทศ และต่างประเทศ จึงส่งผลให้มีปริมาณกากมันสำปะหลังที่เหลือจากกระบวนการผลิตมากขึ้นตามไปด้วย โดยกากมันที่เหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันคิดเป็นประมาณ 6% ของหัวมันสด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) โดยกากมันสำปะหลังยังมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการนำกากมันใช้เป็นแหล่งพลังงาสำหรับไก่เนื้อ แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในแต่ละโรงงาน อาจมีความแตกต่างกัน ส่งผลให้โภชนะที่หลงเหลืออยู่ในกากมันสำปะหลังมีปริมาณที่แตกต่างกันไปด้วย โดยองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง แสดงในตารางที่ 3 ประกอบด้วยแป้ง 47.9-53.5% เยื่อใย 13.59-14.75% โปรตีน 1.98-3.42% ไขมันอยู่ 0.13-0.53%

**ตารางที่ 2.3** องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง (น้ำหนักแห้ง)

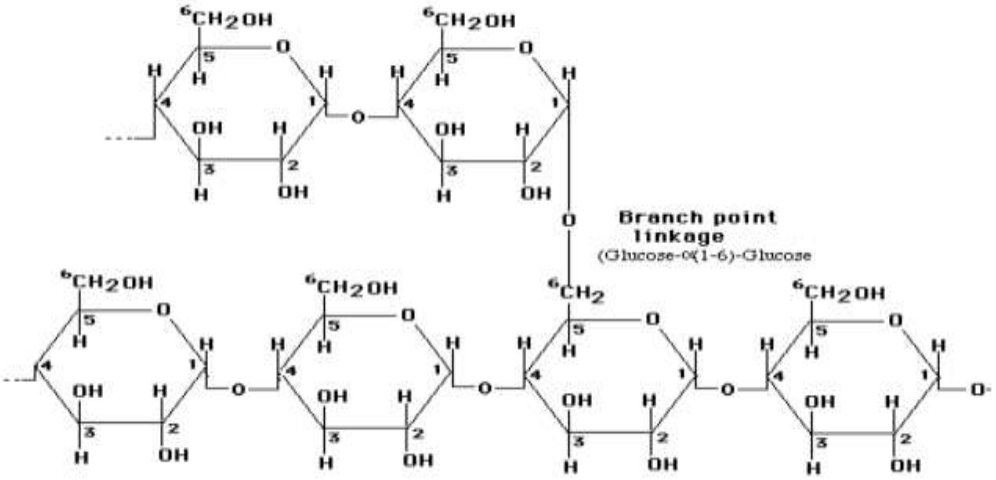
| References | Dry matter | Crude protein | Ether extract | Ash | Crude fiber | Starch |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Khempaka et al. (2009) | 93.2 | 1.98 | 0.13 | 2.83 | 13.59 | 53.5 |
| ปรีดา และคณะ (2552) | 88.6 | 3.42 | 0.50 | 5.73 | 14.75 | 47.9 |
| สุเมธ และคณะ (2552) | 89.1 | 2.35 | 0.53 | 3.52 | 14.51 | 50.2 |
| วริยา และคณะ (2552) | 89.5 | 2.37 | 0.39 | 5.73 | 13.99 | 50.1 |

## 2.4 โครงสร้างของแป้งในกากมันสำปะหลัง

แป้ง คือผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช โดยทั่วไปแป้งคือแหล่งพลังงานสะสมของพืช พบมากในพืชประเภทหัว เช่น เผือกและมัน ตามสูตรโครงสร้างแป้งประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนที่เรียกว่า อะไมโลส (Amylose) เป็นสายของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ชนิด $\alpha$1-4 มีประมาณ 15-20% ส่วนที่สองคือ อะไมโลเพคติน (Amylopectin) ซึ่งมีโครงสร้างที่เป็นแขนง เนื่องจากมีพันธะไกลโคไซน์แบบ $\alpha$1-6 มีประมาณ 80-85% แสดงในภาพที่ 2.2



อะไมโลส




อะไมโลเพคติน

**ภาพที่ 2.2** โครงสร้างของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน

**ที่มา :** Chaplin (2001)

## 2.5 เยื่อใยที่พบในกากมันสำปะหลัง

จากการรวบรวมเอกสารพบว่า กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณเยื่อใยสูง เยื่อใยเหล่านี้จะลดการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เยื่อใยในกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่ประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส (Rattanachomsri, Tanapongpipat, Eurwilaichirt and Champreda, 2009; Suksombat et al. 2006; Ali, Soewarno, Sumarno, Primarini

and Sumaryono, 2011) จากการวิเคราะห์หาสัดส่วนของเยื่อใยชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในกากมันสำปะหลัง พบว่ามีสัดส่วนของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเท่ากับ 10.2 และ 3.3% ตามลำดับสอดคล้องกับการศึกษาของ Suksombat et al. (2006) ที่พบว่ากากมันสำปะหลังมีสัดส่วนของเฮมิเซลลูโลส (27.8%) สูงกว่าเซลลูโลส (5.9%) แต่ Rattanachomsri et al. (2009) และ Ali et al. (2011) รายงานกากมันสำปะหลังมีสัดส่วนของเซลลูโลสสูงกว่าเฮมิเซลลูโลส อย่างไรก็ตามสัดส่วนของเยื่อใยที่อยู่ภายในกากมันสำปะหลังยังคงมีความแปรปรวนอยู่ ซึ่งความแปรปรวนนี้อาจมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ลักษณะสายพันธุ์ อายุและคุณภาพของหัวมันสำปะหลังสด หรือ สภาพดินที่ปลูก วิธีการเก็บเกี่ยว และกระบวนการสกัดแป้งมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน (Sriroth, Santisopasri, Petchalanuwat, Kurotjanawong and Oates., 1999) หรือการมีเปลือกมันสำปะหลังปะปนในกระบวนการคัดแยกกากมันสำปะหลังในแต่ละแหล่งด้วย

**ตารางที่ 2.4** ชนิดของเยื่อใยในกากมันสำปะหลัง (Dry matter)

| References | Fiber | Cellulose | Hemicelluloses | Lignin |
|---|---|---|---|---|
| Rattanachomsri et al. (2009) | 23 | 15.6 | 4.6 | 2.8 |
| Ali et al. (2011) | 20.1 | 8.1 | 2.8 | 2.2 |
| Khempaka et al. (2009) | 13.6 | - | - | - |
| Suksombat et al. (2006) | 6.6 | 5.9 | 27.8 | 3.9 |
| In this study[1/] | 9.2 | 3.3 | 10.2 | 11.4 |

**หมายเหตุ :** [1/]วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 2.6 ประเภทของเยื่อใยในอาหารสัตว์

เยื่อใยที่พบในอาหารสัตว์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามความสามารถในการละลายน้ำ ตามภาพที่ 2.3

### 2.6.1 เยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber)

ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน คิวติน และแวกซ์ มีรายละเอียดดังนี้

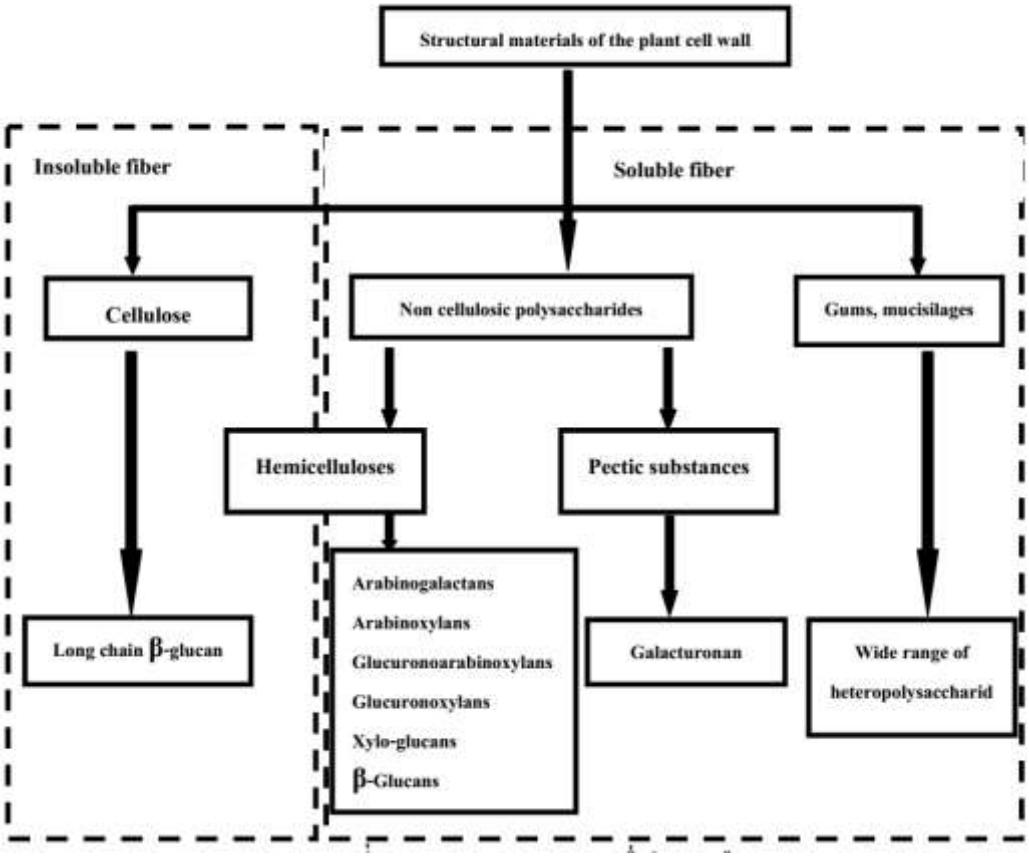
เซลลูโลสเป็นสายพอลิแซคคาร์ไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อแบบ β1, 4 เป็นส่วนประกอบโครงสร้างหลักของพืชทั่วไป โดยเฉพาะผนังเซลล์ของพืชชั้นสูง ในอาหารจำพวกผักและธัญพืชมีปริมาณเซลลูโลส 20-50% ของน้ำหนักแห้ง

เฮมิเซลลูโลส โครงสร้างหลักประกอบด้วยกลุ่มของน้ำตาลหลายชนิด โดยน้ำตาลกลุ่มใหญ่ที่สุดเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 ตัว เช่น น้ำตาลไซโลส (Xylose) นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลุ่มอื่นที่ต่ออยู่กับโครงสร้างหลัก เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลอะราบิโนส (Arabinose) และกรดกลูคูโรนิก

(Glucuronic acid) Scheller and Uvlskov (2010) ได้รายงานว่าโครงสร้างภายในส่วนใหญ่ของเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยไซโลกลูแคน (Xyloglucan) ไซแลน (Xylan) แมนแนน (Mannans) กลูโคแมนแนน (Glucomannan) และ β1, 3 หรือ β1, 4 กลูแคน (Glucan) ความแตกต่างของเฮมิเซลลูโลสกับเซลลูโลส คือ เฮมิเซลลูโลสสามารถละลายได้ในสารละลายด่างอ่อน ในขณะที่เซลลูโลสไม่สามารถละลายได้ ในพืชพบเฮมิเซลลูโลสอยู่ร่วมกับเพกติน เซลลูโลส หรือ ลิกนิน โดยแทรกอยู่ในชั้นของผนังเซลล์

ลิกนิน พบในพืชจำพวกไม้เนื้อแข็ง เป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ เกิดจากการรวมตัวกันของโมเลกุลแอลกอฮอล์ที่มีรูปร่างเป็นวงแหวน เช่น ซินนามิล (Cinnamyl) ไซริงจิล (Syringyl) กัวไอซิล (Guaicyl) หน้าที่ของลิกนินจะช่วยให้ความแข็งแรงและทนต่อการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย

คิวตินและแวกซ์ พบร่วมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืช โดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติจะพบในประมาณที่น้อย (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538)




**ภาพที่ 2.3** การจำแนกชนิดของเยื่อใยจากพืช

**ที่มา :** Adapt from Southgate (1995)

เยื่อใยชนิดไม่ละลายน้ำมีคุณสมบัติในการเพิ่มอัตราการไหลผ่านของอาหาร โดยเยื่อใยชนิดนี้เมื่อดูดน้ำแล้วจะพองตัว ทำให้อาหารไหลผ่านเร็วขึ้น ส่งผลให้เอนไซม์จากสัตว์ไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามหากได้รับเยื่อใยชนิดนี้ในปริมาณที่เหมาะสมสามารถเพิ่มการพัฒนาก๊ื้น ทำให้การบดอาหารดีขึ้น ช่วยลดอนุภาคอาหารก่อนเข้าสู่ลำไส้เล็ก รวมถึงมีผลต่อการควบคุมด้านสรีรวิทยาของระบบทางเดินอาหาร เช่น การควบคุมการเคลื่อนที่หรือการไหลของอาหาร (Refluxes) และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหลั่งสารต่าง ๆ ในลำไส้ เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดน้ำดี และเอนไซม์ เป็นต้น (Hetland and Svihus, 2005; Michard, 2011; Mateos, Jiménez-Moreno, Serrano and Lázaro, 2012; Sacranie, Svihus, Denstadli, Moen, Iji, and Choct, 2012)

**2.6.2 เยื่อใยที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber)**

ประกอบด้วยเพกติน เบต้ากลูแคน กัมชนิดต่าง ๆ ใยอาหารประเภทนี้มีรายละเอียดดังนี้

เพกติน โครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ที่ต่อกันแบบ $\alpha$1, 4 โดยมีน้ำตาลหลายชนิดที่อยู่รวมกันในโครงสร้างหลัก เช่น น้ำตาลกาแล็กโทส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแรมโนส น้ำตาลอะราบิโนส การละลายน้ำของเพกตินขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) ของกรดกาแล็กทูโรนิก เพกตินสามารถพบได้ในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้ม ฝรั่ง และแอปเปิ้ล เป็นต้น

β-กลูแคน ประกอบด้วยสายของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันแบบ β1, 3 และ β1, 4 คุณสมบัติโดยทั่วไปไม่สามารถละลายน้ำ โดยมีเพียงส่วนน้อยสามารถละลายน้ำ พบได้ในข้าวโอ๊ต ข้าวไรน์ ข้าวบาร์เลย์

กัมชนิดต่าง ๆ เช่น

- วุ้น (Agar) เป็น มิวซิเลจ (Mucilage) ที่ผลิตได้จากสาหร่ายซึ่งมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วย Sulfanoated polymer ของ Anhydrogalactose น้ำตาลกาแล็กโตสที่อยู่ในรูป D และ L น้ำตาลไซโลส

- แอลจีเนต (Alginate) สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล โครงสร้างประกอบด้วยสายพอลิเมอร์ของกลูคูโรนิก และกรดแอนไฮโดรแมนนูโลนิก (Anhydromanulonic acid) โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม เกลือโพแทสเซียม หรือเกลือแมกนีเซียม ทำให้สามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น

- กัมอะราบิก (Arabic gum) สกัดได้จากต้นอะคาเซีย (Acacia) มีองค์ประกอบที่เป็นน้ำตาลหลัก ๆ คือ น้ำตาลอะราบิโนส น้ำตาลกาแล็กโตส น้ำตาลแรมโนส และกลูคูโรนิก

- คาราจิแนน (Carrageenan) เป็นเยื่อใยที่มีลักษณะของโครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ของ Sulfanoatedgalactaose

- กัวร์กัม (Guar gum) สกัดมาจากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดถั่ว ที่พบในประเทศอินเดียและปากีสถาน ประกอบด้วยสายพอลิเมอร์ของน้ำตาลแมนโนสเป็นโครงสร้างหลักและมีน้ำตาลกาแล็กโตสเป็นสาขาเกาะอยู่ที่โครงสร้างหลัก ลักษณะโดยทั่วไป ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น สามารถละลายได้ดีในน้ำร้อน และน้ำเย็น

- แซนแทนกัม (Xanthan gum) พบในแบคทีเรียชื่อ *Xanthomonascampertris* โดยเกิดจากปฏิกิริยาของหมู่อะซิทิลและหมู่ไพรูเวทในน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแมนโนส และกรดกลูคูโรนิก นอกจากนี้ยังมีอินเดียนกัม คารายากัมโลคัสบีนกัม ไซเลียมซีดกัม (Psyllim seed gum) เป็นต้น และยังพบว่ามีเฮมิเซลลูโลสบางชนิดสามารถละลายน้ำได้ด้วยแต่มีปริมาณน้อย (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538)

เยื่อใยชนิดละลายน้ำมีคุณสมบัติดูดซึมน้ำได้ เกิดการพองตัวเป็นเหมือนกับวุ้นหรือเจลส่งผลให้อาหารที่สัตว์ได้รับอยู่ในทางเดินอาหารนานขึ้นเนื่องการเกิดความหนืด (บุญล้อม, 2546) ทำให้สัตว์มีความอิ่มนานกินอาหารได้น้อย และเยื่อใยที่พองเป็นวุ้นยังส่งผลทำให้เอนไซม์ย่อยอาหารไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ ทำให้สัตว์ได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของสัตว์

## 2.7 การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่

การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ แสดงในตารางที่ 2.5 และ 2.6 จากข้อมูลพบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ 8-10% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และสมรรถนะการเจริญเติบโต (Khempaka et al., 2009; ปรีดา และคณะ, 2552; ธิดาพร สุดยิ่ง, อรประพันธ์ ส่งเสริม, เสกสม อาตมางกูร และ ยุวเรศ เรืองพานิช, 2552) นอกจากนี้การใช้กากมันสำปะหลังในรูปการอัดเม็ดอาหารยังสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนที่ดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้อัดเม็ดอาหาร แต่จากการศึกษาของ Tang, Ru, Song, Choct and Iji (2010) รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% ไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้งและการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่พบกว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ 25% ส่งผลให้น้ำหนักตัวของไก่เนื้อลดลง สำหรับการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังในไก่ไข่ (ตารางที่ 2.7) พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารได้ 15-25% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต (สุเมธ และคณะ, 2552; ลัดดาวัลย์, 2557) นอกจากนี้ สุภัตรา (2556) ซึ่งศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในอาหารไก่ไข่ พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักได้ 24% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตไข่ แต่การใช้กากมันสำปะหลังทั้ง 2 แบบมีผลทำให้สีไข่แดงซีดลง

**ตารางที่ 2.5** ผลของการใช้กากมันสำปะหลัง ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ

| Reference | Age (days) | Treatment | Dry matter | Crude Protein | Fat |
|---|---|---|---|---|---|
| Tang et al. (2010) | 18 | Control | 76.1[a] | 85.0[a] | - |
| | | 60% Cassava peels | 69.7[b] | 81.8[b] | - |
| | | 63% Cassava chips | 67.8[b] | 82.3[b] | - |
| | | 25% Cassava pulp | 72.1[ab] | 84.6[ab] | - |
| Khempaka et al. (2009) | 22 | Control | 68.79[a] | 63.68[a] | - |
| | | 4% Cassava pulp | 66.34[a] | 51.75[ab] | - |
| | | 8% Cassava pulp | 64.73[ab] | 57.34[ab] | - |
| | | 12% Cassava pulp | 59.05[c] | 53.35[b] | - |
| | | 16% Cassava pulp | 61.70[bc] | 54.60[b] | - |
| ปรีดา และคณะ (2552) | 21 | 0% Cassava pulp (mash) | - | 70.60 | 93.48 |
| | | 5% Cassava pulp (mash) | - | 70.66 | 93.31 |
| | | 10% Cassava pulp (mash) | - | 70.67 | 92.59 |
| | | 0% Cassava pulp (pellet) | - | 71.39 | 95.85 |
| | | 5% Cassava pulp (pellet) | - | 71.32 | 95.39 |
| | | 10% Cassava pulp (pellet) | - | 71.16 | 95.02 |
| | | Main effect means | | | |
| | | Level of cassava | | | |
| | | 0% Cassava pulp | - | 71.01 | 94.67 |
| | | 5% Cassava pulp | - | 70.99 | 94.35 |
| | | 10% Cassava pulp | - | 70.91 | 93.80 |
| | | Feed form | | | |
| | | Mash | - | 70.65[b] | 93.13 |
| | | Pellet | - | 71.29[a] | 95.42 |

**หมายเหตุ :** [a - c] ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จะเห็นได้ว่าการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสัตว์ปีกยังใช้ได้ในระดับที่ต่ำ เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง ซึ่งเยื่อใยจะมีผลลดการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และสมรรถนะการเจริญเติบโต เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลัก และกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่ปราศจากสารให้สี (Pigment) ซึ่งได้แก่ สารประเภทแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งสารแซนโทฟิลส์ (Xanthophylls) ส่งผลให้การสะสมแซโทฟิลส์ในไข่แดงลดลง (สาโรช ค้าเจริญ, 2547; วิภาสิริ เสภารัตนานันท์, 2549) ดังนั้นการเพิ่มระดับของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ ต้องพิจารณาการเสริมสารสีด้วย

**ตารางที่ 2.6** ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ

| References | Age (days) | Treatment | Body weight gain (g) | Feed intake (g) | FCR |
|---|---|---|---|---|---|
| ธิดาพร และคณะ (2552)[1/] | 45 | Control | 4,548 | 2,775 | 1.64 |
| | | 5% Cassava pulp | 4,422 | 2,710 | 1.64 |
| | | 10% Cassava pulp | 4,514 | 2,702 | 1.67 |
| | | Control + enzyme | 4,295 | 2,757 | 1.56 |
| | | 5% Cassava pulp +enzyme | 4,372 | 2,716 | 1.61 |
| | | 10% Cassava pulp +enzyme | 4,181 | 2,532 | 1.65 |
| | | Level of enzyme | | | |
| | | 0 ppm | 4,495 | 2,729 | 1.65[a] |
| | | 200 ppm | 4,282 | 2,668 | 1.61[b] |
| | | Level of cassava pulp | | | |
| | | 0% | 4,422 | 2,766 | 1.60 |
| | | 5% | 4,397 | 2,713 | 1.62 |
| | | 10% | 4,348 | 2,617 | 1.66 |
| Tang et al. (2012) | 21 | Control | 527.1[a] | 690[a] | 1.52[b] |
| | | 60% Cassava peel | 398.6[c] | 619[b] | 1.78[a] |
| | | 63% Cassava chip | 401.2[c] | 614[b] | 1.76[a] |
| | | 25% Cassava pulp | 479.5[b] | 683[a] | 1.62[ab] |

**ตารางที่ 2.6** ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ (ต่อ)

| References | Age (days) | Treatment | Body weight gain (g) | Feed intake (g) | FCR |
|---|---|---|---|---|---|
| Khempaka et al. (2009) | 42 | Control | 2422[a] | 4566 | 2.03 |
| | | 4% Dried cassava pulp | 2411[a] | 4705 | 2.11 |
| | | 8% Dried cassava pulp | 2347[a] | 4785 | 2.23 |
| | | 12% Dried cassava pulp | 2149[b] | 3949 | 1.99 |
| | | 16% Dried cassava pulp | 2051[b] | 3753 | 1.99 |
| | | P-value, trend[2/] | L=0.0001 | NS | NS |
| ปรีดา และคณะ (2552) | 45 | 0% Cassava pulp (mash) | 2421 | 4079 | 1.68 |
| | | 5% Cassava pulp (mash) | 2546 | 4469 | 1.76 |
| | | 10% Cassava pulp (mash) | 2503 | 4390 | 1.75 |
| | | 0% Cassava pulp (pellet) | 3017 | 5262 | 1.74 |
| | | 5% Cassava pulp (pellet) | 2980 | 5218 | 1.75 |
| | | 10% Cassava pulp (pellet) | 2867 | 5075 | 1.76 |
| | | Main effect means | | | |
| | | Level of cassava | | | |
| | | 0% Cassava pulp | 2762[a] | 4756 | 1.72 |
| | | 5% Cassava pulp | 2763[a] | 4843 | 1.76 |
| | | 10% Cassava pulp | 2687[b] | 4732 | 1.76 |
| | | Feed form | | | |
| | | Mash | 2497[b] | 4338[b] | 1.74 |
| | | Pellet | 2949[a] | 5176[a] | 1.76 |

**หมายเหตุ :** [a−c] ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

[1/]เอนไซม์ cocktail ที่ประกอบด้วย Mannanase 200 MU/Kg, Xylanase 440 MU/Kg, Glucanase 230-270 MU/Kg, Amylase 80-120 MU/Kg, Cellulase 80-100 MU/Kg, Pectinase 2-3 MU/Kg

[2/] Linear trend

**ตารางที่ 2.7** ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหาร ต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่

| References | Treatment | Feed intake (g/hen/day) | Body weigh change (g) | Egg Production (%) | Mortality rate (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| สุเมธ | 0% Cassava pulp | 122.67 | 48.17 | 83.86 | 0.52 |
| และคณะ | 5% Cassava pulp | 122.39 | 46.08 | 84.02 | 0.52 |
| (2552)[1] | 10% Cassava pulp | 121.77 | 45.29 | 83.72 | 0.52 |
| | 15% Cassava pulp | 121.36 | 44.43 | 84.03 | 0.26 |
| สุภัตรา | 0 % FCP | 107.29 | - | 92.67[a] | - |
| (2556)[2] | 16% FCP | 109.28 | - | 91.67[a] | - |
| | 24% FCP | 109.04 | - | 88.75[a] | - |
| | 32% FCP | 107.96 | - | 83.38[b] | - |
| ลัดดาวัลย์ | 0% Cassava pulp | 116.00 | - | 97.15 | - |
| (2557) | 5% Cassava pulp | 115.00 | - | 97.99 | - |
| | 10% Cassava pulp | 114.00 | - | 96.97 | - |
| | 15% Cassava pulp | 115.00 | - | 96.68 | - |
| | 20% Cassava pulp | 115.00 | - | 96.65 | - |
| | 25% Cassava pulp | 116.00 | - | 95.98 | - |

**หมายเหตุ :** $1^{a-b}$ ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

$2^{a-c}$ ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการรวบรวมเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร จะเห็นได้ว่าการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสัตว์ปีก สามารถทำได้หลายวิธีการ เช่น การอัดเม็ดอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ การหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มโปรตีน หรือการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมเพื่อย่อยเยื่อใย แต่อย่างไรก็ตามในการหมักกากมันสำปะหลังนั้นอาจเสียเวลาค่อนข้างมากเพื่อให้ได้มาซึ่งกากมันสำปะหลังหมัก การเสริมเอนไซมจึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถประหยัดเวลาและสะดวกในการนำไปใช้ได้มากกว่า

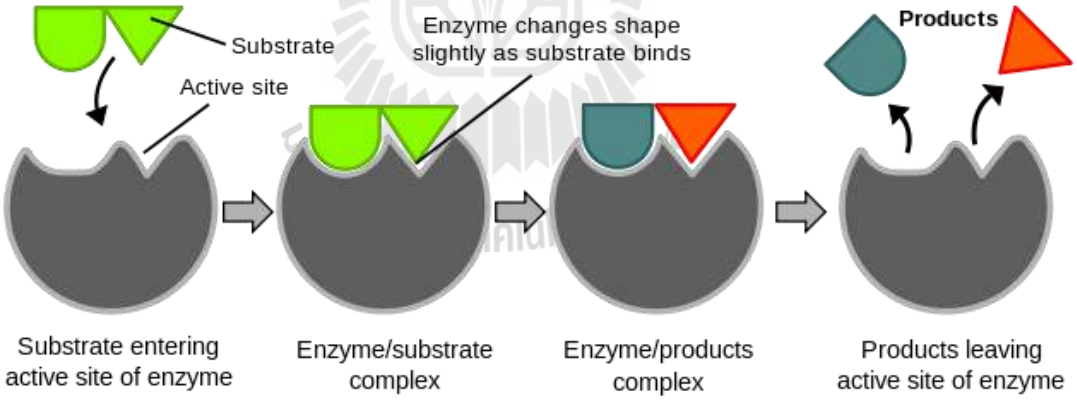
## 2.8 เอนไซม์ (Enzyme)

เอนไซม์ คือกลุ่มของโปรตีนที่มีหน้าที่แตกต่างจากโปรตีนโดยทั่วไป มีหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี ทำงานได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับความชื้น ค่าความเป็นกรด ด่าง

และอุณหภูมิ เปรียบเทียบได้กับลูกกุญแจกับแม่กุญแจ เอนไซม์มีการทำงานเฉพาะจุดเพื่อที่เร่งปฏิกิริยาในส่วนนั้น ๆ (ภาพที่ 2.4) ในปัจจุบันพบว่าการเสริมเอนไซม์ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารได้เพิ่มสูงขึ้น ลดการสูญเสียของอาหารที่ให้กับสัตว์ ลักษณะของเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.8.1 เอนไซม์ที่สัตว์สามารถผลิตได้ (Endogenous enzyme) คือการเสริมเอนไซม์ในกลุ่มที่สัตว์สามารถผลิตได้ แต่มีไม่เพียงพอ ส่วนใหญ่ทำการเสริมในสัตว์ที่อายุน้อยเนื่องจากสัตว์ยังมีพัฒนาการทางด้านระบบการย่อยอาหารที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากความหลากหลายของวัตถุดิบอาหารอาจส่งผลให้การย่อยได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เอนไซม์ในกลุ่มนี้ เช่น เอนไซม์โปรตีเอส (Protease) และเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) เป็นต้น

2.8.2 เอนไซม์ที่ผลิตไม่ได้จากตัวสัตว์ (Exogenous enzyme) คือการเสริมเอนไซม์ในกลุ่มที่สัตว์ไม่สามารถผลิตได้ เพื่อเพิ่มการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ เช่น การเสริมเอนไซม์ไฟเตส เพื่อย่อยฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไฟเตต เพื่อให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น หรือการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใย (NSP-degrading enzyme) เพื่อย่อยผนังเซลล์พืช ทำให้เกิดการปลดปล่อยโภชนะที่อยู่ภายในผนังเซลล์พืชออกมา เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และแร่ธาตุต่างๆ ออกมา




**ภาพที่ 2.4** กลไกการทำงานของเอนไซม์แบบแม่กุญแจกับลูกกุญแจ (Lock and key model)
**ที่มา :** http://www.wikipedia.org/wiki/Enzyme

## 2.9 เอนไซม์ย่อยเยื่อใย (Fibrolytic enzyme) ที่ใช้ในอาหารไก่เนื้อ

การเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารสัตว์ จำเป็นต้องทราบถึงชนิดของเยื่อใยหลัก ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบอาหารชนิดนั้น ๆ เพื่อที่จะสามารถเลือกใช้ชนิดของเอนไซม์ได้ถูกต้อง จึงจะส่งผลดีต่อสัตว์ได้สูงสุด จากตารางที่ 2.8 พบว่าในกลุ่มอาหารสัตว์ที่ใช้ข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบหลักจะเสริมด้วยเอนไซม์ไซลาเนสเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากข้าวสาลีมีปริมาณของเยื่อใยชนิด

Arabinoxylan สูง (Engberg, Hedemann, Steenfeldt and Jensen, 2004; Gao, Jiang, Zhou and Han, 2007; Vandeplas, Dauphin, Thiry, Beckers, Welling, Thonart and Thewis, 2009) และในกลุ่มที่ใช้แหล่งโปรตีนทดแทนอื่น ๆ เช่น กากเมล็ดทานตะวัน (Sunflower meal) กากคาร์โนลา (Carnola meal) ส่วนใหญ่จะใช้เอนไซม์แบบรวมประกอบไปด้วยเอนไซม์ เซลลูเลส กลูคาเนส ไซลาเนส และเพคติเนส ซึ่งสามารถย่อยได้ทั้งเยื่อใยที่ไม่ละลาย และเยื่อใยที่ละลายน้ำ (Kocher, Choct, Porter and Broz, 2000)

**ตารางที่ 2.8** ชนิดและปริมาณของเอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่เสริมในอาหารไก่เนื้อ

| **References** | **Enzyme** | **Volume** | **Diet** |
|---|---|---|---|
| Meng et al. (2005) | Cellulase, pectinase<br>Cellulase, xylanase+glucanase<br>Cellulase, pectinase, Xylanase+glucanase<br>Cellulase, pectinase, xylanase+glucanase, mananase+ cellulose | 0.1 g/kg | Wheat |
| Engberg et al. (2004) | Xylanase | 0.02 g/kg | Whole wheat |
| Vandeplas et al. (2009) | Xylanase | 0.1 g/kg | Wheat |
| Gao et al. (2007) | Xylanase, glucanase, cellulase, pectinase | 1 g/kg | Wheat |
| Zanella et al. (1999) | Xylanase, protease, amylase | 0.1 g/kg | Corn and soybean |
| Meng and Slominsky (2005) | Xylanase, glucanase, pectinase, cellulase, mannanase, galactanase | * | Corn, soybean meal and Canola meal |
| Buchanan et al. (2007)[3] | Glucanase, pentosanase, hemicellulases | 1 g/kg | Organic corn, organic soybean |
| Mushtaq et al. (2006) | Xylanase, glucanase | 0.05 g/kg | Corn and sunflower meal |
| Kocher et al. (2000) | Cellulase, glucanase, xylanase, pectinase1<br>Cellulase, glucanase, xylanase, pectinase2 | 0.15 g/kg<br>0.40 g/kg | Canola meal and sunflower meal |

**หมายเหตุ :** *1,000 U xylanase, 400 U glucanase, 1,000 U pectinase, 120U cellulase, 280 U mannanase, and 180 U galactanase per kilogram of diet

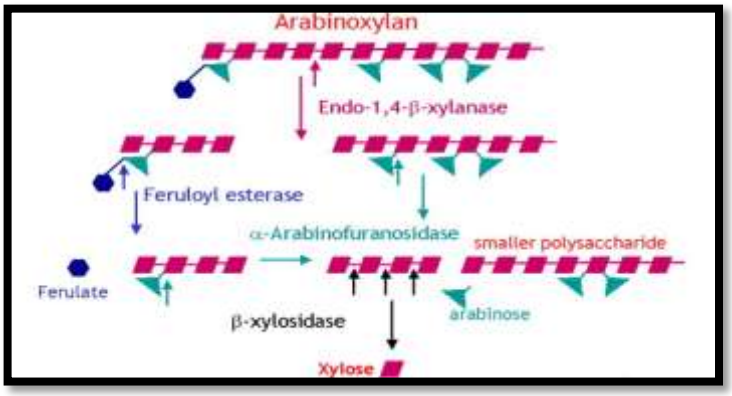
[1]เป็นเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ *Trichodermaviride* spp.

[2]เป็นเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ *Aspergillusaculeatus* spp.

[3]เป็นงานทดลองที่ทำในไก่อินทรีย์

## 2.10 เอนไซม์ไซลาเนส (Endo-1, 4-β-xylanase)

เป็นเอนไซม์ที่ผลิตได้จากแบคทีเรีย หรือเชื้อรา ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร หรืออุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ อีกทั้งเอนไซม์ไซลาเนสยังใช้เพื่อย่อยสลายของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม หรือของเสียในกลุ่มโอลิโกแซคคาร์ไรด์เพื่อนำมาใช้เป็น Functional food หรือการนำมาผลิตเป็นสารอาหารให้ความหวาน เช่น ไซลิทอล (Xylitol) ได้อีกทางหนึ่ง (Motta, Andrade and Santan, 2013) สำหรับการใช้เอนไซม์ไซลาเนสในทางอาหารสัตว์ ส่วนใหญ่ใช้เพื่อย่อยเยื่อใยในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น (Bedford and Classen, 1992) เอนไซม์ไซลาเนสเป็นเอนไซม์ที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ย่อยสลายเยื่อใย จำพวกเฮมิเซลลูโลสในส่วนของพันธะ β 1, 4 D xylosidic linkages ของไซแลนให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่าง ๆ หรือคาร์โบไฮเดรตสายสั้น ๆ ที่มีน้ำตาลหลาย ๆ ชนิดปนอยู่ เช่น น้ำตาลไซโลส น้ำตาลอะราบิโนส เป็นต้น กลไกการทำงานของเอนไซม์ไซลาเนส แสดงในภาพที่ 2 โดยเอนไซม์ไซลาเนสเป็นเอนไซม์ที่เข้าไปทำปฏิกิริยาโดยการสลายพันธะ β 1,4 ของไซแลนตามตำแหน่งต่าง ๆ ของไซแลนที่พบในเฮมิเซลลูโลส (Biely, Vrsanska and Kucar, 1992; Coughlan, Tuohy, Filho, Puls, Claeyssens, Vrsanska and Hughes, 1993) เพื่อเป็นการปลดปล่อยไซโลโอลิโกแซคคาร์ไรด์สายสั้น (Short xylooligosaccharides) และโพลิแซคคาร์ไรด์สายสั้น (Smaller polysaccharide) ออกมา




**ภาพที่ 2.2** กลไกการทำงานของเอนไซม์ไซลาเนส

**ที่มา :** Challenge Group (2007)

## 2.11 ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารไก่เนื้อ

จากการรวบรวมเอกสารการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารสัตว์นั้น พบว่ามีการทดสอบทั้งในหลอดทดลอง และในตัวสัตว์ โดยการทดสอบในหลอดทดลองส่วนใหญ่จะใช้ค่าความหนืด และน้ำตาลรีดิวซ์ของ Digesta เป็นตัวชี้วัดการทำงานของเอนไซม์ ถ้าเอนไซม์สามารถย่อยเยื่อใยที่อยู่ในวัตถุดิบอาหารได้ดีก็จะส่งผลในการลดค่าความหนืดของ Digesta สาเหตุที่ทำให้เกิดค่าความหนืดเป็นผลมาจากเยื่อใยที่ดูดน้ำและพองตัวจนเต็มทางเดินอาหาร เมื่อเกิดการย่อยสลายของเยื่อใยในส่วนนี้ได้ค่าความหนืดของอาหารจะลดลง ส่วนน้ำตาลรีดิวซ์เป็นผลมาจากเอนไซม์เข้าไปย่อยโครงสร้างของเยื่อใยทำให้เยื่อใยที่ประกอบมาจากคาร์โบไฮเดรตสายยาวกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หรือการทำลายโครงสร้างของเยื่อใยเพื่อให้เกิดการปลดปล่อยแป้งออกมาซึ่งแป้งก็สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสได้ Meng and Slominki (2005) รายงานว่า การเสริมเอนไซม์ไซลาเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) สามารถย่อยเยื่อใยในกากเมล็ดทานตะวัน รำสกัดน้ำมัน และอาหารไก่เนื้อได้ดี ส่วนในกากถั่วเหลืองพบว่า เอนไซม์เพคติเนสจะให้ผลการย่อยเยื่อใยได้ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส เซลลูเลส และเพคติเนสร่วมกันน่าจะส่งผลที่ดีที่สุด สำหรับผลของการลดความหนืดจะสัมพันธ์กับค่าปลดปล่อยน้ำตาล เนื่องจากถ้าค่าความหนืดน้อยลงแสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายเยื่อใยมีมาก ทำให้เกิดการปลดปล่อยน้ำตาลที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 2.10 และ 2.11)

ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหาร ต่อการย่อยได้ของโภชนะและสมรรถนะการเจริญเติบโตในไก่เนื้อได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.12 Meng et al. (2005) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยชนิดรวม สามารถเพิ่มการย่อยได้ของ NSP แป้ง โปรตีน และลดค่าความหนืดของอาหารได้ แต่ในการศึกษาของ Meng and Slomiski (2005) พบว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยแบบรวม ไม่มีผลในการเพิ่มการย่อยได้ของแป้ง สำหรับผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตแสดงในตารางที่ 2.13 จากการศึกษาของ Mathlouthi, Mallet, Saulnier, Quemener and Labier (2002) พบว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสและกลูคาเนสในอาหารที่ใช้ข้าวสาลีและข้าวไรน์ (Rye) สามารถเพิ่มการกินได้ น้ำหนักตัว และอัตราการแลกเนื้อที่ดีขึ้นของไก่เนื้ออายุ 20 และ 18 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ Alam, Howlider, Pramanik and Haque (2003) รายงานว่า การเสริมเอนไซม์ทางการค้า Alquerzim (glucanase, cellulose and xylanase) Roxazyme (pepsin, pancreatin, lipase and cellulase) และ Feedzyme (amylase, proteinase, glucanase and pentosanase) ในอาหารที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลัก ช่วยเพิ่มการกินได้ น้ำหนักตัว และอัตราการแลกเนื้อของไก่เนื้อที่อายุ 42 วัน สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด แต่ในบางการทดลองพบว่าการเสริมเอนไซม์ไม่มีผลในการเพิ่มการกินได้ แต่มีผลในการเพิ่มน้ำหนักตัว และอัตราการแลกเนื้อของไก่เนื้อ (Gao et al., 2007; Meng et al., 2004; Meng et al., 2005) แสดงให้เห็นว่าการ

เสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารสัตว์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์ได้โดยมีผลในการเพิ่มการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ส่งผลให้มีสมรรถนะการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นด้วย

จากข้อมูลพบว่ากากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานทางเลือกอีกชนิดหนึ่งเนื่องจากมีปริมาณแป้งที่สูง แต่สามารถใช้ในสูตรอาหารได้น้อยเนื่องจากเยื่อใยในกากมันสำปะหลังมีปริมาณสูงเช่นเดียวกัน ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเยื่อใยที่อยู่ในกากมันสำปะหลังมีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสอยู่สูง การเสริมเอนไซม์ไซลาเนสเพื่อช่วยย่อยเยื่อใยในกลุ่มเฮมิเซลลูโลส อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อ

**ตารางที่ 2.9** ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใย ต่อค่าความหนืดของอาหารในหลอดทดลอง

| | **Sunflower meal** | | **Soybean meal** | | **Deoiled rice bran** | | **Broiler starter diet** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Peptic Phase** | **Pancreatic Phase** | **Peptic Phase** | **Pancreatic Phase** | **Peptic Phase** | **Pancreatic Phase** | **Peptic Phase** | **Pancreatic Phase** |
| Control | 1.56$^{a}$ | 1.63$^{a}$ | 1.44$^{a}$ | 1.63$^{a}$ | 1.87$^{a}$ | 2.06$^{a}$ | 1.44$^{a}$ | 1.56$^{a}$ |
| E1[1] | | | | | | | | |
| 0.1% | 1.22$^{c}$ | 1.44$^{bc}$ | 1.33$^{b}$ | 1.50$^{b}$ | 1.44$^{de}$ | 1.68$^{cd}$ | 1.22$^{cd}$ | 1.44$^{bc}$ |
| 0.2% | 1.11$^{c}$ | 1.38$^{c}$ | 1.22$^{c}$ | 1.38$^{c}$ | 1.38$^{e}$ | 1.63$^{d}$ | 1.16$^{d}$ | 1.38$^{c}$ |
| E2[2] | | | | | | | | |
| 0.06% | 1.44$^{ab}$ | 1.56$^{ab}$ | 1.22$^{c}$ | 1.44$^{bc}$ | 1.63$^{bc}$ | 1.77$^{bc}$ | 1.31$^{bc}$ | 1.50$^{ab}$ |
| 0.12% | 1.22$^{c}$ | 1.44$^{bc}$ | 1.16$^{cd}$ | 1.37$^{c}$ | 1.56$^{cd}$ | 1.68$^{cd}$ | 1.25$^{cd}$ | 1.44$^{bc}$ |
| E3[3] | | | | | | | | |
| 0.12% | 1.44$^{ab}$ | 1.56$^{ab}$ | 1.16$^{cd}$ | 1.38$^{c}$ | 1.75$^{ab}$ | 1.88$^{b}$ | 1.44$^{a}$ | 1.56$^{a}$ |
| 0.24% | 1.38$^{b}$ | 1.44$^{bc}$ | 1.11$^{d}$ | 1.22$^{d}$ | 1.68$^{bc}$ | 1.75$^{bcd}$ | 1.38$^{ab}$ | 1.50$^{ab}$ |
| Mean | 1.34$^{z}$ | 1.49$^{y}$ | 1.23$^{z}$ | 1.42$^{y}$ | 1.62$^{z}$ | 1.78$^{y}$ | 1.31$^{z}$ | 1.48$^{y}$ |
| Pooled SEM | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.04 |

**หมายเหตุ :** $^{a–e}$Means within a column with no common superscript differ significantly (P<0.05).

$^{y,z}$Means within a row and feedstuff with no common superscript differ significantly (P<0.05)

[1]E1 = Xylanase 900U/g, Cellulase 12 FPU/g

[2]E2 = Xylanase 680U/g, Cellulase 18 FPU/g

[3]E3 = Xylanase 450U/g, Cellulase 4.5 FPU/g and Pectinase 4,500 U/g

**ที่มา :** Meng and Slominki (2005)

**ตารางที่ 2.10** ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในหลอดทดลอง

| | **Total sugars released** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Enzyme** | **Sunflower meal** | **Soybean meal** | **Deoiled rice bran** | **Broiler starter diet** |
| Control | 4.24[d] | 3.39[e] | 4.69[d] | 5.16[e] |
| Enzyme-1[1] | | | | |
| 0.1% | 6.46[b] | 4.01[d] | 6.27[ab] | 6.34[bc] |
| 0.2% | 7.26[a] | 4.65[ab] | 6.67[a] | 7.20[a] |
| Enzyme-2[2] | | | | |
| 0.06% | 6.25[b] | 4.11[cd] | 5.95[b] | 5.98[cd] |
| 0.12% | 6.79[ab] | 4.56[abc] | 6.30[ab] | 6.75[ab] |
| Enzyme-3[3] | | | | |
| 0.12% | 4.69[cd] | 4.32[bcd] | 5.24[c] | 5.32[e] |
| 0.24% | 5.28[c] | 4.82[a] | 5.89[b] | 5.66[de] |
| Pooled SEM | 0.18 | 0.13 | 0.12 | 0.15 |

**หมายเหตุ :** [a–e]Means within a column with no common superscript differ significantly (P<0.05).

[1]Enzyme-1 = Xylanase 900U/g, Cellulase 12 FPU/g

[2]Enzyme-2 = Xylanase 680U/g, Cellulase 18 FPU/g

[3]Enzyme-3 = Xylanase 450U/g, Cellulase 4.5 FPU/g and Pectinase 4,500 U/g

**ที่มา :** Meng and Slominki (2005)

**ตารางที่ 2.11** ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะในไก่เนื้อ

| References | Treatment | NSP (%) | Vicosity (mPa*s) | Starch (%) | Protein (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Meng et al. (2005)[1/] | Control | 6.3[b] | 3.3[a] | 92.6[c] | 73.2[c] |
| | C+P | 14.0[a] | 2.3[b] | 94.7[b] | 76.3[b] |
| | C+XG | 14.0[a] | 2.2[b] | 95.7[ab] | 77.5[b] |
| | C+P+XG | 12.8[a] | 2.3[b] | 95.6[ab] | 77.2[b] |
| | C+P+XG+MC | 14.9[a] | 2.2[b] | 96.7[a] | 79.8[a] |
| Meng and Slominski (2005)[2/] | Corn | 8.2[b] | - | 97.6 | - |
| | Corn+enzyme | 13.4[a] | - | 98.2 | - |
| | Corn+SBM | 9.4[b] | - | 96.0 | - |
| | Corn+SBM+enzyme | 21.1[a] | - | 97.2 | - |
| | Corn+canola meal | 7.6[b] | - | 96.0 | - |
| | Corn+canola meal+enzyme | 16.9[a] | - | 96.3 | - |
| | Corn+peas | 4.5[b] | - | 91.6 | - |
| | Corn+peas+enzyme | 9.5[a] | - | 92.9 | - |

**หมายเหตุ :** [a – c] ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

[1/]Main enzyme activities in enzymes: C = cellulase; P = pectinase; XG = xylanase and glucanase; MC = mannanase and cellulase. All enzymes were added at 0.1 g/kg

[2/]multicarbohydrase supplement containing Cellulase, Pectinase, Xylanase Glucanase, Mannanase and galactanaseas

**ตารางที่ 2.12** ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ

| References | Age (days) | Treatment | Feed intake (g) | Body weight gain (g) | FCR (g/g) |
|---|---|---|---|---|---|
| Mathlouthi et al. (2002) | 20 | Corn base diet | 899[a] | 605[a] | 1.48[b] |
| | | Wheat and barley base diet | 714[b] | 438[b] | 1.64[a] |
| | | Wheat and barley base diet+E[1] | 924[a] | 619[a] | 1.49[b] |
| Mathlouthi et al. (2002) | 18 | Corn | 478[a] | 313[a] | - |
| | | Rye | 397[b] | 178[b] | - |
| | | Rye+E[2] | 524[a] | 281[a] | - |
| Gao et al. (2007) | 49 | Wheat | 4,026 | 1,652[b] | 2.43[a] |
| | | Wheat + xylanase | 4,169 | 1,775[a] | 2.34[b] |
| Alam et al. (2003) | 42 | Corn | 3271[b] | 1371[b] | 2.47[a] |
| | | Corn +alquerzim | 3310[a] | 1525[a] | 2.24[b] |
| | | Corn +roxazyme | 3332[a] | 1563[a] | 2.19[c] |
| | | Corn +feedzyme | 3298[a] | 1519[a] | 2.24[b] |
| Meng et al. (2004) | 18 | Wheat | 682 | 466[a] | 1.46[a] |
| | | Wheat + carbohydrase | 692 | 491[b] | 1.41[b] |
| Meng et al. (2005)[3] | 18 | Control | 668 | 436[b] | 1.53[a] |
| | | C+P | 687 | 459[a] | 1.50[b] |
| | | C+XG | 695 | 470[a] | 1.48[b] |
| | | C+P+XG | 678 | 456[a] | 1.49[b] |
| | | C+P+XG+MC | 676 | 466[a] | 1.45[c] |

**หมายเหตุ :** [a–c]Means within a column with no common superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

[1]E = xylanase and $\beta$-glucanase 20 mg/kg of diet

[2]E= xylanase and glucanase 20 mg/kg$^{-1}$ of diet

[3]Main enzyme activities in enzymes: C = cellulase; P = pectinase; XG = xylanase and glucanase; MC = mannanase and cellulase. All enzymes were added at 0.1 g/kg of respective diet.

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินงานวิจัย

## 3.1 การทดลองที่ 1 ผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังในหลอดทดลอง (*In vitro* digestion)

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาระดับที่เหมาะสมในการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสเพื่อย่อยเยื่อใยในกากมันสำปะหลัง โดยทำการทดสอบเบื้องต้นในหลอดทดลอง (*In vitro* digestion) ถึงแม้ว่าเอนไซม์ไซลาเนสจะเป็นเอนไซม์ทางการค้าที่มีการแนะนำระดับการใช้แล้ว แต่ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลสำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในต่างประเทศ เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น โดยในการทดลองนี้จะเป็นการจำลองสภาวะการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังในร่างกายสัตว์ เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของเอนไซม์ที่จะนำไปใช้จริงในการทดลองที่ 2 และ 3 ต่อไป

### 3.1.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง

1. กากมันสำปะหลัง

นำกากมันสำปะหลังสดที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตากให้แห้งและนำไปบดผ่านตระแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร

2. เอนไซม์

ใช้เอนไซม์ไซลาเนสทางการค้า (Porzyme® 93010; Danisco Animal Nutrition) ที่ผลิตจากการหมักของเชื้อ *Trichoderma longibranchiatum* (xylanase activity 40000 U/g)

### 3.1.2 การทดสอบการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังในหลอดทดลอง

การทดสอบการย่อยได้ในหลอดทดลองครั้งนี้ใช้วิธีการของ Bedford and Classen (1993) ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนแปลงขั้นตอนบางส่วนเล็กน้อย ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ชั่งกากมันสำปะหลังแห้งบด 2 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร ผสมกับเอนไซม์ไซลาเนส 12 ระดับ คือ 0 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10 0.12 0.14 0.16 0.18 0.20 และ 0.22%

2. ใส่สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 N ที่ประกอบด้วย Pepsin 2000 U/ml ในหลอดทดลองที่มีกากมันสำปะหลังผสมเอนไซม์ทั้ง 12 ระดับ ปริมาณ 3 มิลลิลิตร นำไปบ่มในอ่างน้ำร้อนแบบเขย่า (Shaking water bath) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 45 นาทีเพื่อจำลองการย่อยได้ในส่วนของกระเพาะอาหาร

3. เมื่อครบ 45 นาทีเติมสารละลาย $NaHCO_3$ ความเข้มข้น 1 M ที่ประกอบด้วย Pancreatin 2 mg/ml ปริมาณ 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มต่อในอ่างน้ำร้อนแบบเขย่าเหมือนข้อที่ 2 แต่ครั้งนี้

ใช้เวลา 2 ชั่วโมงเพื่อเป็นการจำลองการย่อยได้ของลำไส้

4. จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที

5. นำของเหลวใสที่ได้ไปแยกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาน้ำตาลรีดิวซ์ (Miller, 1959) และในส่วนของตัวอย่างตะกอนที่เหลือในหลอดทดลองจะนำมากรองน้ำออกและล้างด้วยสารละลาย Methanol เพื่อล้างสารอินทรีย์อีกครั้งหนึ่งก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุแห้งและเยื่อใยหยาบ (AOAC, 2000) ทันที

**การวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุแห้ง**

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(\text{น.น. กากมันก่อนย่อย} - \text{น.น. กากมันหลังย่อย}) \times 100}{\text{น.น. กากมันก่อนย่อย}}$$

**การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยหยาบ**

$$\% \text{ เยื่อใย} = \frac{(\text{น.น. กากมันหลังย่อยที่นำไปอบ} - \text{น.น. กากมันหลังย่อยที่เผาแล้ว}) \times 100}{\text{น.น. กากมันหลังย่อย}}$$

## 3.2 การทดลองที่ 2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลัง ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสที่ระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่เนื้อที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ โดยศึกษาผลต่อการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ โดยทำการคัดเลือกระดับเอนไซม์ไซลาเนสที่ได้จากการทดลองที่ 3.1 2 ระดับ คือ 0.1 และ 0.2% ส่วนระดับของกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ 8 12 และ 16% โดยระดับดังกล่าวได้จากการปรับเปลี่ยนจาก Khempaka et al. (2009) ที่ได้รายงานว่าไก่เนื้อสามารถใช้กากมันสำปะหลังได้ถึงระดับ 8% ในสูตรอาหารโดยไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

### 3.2.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง

มีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับ 3.1.1

### 3.2.2 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่เนื้อเพศผู้พันธุ์อาร์เบอร์ เอเคอร์ (Arbor Acres) อายุ 1 วัน น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 50 ± 2 กรัม เลี้ยงจนถึงอายุ 19 วัน สุ่มไก่จำนวน 49 ตัว ขึ้นกรงทดลองแบบขังเดี่ยวที่ใช้สำหรับทดสอบการย่อยได้จนถึงอายุ 22 วัน โดยระยะเวลา 4 วันนี้เพื่อไก่จะได้ปรับตัวกับสภาพแวดล้อมใหม่ เมื่อไก่อายุ 22 วัน ทำการแบ่งไก่ออกเป็น 7 กลุ่ม ๆ ละ 7 ซ้ำ มีระยะเวลาทดลอง 10 วัน ใช้แผนการทดลอง

แบบ (3 × 2) + 1 Augmented Factorial in CRD มีการให้อาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (*Ad libitum*)

**3.2.3 อาหารทดลอง**

การทดสอบการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 12 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสทางการค้า (Porzyme® 93010, Danisco Animal Nutrition) ที่ผลิตจากการหมักของเชื้อ *Trichoderma longibranchiatum* ซึ่งมีการทำงานของเอนไซม์ไซลาเนส (Xylanase activity) 40,000 U/g 2 ระดับคือ 0.10 และ 0.20% อาหารทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีนและพลังงานเท่ากันตามคำแนะนำของ NRC (1994) รายละเอียดของส่วนประกอบของสูตรอาหารแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยอาหารทดลองมี 7 กลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1 : อาหารสูตรควบคุม (ไม่มีการเสริมกากมันสำปะหลังและเอนไซม์)

กลุ่มที่ 2 : กากมันสำปะหลัง 8% เสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.1%

กลุ่มที่ 3 : กากมันสำปะหลัง 12% เสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.1%

กลุ่มที่ 4 : กากมันสำปะหลัง 16% เสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.1%

กลุ่มที่ 5 : กากมันสำปะหลัง 8% เสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.2%

กลุ่มที่ 6 : กากมันสำปะหลัง 12% เสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.2%

กลุ่มที่ 7 : กากมันสำปะหลัง 16% เสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.2%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ตารางที่ 3.1** ส่วนประกอบของวัตถุดิบและโภชนะในสูตรอาหารทดลอง

| | | **0.1% Xylanase enzyme** | | | **0.2% Xylanase enzyme** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Control** | **8%[1]DCP** | **12%DCP** | **16% DCP** | **8% DCP** | **12% DCP** | **16% DCP** |
| Corn | 55.90 | 47.90 | 43.90 | 39.90 | 47.90 | 43.90 | 39.90 |
| Soybean meal | 18.09 | 20.50 | 21.60 | 22.70 | 20.50 | 21.60 | 22.70 |
| Rice bran | 9.33 | 5.29 | 3.48 | 1.65 | 5.14 | 3.34 | 1.50 |
| Fish meal | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| Full-fat soybean | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 |
| Cassava pulp | 0.00 | 8.00 | 12.00 | 16.00 | 8.00 | 12.00 | 16.00 |
| Soybean oil | 1.89 | 3.43 | 4.16 | 4.89 | 3.48 | 4.20 | 4.94 |
| Salt | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 |
| DL-Methionine | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.18 | 0.18 |
| Calcium carbonate | 1.27 | 1.23 | 1.20 | 1.18 | 1.23 | 1.20 | 1.18 |
| Dicalcium phosphate | 0.52 | 0.57 | 0.58 | 0.61 | 0.57 | 0.58 | 0.61 |
| Premix | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.47 |
| Xylanase | 0.00 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| Calculated composition (%) | | | | | | | |
| ME, kcal/kg | 3108 | 3108 | 3108 | 3108 | 3108 | 3108 | 3108 |
| Dry matter | 90.11 | 90.44 | 90.65 | 90.87 | 90.36 | 90.57 | 90.78 |
| Crude protein | 19.30 | 19.30 | 19.30 | 19.30 | 19.30 | 19.30 | 19.30 |
| Crude fiber | 3.86 | 4.46 | 4.77 | 5.09 | 4.44 | 4.76 | 5.07 |
| Calcium | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| Available P | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| Methionine | 0.47 | 0.47 | 0.48 | 0.48 | 0.47 | 0.48 | 0.48 |
| Met+Cys | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 0.72 |
| Lysine | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

**หมายเหตุ :** Premix (0.5%) provided the following per kilogram of diet: vitamin A, 15,000 IU; vitamin D3, 3,000 IU; vitamin E, 25 IU; vitamin K3, 5 mg; vitamin B1, 2 mg; vitamin B2, 7 mg; vitamin B6, 4 mg; vitamin B12, 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.

[1]Dried cassava pulp

**3.2.4 การเก็บข้อมูล**

**การศึกษาการย่อยได้ (Digestibility)**

ทำการเก็บมูลทั้งหมด (Total collection) ที่ไก่ขับออกมาในรอบหนึ่งวัน โดยเก็บมูลวันละ 1 ครั้ง เวลา 13.00 น. ในช่วง 4 วันสุดท้ายของการทดลอง เก็บมูลจากถาดพลาสติกที่รองไว้ใต้กรงพร้อมกับสเปรย์มูลที่ได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5% เพื่อป้องการการสูญเสียไนโตรเจน นำมูลของไก่แต่ละตัวที่เก็บได้ในแต่ละวันไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนำมาบดใส่ถุงและเก็บเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการต่อไป

% การย่อยได้ของสิ่งแห้ง (Dry matter digestibility)

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

% การย่อยได้ของโภชนะ (Nutrient digestibility)

$$= \frac{((\text{น.น.อาหารที่กิน} \times \%\text{โภชนะอาหาร}) - (\text{น.น.มูล} \times \%\text{โภชนะมูล})) \times 100}{(\text{น้ำหนักอาหารที่กิน} \times \%\text{โภชนะในอาหาร}) \times 100}$$

**หมายเหตุ :** น้ำหนักอาหารและมูลอยู่ในรูปน้ำหนักแห้ง

**3.2.5 การวิเคราะห์ทางเคมี**

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารทดลอง และวิเคราะห์หาโภชนะในมูลไก่ ได้แก่ ความชื้น เถ้า ปริมาณไนโตรเจน (AOAC, 2000) เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังเสริมเอนไซม์ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ

**3.2.6 การวิเคราะห์สถิติ**

ใช้แผนการทดลองแบบ (3×2)+1 Augmented Factorial in CRD การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DUNCAN) และวิเคราะห์แนวโน้มของระดับกากมันสำปะหลังด้วยวิธี Orthogonal polynomials โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SAS (1996)

## 3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลัง ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก การผลิตกรดไขมันระเหยง่าย ประชากรจุลินทรีย์ และแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก การผลิตกรดไขมันระเหยง่าย และแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อ โดยระดับของกากมันสำปะหลังที่ใช้เหมือนกับการทดลองที่ 2 ส่วน

ระดับของเอนไซม์ไซลาเนสนั้นจะคงเหลือไว้เพียงระดับเดียว คือ 0.1% เนื่องจากงานทดลองที่ 2 นั้น พบว่าการเสริมเอนไซม์ที่ระดับคือ 0.10 และ 0.20 % ให้ผลไม่แตกต่างกัน

**3.3.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง**

มีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับ 3.1.1

**3.3.2 สัตว์ทดลอง**

ใช้ไก่เนื้อเพศผู้พันธุ์รอส (ROSS) อายุ 1 วัน น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 50 ± 2 กรัม จำนวน 320 ตัว ทำการแบ่งไก่ออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 20 ตัว ใช้แผนการทดลองแบบ CRD ไก่แต่ละหน่วยทดลองมีน้ำหนักใกล้เคียงกันปล่อยเลี้ยงบนพื้นคอกใช้แกลบเป็นวัสดุรองพื้น กกไก่โดยใช้หลอดไฟให้ความอบอุ่นเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ไก่ได้รับอาหารและน้ำแบบเต็มที่ (*Ad libitum*) รวมทั้งได้รับวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิลและโรคหลอดลมอักเสบติดต่อที่อายุ 7 วัน และวัคซีนป้องกันโรคกัมโบโรที่อายุ 14 วัน

**3.3.3 อาหารทดลอง**

อาหารทดลองทุกสูตรคำนวณให้มีระดับโภชนะให้เพียงพอกับความต้องการของไก่ในแต่ละช่วงอายุ (1-21 และ 22-42 วัน) ตามคำแนะนำของ NRC (1994) องค์ประกอบของโภชนะในอาหารทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4

กลุ่มที่ 1 : สูตรควบคุม (Control)

กลุ่มที่ 2 : กากมันสำปะหลัง 8% + เอนไซม์ไซลาเนส 0.1%

กลุ่มที่ 3 : กากมันสำปะหลัง 12% + เอนไซม์ไซลาเนส 0.1%

กลุ่มที่ 4 : กากมันสำปะหลัง 16% + เอนไซม์ไซลาเนส 0.1%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ตารางที่ 3.2** ส่วนประกอบของวัตถุดิบและโภชนะในสูตรอาหารทดลองไก่เนื้อช่วงอายุ 1-21 และ 22-42 วัน

| **Item** | **1 - 22 วัน** | | | | **22 - 42 วัน** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **0.1 Xylanase enzyme** | | | | **0.1% Xylanase enzyme** | | |
| | **Control** | **8% DCP[1]** | **12% DCP** | **16% DCP** | **Control** | **8% DCP** | **12%DCP** | **16% DCP** |
| Corn | 52.00 | 44.00 | 40.00 | 36.00 | 55.00 | 47.00 | 43.00 | 39.00 |
| Soybean meal | 24.03 | 25.95 | 26.90 | 27.81 | 21.26 | 23.18 | 24.08 | 25.02 |
| Rice bran | 6.83 | 3.30 | 1.63 | 0.00 | 6.80 | 3.25 | 1.66 | 0.00 |
| Fish meal | 9.00 | 9.00 | 9.00 | 9.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| Full-fat soybean | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 |
| Cassava pulp | 0.00 | 8.00 | 12.00 | 16.00 | 0.00 | 8.00 | 12.00 | 16.00 |
| Soybean oil | 2.82 | 4.32 | 5.04 | 5.75 | 2.21 | 3.72 | 4.42 | 5.14 |
| Salt | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.27 |
| Methionine | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.13 | 0.15 | 0.16 | 0.17 |
| Lysine | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.06 |
| Ca | 1.01 | 0.95 | 0.92 | 0.9 | 1.27 | 1.21 | 1.20 | 1.16 |
| P | 0.27 | 0.32 | 0.35 | 0.37 | 0.52 | 0.58 | 0.58 | 0.61 |
| Premix | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.47 |
| Xylanase | 0.00 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.00 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| Calculated composition (%) | | | | | | | | |
| ME, kcal/kg | 3,108 | 3,108 | 3,108 | 3,108 | 3,102 | 3,102 | 3,102 | 3,102 |
| Dry matter | 89.95 | 90.45 | 91.12 | 92.32 | 92.10 | 91.45 | 92.56 | 90.72 |
| Crude protein | 21.04 | 21.04 | 21.04 | 21.04 | 19.01 | 19.01 | 19.01 | 19.01 |
| Crude fiber | 3.61 | 4.23 | 4.56 | 4.88 | 3.75 | 4.37 | 4.70 | 5.02 |
| Ca | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| Available P | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| Methionine | 0.62 | 0.64 | 0.63 | 0.64 | 0.45 | 0.46 | 0.47 | 0.48 |
| Met + Cys | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 0.72 |
| Lysine | 1.10 | 1.12 | 1.13 | 1.14 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 |

**หมายเหตุ :** Premix (0.5%) provided the following per kilogram of diet: vitamin A, 15,000 IU; vitamin D3, 3,000 IU; vitamin E, 25 IU; vitamin K3, 5 mg; vitamin B1, 2 mg; vitamin B2, 7 mg; vitamin B6, 4 mg; vitamin B12, 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.

[1] Dried cassava pulp

### 3.3.4 การเก็บข้อมูล

**1. สมรรถนะการเจริญเติบโต**

ทำการบันทึกน้ำหนักตัว และปริมาณอาหารที่กินของไก่เนื้อทุกสัปดาห์ เพื่อนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) รวมถึงบันทึกอัตราการตายทุกครั้งที่มีไก่ตาย และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ตาย

**2. การศึกษาคุณภาพซาก (Carcass quality)**

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง สุ่มไก่จำนวน 2 ตัวต่อซ้ำ อดอาหารเป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยสุ่มน้ำหนักตัวให้มีความใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของไก่ทั้งหมด ฆ่าโดยวิธีการเชือดเส้นเลือดใหญ่บริเวณคอ (Jugular vein) จากนั้นนำซากไก่ไปถอนขนด้วยเครื่องถอนขนอัตโนมัติ และถอนขนด้วยมืออีกครั้งเพื่อความสะอาด หลังจากนั้นตัดแต่งซากโดยการตัดหัวและแข้งออก ผ่าท้องและแยกอวัยวะภายในออกบันทึกน้ำหนักของอวัยวะภายใน ได้แก่ หัวใจ (Heart) ตับ (Liver) ถุงน้ำดี (Gall bladder) ม้าม (Spleen) กระเพาะ (Proventiculus) กึ๋น (Gizzard) ไขมันช่องท้อง (Abdominal fat) ลำไส้ส่วนดูโอดีนัม (Duodenum) เจจูนัม (Jejunum) และไอเลียม (Ileum) จดบันทึกขนาดและความยาวของลำไส้จากนั้นนำซากไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อรอการประเมินค่าสีเนื้อและหนัง และตัดแยกซากออกเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ กล้ามเนื้อส่วนอก กล้ามเนื้อส่วนสะโพก กล้ามเนื้อส่วนน่อง กล้ามเนื้ออกสันใน และปีก บันทึกน้ำหนักชิ้นส่วนต่าง ๆ จากนั้นทำการชำแหละชิ้นส่วนต่าง ๆ แยกเนื้อออกจากกระดูกได้แก่เนื้ออก อกสันใน เนื้อสะโพก เนื้อน่อง โดยสำหรับข้อมูลจะนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซาก (Eviscerated yield) และเปอร์เซ็นต์เครื่องใน (Giblets yield) ข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ซาก และอวัยวะภายใน การคำนวณน้ำหนักของซากส่วนต่าง ๆ จะคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมีชีวิตดังสมการข้างล่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซาก (\%)} = (\text{น้ำหนักของซาก}/\text{น้ำหนักไก่มีชีวิต}) \times 100$$

**3. การประเมินค่าสีของเนื้อ และหนัง**

นำซากที่ผ่านการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวัดสีของเนื้อไก่ส่วนอก สะโพก หนังอก และหนังสะโพก วัดด้วยเครื่องวัดสี CR-300 MINOLTA (Minolta Camera Co., Ltd., Osaka, Japan) แล้วรายงานผลเป็นค่าสี (Color profile) ออกเป็นค่า L* (lightness), a * (redness) และ b * (yellowness) ก่อนการวัดต้องคลุมด้วยพลาสติกใส โดยไม่ให้เกิดรอยย่นของพลาสติกและทำการ Calibrate เครื่องวัดสีกับแผ่นเทียบสีก่อนทำการวัดครั้งแรก ตำแหน่งที่ทำการวัดสีเป็นตำแหน่งเดิมทุกครั้ง ทำการวัด 3 ตำแหน่งเนื้อหรือหนังหนึ่งชิ้น

**4. การศึกษาปริมาณจุลินทรีย์**

ไก่เนื้อที่ได้จากการทดลองที่ 3.3 ทำการสลบเพื่อเก็บตัวอย่าง Digesta บริเวณลำไส้ส่วนซีกัมข้างซ้ายสำหรับศึกษาการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ โดยเก็บ Digesta ที่ได้ไว้ในขวดปลอดเชื้อ หลังจากนั้นนำ Digesta มาทำการเจือจางด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 0.85% เพื่อหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในแต่ละเชื้อและเลือกระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมมา 2 ระดับเพื่อนำไปใช้ในการตรวจนับเชื้อ *E. coli* และ *Lactobacilus* spp. คือระดับความเข้มข้น $10^{-5}$-$10^{-6}$ และ $10^{-7}$-$10^{-8}$ เท่า ตามลำดับ ซึ่งอาหารที่ใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะ (Selective medium) เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ต้องการให้เจริญได้เท่านั้น โดยนำตัวอย่างเชื้อมาตรวจนับเชื้อในอาหารลี้ยงเชื้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้เชื้อ *E. coli* เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mac-CONKEY-Agar (MCK agar) เชื้อ *Lactobacillus* spp. เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Lactobacillus MRS Broth (MRS Broth)

**5. การศึกษาปริมาณแอมโมเนียในซีกัม**

นำ Digesta จากลำไส้บริเวณซีกัมข้างขวาในการทดลองที่ 3 ใส่ในขวดปลอดเชื้อปิดฝาให้มิดชิด นำไปไล่ออกซิเจนออกด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเก็บไว้ในอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สำหรับรอการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียต่อไป ตามวิธีการของ Willis, Montgomery and Allen (1996)

**6. การศึกษาปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายในซีกัม**

นำ Digesta ที่เก็บจากลำไส้ส่วนซีกัมข้างขวา ในการทดลองที่ 3 มาชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาสกัดกรดไขมันระเหยง่ายด้วยกรดฟอร์มิกโดยการนำตัวอย่างผสมกับกรดด้วยอัตราส่วน 1 : 1 เขย่าตัวอย่างและสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex หลังจากนั้นนำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 15000 rpm เป็นเวลา 5 นาทีหลังจากนั้นนำตัวอย่างส่วนเหลวใสไปใส่ขวดเก็บตัวอย่าง (Vial) สีชาเพื่อรอใช้ในการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC) ต่อไป

**3.3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ**

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DUNCAN) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1996)

# บทที่ 4
# ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

## 4.1 การทดลองที่ 1 ผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังในหลอดทดลอง (*In vitro* digestion)

การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระดับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสที่เหมาะสมเพื่อย่อยเยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลัง ภายใต้สภาวะการทดสอบในหลอดทดลอง โดยจำลองการย่อยได้ในไก่เนื้อและนำระดับเอนไซม์ดังกล่าวไปทดสอบต่อในการทดลองที่ 2 และ 3 ต่อไป โดยผู้วิจัยคาดหวังว่า เอนไซม์ไซลาเนสจะช่วยย่อยสลายโครงสร้างเยื่อใยในกากมันสำปะหลัง ส่งผลให้การย่อยได้ของสารอาหารอื่น ๆ เพิ่มขึ้น โดยผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง เยื่อใย และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของกากมันสำปะหลังในหลอดทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 จากการคัดเลือกระดับของเอนไซม์ที่ส่งผลดีที่สุดในแต่ละพารามิเตอร์มา 1 ระดับ พบว่าระดับเอนไซม์ไซลาเนสที่มีผลต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง เยื่อใย และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ดีที่สุด คือ 0.22% 0.10% และ 0.20% โดยมีค่าเป็น 72.69% 23.11% และ 18.79 % ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์หาชนิดของเยื่อใยในกากมันสำปะหลังพบว่ามีเซลลูโลส 3.3% และเฮมิเซลลูโลส 10.2% โดยเยื่อใยในกลุ่มเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะประกอบด้วย ไซแลน แมนแนน และกลูแคน แต่ที่พบส่วนใหญ่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์คือ ไซแลน และแมนแนน (Wyman, Decker, Himmel, Brady, Skopec and Viikari, 2005) ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวไซโลส และแมนโนสเป็นหลัก สอดคล้องกับการรายงานของ Suksombat et al. (2006) และ Babayemi, Ifut, Inyang and Isaac, (2010) ที่พบว่ากากมันสำปะหลังมีสัดส่วนของเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าเซลลูโลส ดังนั้นเอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่เหมาะสำหรับใช้ย่อยเยื่อใยในกากมันสำปะหลังคือ เซลลูเลส และไซลาเนส แต่การศึกษาในครั้งนี้เลือกใช้เอนไซม์ไซลาเนสเพียงชนิดเดียว เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสในเชิงการค้าขณะทำการทดลองยังมีราคาที่สูงอยู่ และยังมีสภาวะการทำงานในร่างกายสัตว์ไม่คงที่ การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การเสริมเอนไซม์ไซลาเนสมีความเป็นไปได้ในการใช้ย่อยเยื่อใยในกากมันสำปะหลัง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยต่าง ๆ ก่อนหน้านี้ที่พบว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยสามารถเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะได้สูงขึ้น Mathlouthi and Devegowda (2001) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสที่ระดับ 0.2% ในกากเมล็ดทานตะวัน กากถั่วเหลือง รำสกัดน้ำมัน และอาหารไก่เนื้อ พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้ Meng et al. (2005) รายงานว่า การเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในหลอดทดลอง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของเยื่อใยได้สูงขึ้น

โดยปกติการเพิ่มระดับของเอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่สูงขึ้นจะมีแนวโน้มเพิ่มการย่อยได้ แต่ในการศึกษาในครั้งนี้ ถึงแม้ว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการย่อยได้ของวัตถุแห้ง เยื่อใย และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาจากค่าการย่อยได้ของเยื่อใยที่ได้จากการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสที่ระดับ 0.1% พบว่ามีค่าสูงกว่าระดับอื่น ๆ (23.11%) ในขณะที่การเสริมเอนไซม์ไซลาเนสที่ระดับสูงกว่า 0.1% (0.12-0.22%) มีค่าการย่อยได้ของเยื่อใยเฉลี่ยประมาณ 18.63% ซึ่งต่ำกว่าการเสริมไซลาเนสที่ระดับ 0.1% สาเหตุที่ทำให้ค่าการย่อยได้ของเยื่อใยลดต่ำลงยังไม่ทราบแน่ชัด แต่อาจเป็นไปได้ว่าการใช้เอนไซม์ในระดับที่มากเกินไปอาจทำให้สภาวะในหลอดทดลองไม่เหมาะสม ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ลดลง อีกทั้งการศึกษาการย่อยได้ของเยื่อใยและวัตถุแห้งในหลอดทดลองยังมีข้อมูลที่ค่อนข้างจำกัด การทดสอบประสิทธิภาพของเอนไซม์ต่อการย่อยได้ของเยื่อใยโดยส่วนใหญ่เป็นการทดลองในตัวสัตว์ (Meng et al., 2005; Meng and Slominski., 2005) แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้เมื่อพิจารณาจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยภาพรวมจึงคัดเลือกเอนไซม์ที่ระดับ 0.10% และ 0.20% เพื่อใช้ในการทดสอบการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ในตัวสัตว์ต่อไป

**ตารางที่ 4.1** ผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในกากมันสำปะหลังต่อ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และเยื่อใยหยาบในหลอดทดลอง[1/]

| Xylanase level (%) | Reducing sugar (%) | Dry matter (%) | Crude fiber (%) |
|---|---|---|---|
| 0.00 | 18.03 ± 0.30 | 71.25 ± 2.49 | 18.75 ± 1.02 |
| 0.02 | 17.91 ± 0.40 | 69.21 ± 0.61 | 18.65 ± 0.60 |
| 0.04 | 17.94 ± 0.92 | 68.34 ± 2.57 | 18.58 ± 1.10 |
| 0.06 | 17.69 ± 0.56 | 72.40 ± 0.27 | 18.47 ± 0.93 |
| 0.08 | 17.89 ± 0.49 | 69.26 ± 0.49 | 18.70 ± 0.73 |
| 0.10 | 17.90 ± 0.50 | 71.41 ± 5.79 | 23.11 ± 4.19 |
| 0.12 | 18.33 ± 0.63 | 68.99 ± 0.15 | 19.01 ± 0.43 |
| 0.14 | 17.97 ± 0.06 | 70.98 ± 2.53 | 18.29 ± 1.24 |
| 0.16 | 18.34 ± 0.58 | 69.39 ± 3.51 | 18.66 ± 0.31 |
| 0.18 | 18.30 ± 0.69 | 70.50 ± 2.93 | 18.60 ± 0.50 |
| 0.20 | 18.70 ± 0.75 | 69.70 ± 4.25 | 18.37 ± 0.65 |
| 0.22 | 18.05 ± 0.74 | 72.49 ± 1.23 | 18.85 ± 0.15 |

**หมายเหตุ :** [1/]each value represents the mean ± SD of duplicate analysis.

## 4.2 การทดลองที่ 2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลัง ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังระดับ 8 12 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสระดับ 0.10 และ 0.20% ต่อการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ แสดงดังตารางที่ 4.2 จากผลการทดลองพบว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน มีอิทธิพลร่วมระหว่างกากมันสำปะหลังและเอนไซม์ โดยพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 12 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% และการใช้กากมันสำปะหลัง 8 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.20% ส่งผลต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 69.37-72.26% และ 72.78-75.82% ตามลำดับ ขณะที่การใช้กากมันสำปะหลัง 12% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.20% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 67.89 และ 70.01% ตามลำดับ สำหรับการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน พบว่าไก่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 12% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($P>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 72.97% ส่วนไก่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 8 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% และกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 8 12 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.20% มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 62.66–69.51% ในส่วนของการย่อยได้ของเยื่อใยไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างกากมันสำปะหลังและเอนไซม์ไซลาเนส ($P>0.05$) สามารถสรุปได้ว่าการเสริมเอ็นไซม์ไซลาเนสทั้ง 2 ระดับ ให้ผลต่อการย่อยได้ของเยื่อใยไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ซึ่งค่าดังกล่าวลดลงเป็นแบบเส้นตรง ($L = 0.015$) ตามระดับของกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ถึง 16% เมื่อเสริมร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ เยื่อใย และการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน จากการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวกับการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อ พบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ในอาหารไก่เนื้อได้ 8-10% (Khempaka et al., 2009; ปรีดาและคณะ, 2552) และในไก่ไข่ได้ 15-25% (สุเมธและคณะ, 2552; ลัดดาวัลย์, 2557) แต่การใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้น จะส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยอยู่สูง (ประมาณ 13-14%) Jorgensen, Zhao, Enudsen and Eggum (1995) รายงานว่าเมื่อใช้วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงชนิดต่าง ๆ เช่น ใยอาหารจากถั่ว รำข้าวสาลี และรำข้าวโอ๊ต ในระดับสูงจะส่งผลต่อการลดการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ แป้ง และเยื่อใย เป็นผลมาจากการขัดขวางการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะจากเยื่อใย จากการศึกษาในครั้งนี้เยื่อใยที่อยู่ในกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยประเภทเฮมิเซลลูโลส ที่ประกอบไปด้วยเยื่อใยชนิดไซแลน และ แมนแนนเป็นส่วนใหญ่ (Wayman

et al., 2005) จัดอยู่ในกลุ่มเยื่อใยชนิดไม่ละลายน้ำ โดยเยื่อใยดังกล่าวจะเป็นตัวดูดน้ำระหว่างที่อยู่ในทางเดินอาหาร ทำให้อาหารมีความถ่วงจำเพาะสูงและไม่มีความหนืด อาหารจึงเคลื่อนที่เร็วขึ้น ทำให้เอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ทำงานได้ไม่เต็มที่ ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง (Kirwan, Smith, Mcconnell, Mitchell and Eastwood, 1974; Montagne, Pluske and Hampson, 2002) รวมถึงปริมาณเยื่อใยที่สูงเกินไปอาจขัดขวางการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะอื่น ๆ ด้วย Kluth and Rodehutscord (2009) รายงานว่าการใช้เซลลูโลสในระดับสูง จะลดการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโน นอกจากนี้การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในกากมันสำปะหลังอาจเป็นผลมาจากเยื่อใยที่ละลายน้ำที่อยู่ในกากมันสำปะหลังร่วมด้วย ซึ่งเยื่อใยที่ละลายน้ำจะดูดซับน้ำและเปลี่ยนรูปเป็นเจล ทำให้เพิ่มความหนืดในระบบทางเดินอาหาร (Bedford and Classen, 1992) เอนไซม์ย่อยอาหารที่ผลิตจากร่างกายสัตว์ไม่สามารถย่อยอาหารที่อยู่ภายในเยื่อใยได้ (Danicke, Dusel, Jeroch and Kluge, 1999) และจากการศึกษาของ Smiths, Veldman, Verstgen and Beynen. (1996) รายงานว่าเมื่อเสริม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose; CMC) ที่มีความหนืดสูงจะส่งผลต่อการลดการย่อยได้ของแป้ง โปรตีน และไขมันในไก่เนื้ออายุ 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีความหนืดต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม Khempaka, Thonkratok, Okrathok and Molee (2014) รายงานว่า การหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *A. oryzae* สามารถใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ถึง 16% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ สุภัตรา (2556) ที่รายงานว่า กากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *A. oryzae* สามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึง 24% เมื่อเปรียบเทียบกับกากมันปกติที่ใช้ได้เพียง 15-25% (สุเมธและคณะ 2552; ลัดดาวัลย์ 2557) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *A. oryzae* นอกจากสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้สูงขึ้นแล้ว เชื้อราดังกล่าวยังมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส และอะไมเลส เพื่อย่อยเยื่อใยและแป้งที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลังได้ด้วย ส่งผลให้การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะสูงขึ้น แต่การศึกษาในครั้งนี้ พบว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส สามารถเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังได้สูงขึ้น เป็นผลจากเอนไซม์ไซลาเนสย่อยเยื่อใยชนิดไซแลนในกากมันสำปะหลัง เป็นไซโลโอลิโกแซคคาร์ไรด์ รวมถึงเมื่อผนังเซลล์ถูกย่อยสลาย ทำให้โภชนะที่อยู่ภายในเซลล์ถูกปลดปล่อย ส่งผลให้เอนไซม์ที่ผลิตจากร่างกายสัตว์ สามารถย่อยโภชนะได้มากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Meng et al. (2005) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยแบบรวม (ประกอบด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เพคติเนส ไซลาเนสผสมกับกลูคาเนส และแมนแนนเนสผสมกับเซลลูเลส) สามารถเพิ่มการย่อยได้ของเยื่อใย แป้ง และการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนได้สูงขึ้น

ในการทดลองครั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากผลการย่อยได้ในทุก ๆ พารามิเตอร์แล้วจึงสรุปได้ว่า การใช้กากมันสำปะหลังทั้ง 3 ระดับ (8 12 และ 16%) ร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนสที่ระดับ 0.10% เป็นระดับที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งในแง่ของการใช้ประโยชน์โดยตัวสัตว์ และการประหยัดต้นทุนการผลิต

**ตารางที่ 4.2** ผลของการใช้กากมันสำปะหลัง ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ

| Treatment | Xylanase level | Digestibility (%) | | | N Retention (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Dry Matter | Crude fiber | Organic matter | |
| Control | | 71.61$^{ab}$ | 35.79$^{a}$ | 74.71$^{ab}$ | 65.50$^{bc}$ |
| 8% DCP [1/] | 0.10% | 70.96$^{ab}$ | 35.48$^{ab}$ | 73.98$^{ab}$ | 67.08$^{ab}$ |
| 12% DCP | | 72.26$^{a}$ | 26.60$^{b}$ | 75.82$^{a}$ | 72.97$^{a}$ |
| 16% DCP | | 69.51$^{bc}$ | 27.82$^{ab}$ | 72.78$^{b}$ | 69.51$^{ab}$ |
| 8% DCP | 0.20% | 69.95$^{abc}$ | 32.42$^{ab}$ | 73.18$^{ab}$ | 65.61$^{bc}$ |
| 12% DCP | | 67.59$^{c}$ | 25.49$^{b}$ | 70.01$^{c}$ | 62.66$^{c}$ |
| 16% DCP | | 69.37$^{bc}$ | 26.21$^{b}$ | 72.78$^{b}$ | 68.58$^{ab}$ |
| Pooled SEM | | 0.823 | 1.749 | 1.045 | 2.682 |
| Control vs. treatments | | NS[3/] | 0.024 | 0.008 | NS |
| Enzyme (0.1 vs. 0.2%) | | 0.007 | NS | 0.003 | 0.002 |
| Cassava pulp (8, 12, 16%) | | NS | 0.015[4/] | NS | NS |
| Cassava x Enzyme[2/] | | 0.008[2/] | NS | 0.003[2/] | 0.006[2/] |

**หมายเหตุ :** $^{a–c}$Means within a column with no common superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

[1/] DCP = Dried cassava pulp

[2/] Quadratic

[3/] NS = Not significant

[4/] Linear

## 4.3 การทดลองที่ 3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังทั้ง 3 ระดับร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหารในทุกช่วงอายุ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (P>0.05) โดยไก่เนื้อที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 12 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.1% ที่อายุ 7 14 21 28 35 และ 42 วันมีปริมาณอาหารที่กินเท่ากับ 133.7 497.5 1,178.5 2,198.1 3,178.1 และ 4,256.5 กรัม/ตัว ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการใช้อาหารเท่ากับ 1.29 1.41 1.58 1.73 1.79 และ 1.96 ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักตัวของไก่ พบว่าที่ช่วงอายุ 7 และ 14 วันการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 12-16% และ 8% ร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (P<0.05) ตามลำดับแต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในช่วงอายุอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (P>0.05) โดยไก่เนื้อที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 12 และ 16% ร่วมกับเอนไซม์ ไซลาเนส 0.10% ที่ช่วงอายุ 7 14 21 28 35 และ 42 วันมีค่าเท่ากับ 154.4 513.9 896.4 1,422.4 1,932.4 และ 2,320.5 กรัม/ตัว ตามลำดับ

โดยภาพรวมสรุปได้ว่า กากมันสำปะหลังสามารถใช้ในอาหารไก่เนื้อได้ถึง 16% เมื่อเสริมร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนส โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ซึ่งระดับดังกล่าวเป็นระดับที่สูงกว่าการทดลองก่อนหน้านี้ ที่รายงานว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้เพียง 8 - 10% (Khempaka et al., 2009; ปรีดาและคณะ, 2552) Khempaka et al. (2009) รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงกว่า 8% มีผลลดการกินได้ เนื่องจากเยื่อใยในกากมันสำปะหลังจะเพิ่มความฟ่าม เบา เป็นฝุ่น มีความหนาแน่นต่ำ และไม่น่ากิน รวมถึงระดับเยื่อใยที่สูงเกินไป ยังส่งลดการการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะด้วย (Weiss and Scott, 1979) การใช้กากมันสำปะหลังเสริมร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนส ไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ การเพิ่มน้ำหนักตัว และประสิทธิภาพการใช้อาหารเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมตลอดช่วงการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเอนไซม์ไซลาเนสมีบทบาทสำคัญในการย่อยเยื่อใย มีผลช่วยลดความฟ่าม และเพิ่มความน่ากินของอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบได้สูงขึ้น อีกทั้งเอนไซม์ไซลาเนสยังช่วยปลดปล่อยโภชนะชนิดต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในผนังเซลล์ ทำให้เอนไซม์ที่คัดหลั่งจากทางเดินอาหารของสัตว์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองที่ 2 ที่พบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ได้ถึงระดับ 16% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

จากการรวบรวมเอกสารเกี่ยวกับการเสริมเอนไซม์ย่อยใยในวัตถุดิบอาหารที่มีเยื่อใยสูง พบว่าให้ผลเช่นเดียวกันกับการทดลองนี้ ที่พบว่าสามารถเพิ่มระดับการใช้ได้สูงขึ้น หรือเทียบเท่ากับกลุ่มที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลัก Mathlouthi et al. (2002) รายงานว่าการใช้ข้าวสาลี และข้าวบาร์เล่ย์เป็นวัตถุดิบหลัก เสริมด้วยเอนไซม์ไซลาเนสและกลูคาเนสในไก่เนื้ออายุ 20 วัน สามารถเพิ่มน้ำหนักตัว ปริมาณการกินได้ และประสิทธิภาพการใช้อาหารได้ดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์และเทียบเท่ากับกลุ่มที่ใช้ข้าวโพด สอดคล้องกับการศึกษาของ Mathlouthi et al. (2002) ที่รายงานว่าการใช้ข้าวไรซ์ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสและกลูคาเนสในไก่เนื้อที่อายุ 18 วัน สามารถเพิ่มน้ำหนักตัว และการกินได้ดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์และเทียบเท่ากับกลุ่มที่ใช้ข้าวโพด และจากการทดลองของ Meng et al. (2004) และ (2005) ที่ทดสอบการเสริมเอนไซม์แบบรวมในอาหารไก่เนื้อ พบว่าการเสริมเอนไซม์สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ดีขึ้น จากการรวบรวมเอกสารพบว่า เอนไซม์ที่ใช้ประกอบด้วย เอนไซม์ไซลาเนสและเอนไซม์กลูคาเนสเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากวัตถุดิบอาหารหลักที่ใช้เป็นข้าวสาลีหรือข้าวบาร์เล่ย์ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้มีเยื่อใยชนิดอะราบิโนไซแลน และกลูแคนซึ่งจัดอยู่ในประเภทเฮมิเซลลูโลสเป็นหลัก การใช้เอนไซม์ไซลาเนสและเอนไซม์กลูคาเนส จะช่วยลดปัญหาจากเยื่อใยหลักในวัตถุดิบอาหารเหล่านี้ได้ เช่นเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่า กากมันสำปะหลังมีสัดส่วนของเฮมิเซลลูโลสอยู่สูง การใช้เอนไซม์ไซลาเนสจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อได้สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าข้อจำกัดในการใช้เอนไซม์ในอาหารสัตว์จำเป็นที่จะต้องรู้ชนิดของเยื่อใยที่อยู่ภายใน เพื่อให้เกิดการย่อยสลายโครงสร้างได้สูงสุด

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนสต่อคุณภาพซากของไก่เนื้อแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนสทุกระดับไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ซาก เนื้ออก เนื้อสะโพก เนื้อน่อง และไขมันช่องท้อง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) โดยไก่เนื้อที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 12 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% ที่อายุ 42 วัน มีเปอร์เซ็นต์ซากเท่ากับ 70.56 69.07 69.57 และ 70.35% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์เนื้ออกเท่ากับ 20.44 20.39 20.53 และ 21.27 ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์สะโพกเท่ากับ 10.06 10.51 10.57 และ 10.25% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์เนื้อน่องเท่ากับ 13.38 13.63 13.39 และ 13.32% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้องเท่ากับ 1.11 1.30 1.19 และ 1.16% ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม Khempaka et al. (2009) รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร 8% ขึ้นไปสามารถลดไขมันช่องท้องได้ ให้ผลสอดคล้องกับลัดดาวัลย์ (2557) รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลัง สามารถลดการสะสมโคเลสเตอรอลในไข่แดงของไก่ในช่วงอายุ 0-8 สัปดาห์แรกของการทดลอง แต่ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณไขมันช่องท้องของไก่ในกลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลัง

ทั้ง 3 ระดับร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% ไม่พบความแตกต่างกับกลุ่มควบคุม (P>0.05) อาจเนื่องมาจากทำงานของเอนไซม์ไซลาเนสในการย่อยสลายเยื่อใย ทำให้โครงสร้างของเยื่อใยมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ส่งผลให้ความสามารถในการยับยั้งการดูดซึมไขมันหรือโคเลสเตอรอลลดลง อีกทั้งโครงสร้างเยื่อใยที่ถูกย่อยสลายไป ยังมีการปลดปล่อยโภชนะต่าง ๆ ออกมา ส่งผลให้ไก่ได้รับสารอาหารเพียงพอต่อความต้องการ และมีคุณภาพซากที่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Khempaka et al. (2014) รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae*ในอาหารไก่เนื้อ ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ซาก เนื้ออก เนื้อสะโพก และไขมันช่องท้องของไก่เนื้อเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลัก นอกจากนี้ สุภัตรา (2556) รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ไม่มีผลในการลดปริมาณคลอเรสเตอรอลในไข่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเยื่อใยในกากมันสำปะหลังหมัก ถูกจุลินทรีย์เปลี่ยนโครงสร้างส่งผลให้ความสามารถในการลดโคเลสเตอรอลลดลง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ตารางที่ 4.3** ผลของการใช้กากมันสำปะหลัง ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ

| | | 0.10% Xylanase | | | Pooled |
|---|---|---|---|---|---|
| **Item** | **Control** | **8% DCP** | **12% DCP** | **16% DCP** | **SEM[1/]** |
| BW, g/bird | | | | | |
| Day 0 | 50.9 | 50.9 | 51.0 | 51.0 | 0.03 |
| Day 7 | 161.3[a] | 155.0[ab] | 151.3[b] | 150.0[b] | 2.96 |
| Day 14 | 587.5 | 500.0 | 490.0 | 478.3 | 37.58 |
| Day 21 | 942.9[a] | 863.3[b] | 885.0[ab] | 894.3[ab] | 20.29 |
| Day 28 | 1412.4[ab] | 1501.6[a] | 1391.2[b] | 1384.3[b] | 32.13 |
| Day 35 | 2030.6 | 1897.8 | 1935.6 | 1865.4 | 57.10 |
| Day 42 | 2378.8 | 2306.6 | 2308.5 | 2288.2 | 35.31 |
| Cumulative feed intake, g/bird | | | | | |
| Day 7 | 136.7 | 135.5 | 133 | 129.6 | 4.54 |
| Day 14 | 515.5 | 493 | 495.5 | 486.3 | 9.55 |
| Day 21 | 1209.1 | 1160 | 1171.8 | 1173.2 | 12.04 |
| Day 28 | 2154.9 | 2244.1 | 2158 | 2235.4 | 34.59 |
| Day 35 | 3160.8 | 3183.9 | 3154.8 | 3212.8 | 41.46 |
| Day 42 | 4185.7 | 4354.2 | 4203.9 | 4282.3 | 75.82 |
| FCR, g of feed/g of BW | | | | | |
| Day 7 | 1.24 | 1.30 | 1.33 | 1.31 | 0.038 |
| Day 14 | 1.28 | 1.43 | 1.46 | 1.48 | 0.080 |
| Day 21 | 1.54 | 1.64 | 1.59 | 1.58 | 0.034 |
| Day 28 | 1.73 | 1.66 | 1.74 | 1.81 | 0.050 |
| Day 35 | 1.70 | 1.82 | 1.77 | 1.87 | 0.056 |
| Day 42 | 1.88 | 2.02 | 1.95 | 2.02 | 0.040 |

**หมายเหตุ :** [a,b,c]Means with different superscripts in a row are significantly different (P<0.05).

[1/]Standard error of the mean (n = 4)

**ตารางที่ 4.4** ผลของการใช้กากมันสำปะหลัง ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อคุณภาพซากของไก่เนื้อ

| Item | Control | 0.10% Xylanase | | | Pooled SEM[1/] |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 8%DCP | 12%DCP | 16%DCP | |
| | | % Live weight (g/100 g BW) | | | |
| Eviscerated | 70.56 | 69.07 | 69.57 | 70.35 | 0.65 |
| Giblets | 7.59 | 8.21 | 7.95 | 8.05 | 0.18 |
| | | % Eviscerated carcass (g/100 g BW) | | | |
| Breast | 20.44 | 20.39 | 20.53 | 21.27 | 0.69 |
| Filler | 5.46 | 5.25 | 5.45 | 5.53 | 0.16 |
| Thigh | 13.46 | 13.92 | 14.11 | 13.71 | 0.34 |
| Thigh meat | 10.06 | 10.51 | 10.57 | 10.25 | 0.33 |
| Drumstick | 15.80 | 16.06 | 16.48 | 15.83 | 0.44 |
| Drumstick meat | 13.38 | 13.63 | 13.39 | 13.52 | 0.39 |
| Abdominal fat | 1.11 | 1.30 | 1.19 | 1.16 | 0.18 |

**หมายเหตุ :** [1/]Standard error of the mean (n = 4)

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนสต่อน้ำหนักและความยาวอวัยวะภายในระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังทั้ง 3 ระดับร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% ไม่ส่งผลในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และความยาวของอวัยวะในทางเดินอาหารของไก่เนื้อเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (P>0.05) จากการรวบรวมเอกสารพบว่า เยื่อใยชนิดไม่ละลายน้ำมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และความยาวของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการย่อยและดูดซึมอาหาร โดยส่งผลต่อการลดความยาวของลำไส้เล็ก น้ำหนักของกระเพาะอาหาร (Jimenez-Moreno, Gonzalez-Alvarado, Gonzalez-Sanchez, Lazaro, and Mateos, 2010) ช่วยพัฒนากึ๋น กึ๋นมีน้ำหนักและความจุที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการบดย่อยอาหารมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น (Svihus, 2011; González-alvarado, Jiménez-Moreno, Lázaro and Mateos, 2007;) รวมถึงเพิ่มอัตราการไหลผ่านของอาหารผ่านทางเดินอาหารได้เร็วขึ้น (Khempaka et al., 2009; Sklan, Smirnov and Plavnik, 2003) โดยไก่มีน้ำหนักกึ๋นเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากเยื่อใยมีขนาดใหญ่และแข็ง ทำให้กึ๋นบดอาหารได้ยากขึ้น จนเกิดการพัฒนากล้ามเนื้อ และอาจส่งผลทำให้ลำไส้เล็กส่วนดูโอดีนัมมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น เนื่องจากลำไส้ส่วนนี้เป็นส่วนที่อยู่ติดกับกึ๋นเมื่ออาหารที่ผ่านจากกึ๋นมีขนาดใหญ่ส่งผลต่อการขยายลำไส้ในส่วนนี้ด้วย (Incharoen, 2013) แต่อย่างไรก็ตามการใช้

กากมันสำปะหลัง 8 12 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมอาจเป็นผลมาจากเอนไซม์ไซลาเนสช่วยย่อยสลายโครงสร้างเยื่อใยให้มีขนาดเล็กลง ลดการทำงานของกึ๋นในการบดอาหารลง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Gao et al. (2007) รายงานว่าการใช้ข้าวสาลีร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเดินอาหารของไก่เนื้อที่อายุ 49 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ไซลาเนส

**ตารางที่ 4.5** ผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในสูตรอาหารกากมันสำปะหลังต่อความยาว และน้ำหนักของอวัยวะในระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อ

| | | 0.10% Xylanase | | | Pooled |
|---|---|---|---|---|---|
| **Item** | **Control** | **8% DCP** | **12% DCP** | **16% DCP** | **SEM[1/]** |
| Organ length (cm/100g BW) | | | | | |
| Duodenum | 1.35 | 1.34 | 1.36 | 1.32 | 0.04 |
| Jejunum | 3.04 | 3.24 | 3.30 | 3.24 | 0.12 |
| Ileum | 3.35 | 3.58 | 3.66 | 3.58 | 0.14 |
| Ceca | 0.79 | 0.86 | 0.84 | 0.83 | 0.03 |
| Organ weight (g/100g BW) | | | | | |
| Heart | 0.45 | 0.49 | 0.45 | 0.51 | 0.03 |
| Liver | 1.97 | 2.22 | 2.25 | 2.04 | 0.13 |
| Pancreas | 0.20 | 0.21 | 0.18 | 0.20 | 0.01 |
| Spleen | 0.31 | 0.41 | 0.43 | 0.39 | 0.05 |
| Proventiculus | 0.71 | 0.72 | 0.72 | 0.70 | 0.04 |
| Gizzard | 1.39 | 1.46 | 1.32 | 1.56 | 0.07 |
| Duodenum | 0.44 | 0.46 | 0.43 | 0.46 | 0.02 |
| Jejunum | 1.00 | 1.03 | 0.97 | 0.99 | 0.05 |
| Ileum | 0.82 | 0.88 | 0.87 | 0.91 | 0.04 |
| Ceca | 0.34 | 0.34 | 0.35 | 0.30 | 0.04 |

**หมายเหตุ :** [1/]Standard error of the mean (n = 4)

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนสต่อคุณภาพสีของเนื้อไก่แสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า การใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนสทั้ง 3 ระดับไม่ส่งผลต่อสีของ

เนื้ออกและสะโพกของไก่เนื้อ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลัก (P>0.05) สอดคล้องกับการศึกษาของ Khempaka et al. (2014) รายงานว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ 16% โดยไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไก่ที่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม แต่จากการศึกษาในไก่ไข่พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังส่งผลทำให้สีของไข่แดงลดลง (สุเมธและคณะ, 2552; ลัดดาวัลย์, 2557) เนื่องจากการสะสมสารสีในไข่แดงนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณสารแซนโทฟิลล์ในอาหาร สัตว์ปีกไม่มีความสามารถในการสังเคราะห์สารแซนโทฟิลล์ขึ้นได้เอง ดังนั้นกลไกในการเกิดสีในไข่แดง เกิดจากการสะสมสารออกซีแคโรทีนอยด์หรือสารแซนโทฟิลล์ในอาหาร (Fox and Vevers, 1960) แต่ในการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างสีของเนื้อไก่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อาจเป็นผลมาจากการสะสมของสารสีในเนื้อและไข่ไก่มีความเข้มข้นของการสะสมที่แตกต่างกัน โดยสารสีจะสะสมมากในไขมันซึ่งในไข่แดงมีปริมาณไขมันที่มากกว่าในเนื้อจึงทำให้สีที่ได้รับมีผลแตกต่างกันชัดเจนกว่าในเนื้อไก่ หรือการทำสูตรอาหารทดลองที่ใช้กากมันสำปะหลังเสริมเอนไซม์ไซลาเนสยังมีปริมาณของข้าวโพด กากถั่วเหลือง หรือถั่วเหลืองไขมันเต็มอยู่ ทำให้ไก่ได้รับสารสีที่ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม

**ตารางที่ 4.6** ผลของการใช้กากมันสำปะหลัง ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสต่อลักษณะสีของเนื้อไก่

| **Item** | **0.10% Xylanase** | | | | **Pooled** |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Control** | **8% DCP** | **12% DCP** | **16% DCP** | **SEM**[1] |
| Lightness *L value | | | | | |
| Breast meat | 62.977 | 60.518 | 62.314 | 63.432 | 0.96 |
| Thigh meat | 56.685 | 57.449 | 58.623 | 57.445 | 1.49 |
| Redness *a value | | | | | |
| Breast meat | 1.332 | 1.160 | 1.228 | 0.736 | 0.38 |
| Thigh meat | 3.794 | 3.382 | 4.240 | 3.907 | 0.44 |
| Yellowness *b value | | | | | |
| Breast meat | 2.195 | 1.807 | 1.378 | 0.989 | 0.43 |
| Thigh meat | 2.337 | 2.282 | 1.883 | 1.413 | 0.38 |

**หมายเหตุ :** [1/]Standard error of the mean (n = 4)

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนสในอาหารไก่เนื้อ ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย และแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 จากผลการทดลองในไก่เนื้อที่อายุ 21 วัน พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 และ 12% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% ส่งผลให้จำนวนประชากรจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *E. coli* ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) โดยประชากรจุลินทรีย์ *E. coli* ของไก่ในกลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 และ 12% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสมีจำนวนเท่ากับ 3.91 และ 3.89 log CFU/g ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังทั้ง 3 ระดับ (8 12 และ 16%) ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนเชื้อ *Lactobacillus* เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) โดยมีจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 5.69 5.69 และ 5.48 log CFU/g ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลต่อปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ที่พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริกในซีกัมเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) โดยมีปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริกมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.12 3.68 3.18 และ 3.21 0.48 0.43 0.44 และ 0.43 2.13 0.88 1.07 และ 1.70 ไมโครโมลต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับปริมาณการผลิตแอมโมเนียที่ให้ผลไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) เช่นเดียวกัน โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.25 0.24 0.21 และ 0.32 กรัม/100 กรัม ในกลุ่มควบคุมและการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 12 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสตามลำดับ

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนสในไก่เนื้ออายุ 42 วันพบว่า การใช้กากมันสำปะหลังทั้ง 3 ระดับร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% ในสูตรอาหารไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรจุลินทรีย์ และปริมาณการผลิตกรดไขมันระเหยง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) โดย *E. coli* และ *Lactobacillus* มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.91 4.12 4.36 4.43 log CFU/g และ 4.97 4.90 5.08 4.96 log CFU/g ตามลำดับ สำหรับกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิค และกรดบิวทิริกมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.10 2.97 3.08 และ 2.68 0.43 0.45 0.43 และ 0.45 1.34 1.37 1.44 และ 1.32 ไมโครโมลต่อกรัมในกลุ่มควบคุมและการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 12 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสตามลำดับ นอกจากนี้การศึกษาปริมาณแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อที่อายุ 42 วัน พบว่าไก่เนื้อในกลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลัง 12 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 0.10% มีปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 และ 0.35 กรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 กรัม ($P<0.05$)

โดยทั่วไป เยื่อใยในอาหารสัตว์ไม่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์ที่ผลิตจากร่างกายสัตว์ เยื่อใยเหล่านี้ถูกส่งผ่านไปยังลำไส้ส่วนท้ายและถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่อยู่ภายใน ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (Giusi-Perier, Fiszlelewicz, and Rerat, 1989) และแก๊สต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน แก๊สมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น (Jensen and Jorgensen, 1994) โดยเยื่อใยที่เป็นแหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยชนิดที่ละลายน้ำ (Bach et al. 1993;

Canibe and Bach, 1997) กรดไขมันระเหยง่ายที่ผลิตจากจุลินทรีย์ในซีกัมเมื่อมีปริมาณสูงทำให้สภาวะแวดล้อมภายในซีกัมมี pH ต่ำ ส่งผลเสียต่อจุลินทรีย์ก่อโรค ทำให้จำนวนของจุลินทรีย์ก่อโรคมีจำนวนลดลง (Russel, 1992; Van der Wielen et al., 2000) เช่น *E. coli* หรือ *Salmonella* เป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตแอมโมเนียได้ เมื่อจุลินทรีย์เหล่านี้มีจำนวนลดลง อาจส่งผลต่อการลดแอมโมเนียที่ลดลงด้วย อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า การใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในอาหารไก่เนื้อ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายในซีกัมของไก่เนื้อทั้ง 2 ช่วงอายุ (21 และ 42 วัน) ในขณะที่ ลัดดาวัลย์ (2557) รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ สามารถเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในกลุ่ม Lactic acid bacteria (*Lactobacillus* และ *Bifidobacteria*) และเพิ่มการผลิตกรดอะซิติกในซีกัมของไก่ไข่ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากเอนไซม์ไซลาเนสมีการย่อยสลายเยื่อใยในกากมันสำปะหลังส่งผลให้จุลินทรีย์มีปริมาณเยื่อใยที่จะใช้หมักย่อยน้อยลง ส่งผลให้การผลิตกรดไขมันระเหยง่ายชนิดต่าง ๆ ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนจุลินทรีย์ *Lactobacillus* ที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Yang et al. (2008); Gao et al. (2007); Luo, Yang, Yang, Yao, Shi and Zhou (2009); Engberg et al. (2004) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในอาหารที่ใช้ข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบหลักไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์และกรดไขมันระเหยง่ายในซีกัมของไก่เนื้อ แต่อย่างไรก็ตามในไก่อายุ 42 วัน พบว่าปริมาณแอมโมเนียในไก่ที่ใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 และ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสมีค่าที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม ถึงแม้ว่าประชากรจุลินทรีย์ *E. coli* จะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้การผลิตแอมโมเนียอาจเป็นผลมาจากเชื้อจุลินทรีย์ตัวอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น *Klebsiella spp., Proteus spp*, และ *Pseudomonas spp*. (O'Grady, 1996) ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้ตรวจสอบเชื้อเหล่านี้ ซึ่งกลไกที่ส่งผลให้ไก่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 12 และ 16% มีการผลิตสูงขึ้นยังไม่ทราบแน่ชัด แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากสมรรถนะการเจริญเติบโตและคุณภาพซาก พบว่าให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมร่วมด้วยเช่นเดียวกัน

**ตารางที่ 4.7** ผลของการใช้กากมันสำปะหลัง ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย และแอมโมเนียในซีกัมของไก่เนื้อ

| Item | | 0.10% Xylanase | | | Pooled |
|---|---|---|---|---|---|
| | Control | 8% DCP[1] | 12%DCP | 16%DCP | SEM |
| 21 days | | | | | |
| Microbial (log CFU/g) | | | | | |
| *E.coli* | 4.61[a] | 3.91[b] | 3.89[b] | 4.18[ab] | 0.162 |
| *Lactobacillus* | 5.60 | 5.69 | 5.69 | 5.48 | 0.142 |
| VFAs (µmol/g) | | | | | |
| Acetic acid | 3.12 | 3.68 | 3.18 | 3.21 | 0.223 |
| Propionic acid | 0.48 | 0.43 | 0.44 | 0.43 | 0.181 |
| Butyric acid | 2.13 | 0.88 | 1.07 | 1.70 | 0.444 |
| Ammonia[3](g/100g) | 0.25[ab] | 0.24[ab] | 0.21[b] | 0.32[a] | 0.026 |
| 42 days | | | | | |
| Microbial (log CFU/g) | | | | | |
| *E.coli* | 3.91 | 4.12 | 4.36 | 4.43 | 0.251 |
| *Lactobacillus* | 4.97 | 4.90 | 5.08 | 4.96 | 0.105 |
| VFAs (µmol/g) | | | | | |
| Acetic acid | 3.10 | 2.97 | 3.08 | 2.68 | 0.262 |
| Propionic acid | 0.43 | 0.45 | 0.43 | 0.45 | 0.006 |
| Butyric acid | 1.34 | 1.37 | 1.44 | 1.32 | 0.090 |
| Ammonia(g/100g) | 0.16[b] | 0.25[ab] | 0.30[a] | 0.35[a] | 0.038 |

**หมายเหตุ :** [a,b] Means with different superscripts in a row are significantly different (P<0.05).

[1] Dried cassava pulp

# บทที่ 5
# สรุปและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุป

จากการศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังในหลอดทดลอง และการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก จำนวนประชากรจุลินทรีย์และการผลิตกรดไขมันระเหยง่ายของไก่เนื้อสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ระดับของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสที่เหมาะสมต่อการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังในหลอดทดลองคือ 0.1% และ 0.2% เนื่องจากมีผลการย่อยได้ของเยื่อใยและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีค่าสูง

5.1.2 การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 16% ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง เยื่อใย และอินทรีย์วัตถุ และการใช้ประโยชน์ของโปรตีน โดยการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสที่ระดับ 0.1% และ 0.2% ให้ผลไม่แตกต่างกัน

5.1.3 กากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่เนื้อได้ถึง 16% เมื่อเสริมร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนส 0.1% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก จำนวนประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตกรดไขมันระเหยง่ายในซีกัมของไก่เนื้อ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส จำเป็นต้องพิจารณาเรื่องราคาของข้าวโพดร่วมด้วย เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนและพลังงานต่ำกว่าข้าวโพด จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งของโปรตีนและพลังงานอื่นเพิ่มเติม อีกทั้งในขณะที่ทำงานทดลองครั้งนี้เอนไซม์ไซลาเนสยังมีราคาแพงทำให้ต้นทุนเพิ่มสูงขึ้น หากมีการนำมาใช้ควรพิจารณาในเรื่องของความต่างของราคาข้าวโพดกับกากมันสำปะหลังว่าคุ้มทุนหรือไม่

5.2.2 การใช้เอนไซม์ไซลาเนสในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตอาหารเชิงอุตสาหกรรม จำเป็นต้องมีการอัดเม็ดอาหาร เอนไซม์ไซลาเนสสามารถทนความร้อนได้เพียง 90 องศาเซลเซียสโดยไม่เสียสภาพก็จะเป็นอีกปัจจัยที่ควรระวังในการนำไปใช้ และในกากมัน

สำปะหลังยังมีเยื่อใยชนิดอื่น ๆ อยู่ร่วมด้วย เช่น เซลลูโลส การเสริมเอนไซม์เซลลูเลสร่วมกับเอนไซม์ไซลาเนส น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยเยื่อใยที่อยู่ในกากมันสำปะหลังได้มีประสิทธิภาพมากกว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสเพียงชนิดเดียว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# รายการอ้างอิง


กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2551). อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง [ออนไลน์] ได้จาก: **http://www.diw.go.th/EMS%20for%20SMEs%20Website/page/page%2028.html**

กล้าณรงค์ ศรีรอต, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, วัชรี เลิศมงคล, จำลอง เจียมจำนรรจา, ปิยะ ดวงพับตรา, เอ็จ สโรบล, ปิยะวุฒิ พูนสงวน, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์ และ วิจารณ์ วิชชุกิจ. (2542). การแปรรูปและการใช้ประโยชน์มันำปะหลัง. **มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**, กรุงเทพฯ. 21 หน้า.

วริยา โกสุม, นารีรัตน์ เจริญวัฒนสกุล, ยุวเรศ เรืองพานิช, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง และ เสกสม อาตมางกูร. (2552) คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของกากมันสำปะหลัง. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47**. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า. 117-124.

วิภาสิริ เสภารัตนานันท์. (2549). การใช้มันเส้นและใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพและปริมาณโปรตีนในไก่ไข่. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 43.** สาขาสัตวศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 43-52**.**

ธิดาพร สุดยิ่ง, อรประพันธ์ ส่งเสริม, เสกสม อาตมางกูร และ ยุวเรศ เรืองพานิช (2552). ผลของการเสริม NSP - degrading enzymes ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47**. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 58-65.

บุญล้อม ชีวอิสระกุล. (2546). **ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปรีดา คำศรี, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และ ณัฐชนก อมรเทวภัทร. (2552). ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อ. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 47.** สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 132-140.

มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. (2552). **ผลสำรวจมันสำปะหลัง** [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.tapiocathai.org/L1html

ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนาภิรักษ์. (2538). เส้นใยอาหารกับคุณภาพชีวิต. **ว. คุณภาพเพื่อชีวิต**. 2: 63-67**.**

ลัดดาวัลย์ หอกกิ่ง. (2557). ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อการย่อยได้ สมรรถนะการผลิต

คุณภาพไข่ คลอเรสเตอรอลในไข่แดง และการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในไก่ไข่ วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

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

สุเมธ ไตรพฤษชาติ, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง. (2552) ผลของระดับกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 47**. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 165-173.

สุภัทตรา โอกระโทก. (2557). ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *Aspergillus oryzae* เพื่อเป็นอาหารในไก่ไข่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

Alam, M. J., Howlider, M. A. R., Pramanik, M. A. H. and Haque, M. A. (2003). Effect of exogenous enzyme in diet on broiler performance. **Int. J. Poult. Sci**. (2): 168-173.

Ali, D., Soewarno, N., Sumarno, Primarini, D. and Sumaryono, W. (2011). Cassava pulp as a biofuel feedstock of an enzymatic hydrolysis process. **MAKARA. J. Technol**. 2: 183-192.

A. O. A. C. (2000). **Official Methods of Analysis**. 17th ed. Assoc. Anal. Chem., Arlington, VA.

Babayemi, O. J., Ifut, O. J., Inyang, U. A. and Isaac, L. J. (2010). Quality and chemical composition of cassava waste ensiled with *Albizia saman* pods. **Agri. J.** 5: 225-228.

Bach - Knudsen, K. E., Jensen, B. B. and Hansen, I. (1993). Digestion of polysaccharides and other major components in the small and large intestine of pigs fed diets consisting of oat fractions rich in β-D-glucan. **Br. J. Nutr.** 70: 537-556.

Bedford, M. and Classen, H. (1992). The influence of dietary xylanase on intestinal viscosity and molecular weight distribution of carbohydrates in rye-fed broiler chick. **Progress in Biotechnology**, 7: 361-370 pp. **Elsevier**, Amsterdam, The Netherlands.

Biely, P., Vrsanska, M. and Kucar, S. (1992). Identification and mode of action of endo-(1->4)-β-xylanases. **Progress in Biotechnology**, Vol. 7: 81 - 95. **Elsevier**, Amsterdam, The Netherlands.

Buchanan, N. P., Kimbler, L. B., Parsons, A. S., Seidel, G. E., Bryan, W. B., Felton, E. E. D. and Moritz, J. S. (2007). The effects of nonstarch polysaccharide enzyme addition and dietary energy restriction on performance and carcass quality of organic broiler chickens. **J. Appl. Poult. Res** 16 : 1 - 12.

Challenge Group. (2007). Xylanase. [Online]. Feb 23 Available : **http://www.challenge.com.cn/english/2007/1015/article_15.html**

Canibe, N. and Bach Knudsen, K. E. (1997). Apparent digestibility of non-starch polysaccharides and short chain fatty acids production in the large intestine of pigs fed dried or toasted peas. **Acta Agric. Scand**. 47: 106-116.

Chaplin, M. (2001). Production of glucose syrup. [Online] jan 17. Available : **http://www.sbu.ac.uk/biology/enztech/glucose.html**

Coughlan, M. P., Tuohy, M. A., Filho, E. X. F., Puls, J., Claeyssens, M., Vrsanska, M. and Hughes, M. M. (1993). Enzymological aspects of microbial hemicellulases with emphasis on fungal systems. In: Coughlan, M.P. and Hazlewood, G.P. (eds.) Hemicellulose and hemicellulases. **Portland Press, London**, pp. 53–84.

Danicke, S., Dusel, G., Jeroch, H. and Kluge, H. (1999). Factors affecting efficiency of NSP degrading enzymes in rations for pigs and poultry. **Agribiol. Res**. 52: 1-24.

Dusel, G., Kluge, H. and Jeroch, H. (1998). Xylanase supplementation of wheat based rations for broiler influence of wheat characteristics. **J. Appl. Poult. Res**. 7: 119-131.

Engberg, R. M., Hedemann, M. S., Steenfeldt, S. and Jensen, B. B. (2004). Influence of whole wheat and xylanase on broiler performance and microbial composition and activity in the digestive tract. **Poult. Sci**. 83:925–938.

Enzyme. (n.d.) Mode of enzyme activity lock and key model. April 3 [Online] Avilable : **http://www.wikipedia.org/wiki/Enzyme**

Fox, H. M. and Vevers, G. (1960). **The nature of animal colours**. Sidgwick and Jackson Ltd., London.

Gao, F., Jiang, Y., Zhou, G. H. and Han, Z. K. (2007). The effects of xylanase supplementation on performance characteristics of the gastrointestinal tract blood parameters and gut microflorain broilers fed on wheat based diets. **Anim. Feed Sci. Technol**. 142: 173-184.

González-alvarado, J. M., Jiménez-Moreno, Lázaro, R. and Mateos, G. G. (2007). Effects of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. **Poult. sci**. 86:1705–1715.

Giusi-Perier, A., Fiszlelewicz, M. and Rerat, A. (1989). Influence of diet composition on intestinal volatile fatty acids and nutrient absorbtion in unanesthetized pigs. **J. Anim. Sci**. 67: 386-402.

Hetland, H. and Svihus, B. (2005). Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chicks. **Br. Poult. Sci**. 42: 354-361.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Incharoen, T. (2013). Histological adaptations of the gastrointestinal tract of broilers fed diets containing insoluble fiber from rice hull meal. **Am. J. Vet. Res**. 8: 79-88.

Jensen, B. B. and Jorgensen, H. (1994). Effect of dietary fiber on microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs. **Appl. Environ. Micro**. 60: 1897-1904.

Jimenez-Moreno, E., Gonzalez-Alvarado, J. M., Gonzalez-Sanchez, D., Lazaro, R. and Mateos, G. G. (2010). Effect of type and partical size of dietary fiber on growth performance and digestive traits of broilers from 1 to 21 days of ages. **Poult. Sci**. 89: 2197-2212.

Jorgensen, H., Zhao, Q. X., Enudsen, K. E. B. and Eggum, O, B. (1995). The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. **Bri. J. Nutr**. 15: 379-395.

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

Khempaka, S., Thonkratok R., Okrathok S. and Molee W. (2014). An evaluation of cassava pulp feedstuff fermented with *A. oryzae*, on growth performance, nutrient digestibility and carcass quality of broilers. **J. Poult. Sci**. 51: 71-79.

Kirwan , W. O., Smith, A. N., Mcconnell, A. A., Mitchell, W. D. and Eastwood, M A. (1974). Action of different bran preparations on colonic function. **Br. Med. J.** 4: 187.

Kluth, H. and Rodehutscord, M. (2009). Effect of inclusion of cellulose in the diet on the inevitable endogenous amino acid losses in the ileum of broiler chicken. **Poult. Sci.** 88 : 1199–1205.

Kocher, A., Choct, M., Porter, M. D. and Broz, J. (2000). The effects of enzyme addition to broiler diets containing high concentrations of canola or sunflower meal. **Poult. Sci**. 79: 1767-1774.

Luo, D., Yang, F., Yang, X., Yao, J., Shi, B. and Zhou, Z. (2009). Effect of xylanase on performance blood parameters intestinal morphology microflora and digestive enzyme activities of broilers fed wheat based diets. **Asian-Aust. J. Anim. Sci**. 22: 1288 - 1295

Malathi, V. and Devegowda G. (2001). In vitro evaluation of nonstarch polysaccharide digestibility of feed ingredients by enzymes. **Poult. Sci.** 80: 302-305.

Mathlouthi, N., Mallet, S., Saulnier, L., Quemener, B. and Labier, M. (2002). Effects of xylanase and beta-glucanase addition on performance, nutrient digestibility, and physico chemical

conditions in the small intestine contents and caecal microflora of broiler chickens fed a wheat and barley based diet. **Anim. Res**. 51: 395-406.

Mathlouthi, N., Mallet, S., Saulnier, L., Quemener, B. and Labier, M. (2002). Xylanase and B glucanase supplementation improve conjugated bile acid fraction in intestinal contents and increase villus size of small intestine wall in broiler chickens fed a rye-based diet. **J. Anim. Sci**. 80: 2773-2779.

Mateos, G. G., E. Jiménez-Moreno , M. P. Serrano and R. P. Lázaro. (2012). Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. **J. Appl. Poult**. **Res**. 21: 156-174.

Meng, X., Slominski, B. A. and Guenter, W. (2004). The effect of fat type carbohydrase and lipase addition on growth performance and nutrient utilization of young broiler fed wheat based diets. **Poult. Sci**. 83: 1718-1727.

Meng, X., Slominski, B. A., Nyachoti, C. M., Campbell, L. D. and Guenter, W. (2005). Degradation of cell wall polysaccharides by combinations of carbohydrase enzymes and their effect on nutrient utilizationand broiler chicken performance. **Poult. Sci**. 84: 37-47.

Meng, X. and Slominski, B. A. (2005). Nutritive values of corn soybean meal canola meal and peasfor broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. **Poult. Sci**. 84: 1242-1251.

Michard, J. (2011). Dietary fibre the forgotten nutrient. [Online]. Avilable: **http://www.hubbard breeders .com/hip/ART_Zootecnica_2013-11_Dietary%20fibre%20 (J.%20 Michard).pdf**

Michel, J. L. and Burtor, E. P. (1995). **A photographic atlas for the microbiology laboratory.** Mortor Publishing, New York. 206 p.

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

Montagne, L., Pluske, J. R. and Hampson, D. J. (2003). A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non - ruminant animals. **Anim. Feed. Sci. Technol**. 108: 95-117.

Motta F. L., Andrade, C. C. P. and Santan, M. H. A. (2013). A review of xylanase production by the fermentation of xylan: classification, characterization and applications. [Online] Avilable: **http://dx.doi.org/10.5772/53544**

Mushtaq, T., Sarwar, M., Ahmad, G., Nisa, M. U. and Jamil, A. (2006). The influence of

exogenous multienzyme preparation and graded levels of digestible lysine in sunflower meal based diet on the performance of young broiler chicks two weeks posthatching. **Poult. Sci**. 85: 2180-2185.

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

O'Grady, F. W. (1996). Differences in ammonia production by faecal bacteria of patients with hepatic encephalopathy. **Proc. Roy. Soc. Med**. 59: 1246.

Rattanachomsri, U., Tanapongpipat, S., Eurwilaichirt, L. and Champreda, V. (2009). Simultaneous non-thermal saccharification of cassava pulp by multi-enzyme activity and ethanol fermentation by Candida tropicalis. **J. Biosci. Bioeng** 107. (5): 488-493.

Russell, J. B. (1992). Another explanation for the toxicity of fermentation acids at low pH: anion accumulation versus uncoupling. **J. Appl. Bacteriol**. 73: 363 - 370.

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

Scheller, H. V. and Ulvskov, P. (2010). Hemicellulose. **Annu. Rev. Plant Biol**. 61: 263-289.

Sklan, D., Smirnov, A. and Plavnik, I. (2003). The effect of dietary fiber on the small intestines and apparent digestion in the turkey. **Br. Poult. Sci**. 44: 735-740.

Smiths, C. H. M., Veldman, A., Verstgen, M. W. A. and Beynen, A. C. (1996). Dietary carboxymethylcellulose with high instead of low viscosity reduces macronutrient digestion in broiler chickens. **J. Nutr**. 127: 483-487.

Southgate, D.A.T., (1995). Dietary fibre analysis. In: RSC Food Analysis Monographs. **The Royal Society of Chemistry**, Cambridge, 174 pp

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. **In carbohydrate polymers**. 38: 161-170.

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

Sriroth, K. (2006). Outlook of biomass utilizationas biofuel in Thailand. Aug 14 Available : **http://unit.aist.go.jp/internat/biomasswsAccessed**

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.

Svihus, B. (2011). The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. **World's Poult. Sci. J**. 67: 207-224.

Tang, D. F., Ru, Y. L., Song, S. Y., Choct, M. and Iji, P. A. (2012). The effect of cassava chips pellets pulp and mize based diets on performance digestion and metabolism of nutrients for broilers. **J. Anim. Vet. Adv**. 9: 1332-1337.

Vandeplas, S., Dauphin, R. D., Thiry, C., Beckers, Y., Welling, G. W., Thonart, P. and Thewis, A.. (2009). Efficiency of a *Lactobacillus plantarum*-xylanase combination on growth performances, microflora populations, and nutrient digestibilities of broilers infected with *Salmonella* Typhimurium. **Poult. Sci**. 88: 1643-1654.

Van der Wielen, P. W. J. J., Biesterveld, S., Notermans, S., Hofstra, H., Urlings, B. A. P. and Van Knapen, F. (2000). Role of volatile fatty acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. **Appl. Environ. Microbiol**. 66: 2536-2540.

Weiss, F. G. and Scott, M. L. (1979). Effects of dietary fiber, fat and total energy upon plasma cholesterol and other parameters in chicken. **J. Nutr**. 109: 693-701.

Willis, R. B., Montgomery, M. E. and Allen, P. R. (1996). Improved method for manual, colorimetric determination of total Kjeldahl nitrogen using salicylate. **J. Agric. Food Chem.** 1804-1807.

Wyman, C. E., Decker, S. R., Himmel, M. E., Brady, J. W., Skopec, C. E. and Viikari, L. (2005). Hydrolysis of cellulose and hemicellulose. In Serverian, D. (ed.) **Polysaccharides: structural diversity and functional versatility**. (2th 1023 - 1062). New York, U. S. A.: Marcel decker. Inc.

Yang, Y., Iji, P. A., Kocher, A., Mikkelsen, L. L. and Choct, M. (2008). Effects of xylanase on growth and gut development of broiler chickens given a wheat based diet. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** 21: 1659-1664.

Zanella, I., Sakomura, N. K., Silversides, F. G., Fiqueirdo, A. and Pack, M. (1999). Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans. **Poult. Sci**. 78: 561-568.

Zdunczyk, Z., Juskiewicz, J., Jankowski, J., Biedrzycka, E. and Koncicki, A. (2005). Metabolic response of the gastrointestinal tract of turkeys to diets with different levels of mannanoligosaccharide. **Poult. Sci.** 84: 903-909.

# ภาคผนวก

# วิธีการดำเนินงานในห้องปฏิบัติการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## วิธีการดำเนินงานในห้องปฏิบัติการ

### 1. การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตามวิธีการของ Miller (1959)

**วัสดุและอุปกรณ์**

1. หลอดทดลอง
2. ฝาปิดหลอดทดลอง
3. ไมโครไปเปต
4. ทิป
5. Heating block
6. Vortex
7. คิวเวท
8. เครื่องวัดความยาวแสง (Spectrophotometer)

**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 องศาเซลเซียส) 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 3,000 รอบ เป็นเวลา 15 นาที ) ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง
3. นำไปต้มใน Heating block ให้สารละลายในหลอดทดลองเดือด (100 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 10 นาที
4. หลังจากต้มเสร็จนำมาใส่ในอ่างน้ำแข็ง
5. เติมน้ำกลั่นลงไปปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร

7. นำค่าที่ได้ไปคำนวนหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานไซโลส

**การเตรียมกราฟมาตรฐานไซโลส**

1. เตรียมสารละลายไซโลสมาตรฐาน เตรียมโดยชั่งไซโลส 5 กรัมละลายในน้ำกลั่นปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตร

2. ดูดสารละลายไซโลสจากข้อ 1 เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในปริมาตร 1 มิลลิลิตร

3. เติมสารละลาย DNS ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4. นำไปต้มใน Heating block ให้สารละลายในหลอดทดลองเดือด (100 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 10 นาที

5. หลังจากต้มเสร็จนำมาใส่ในอ่างน้ำแข็ง

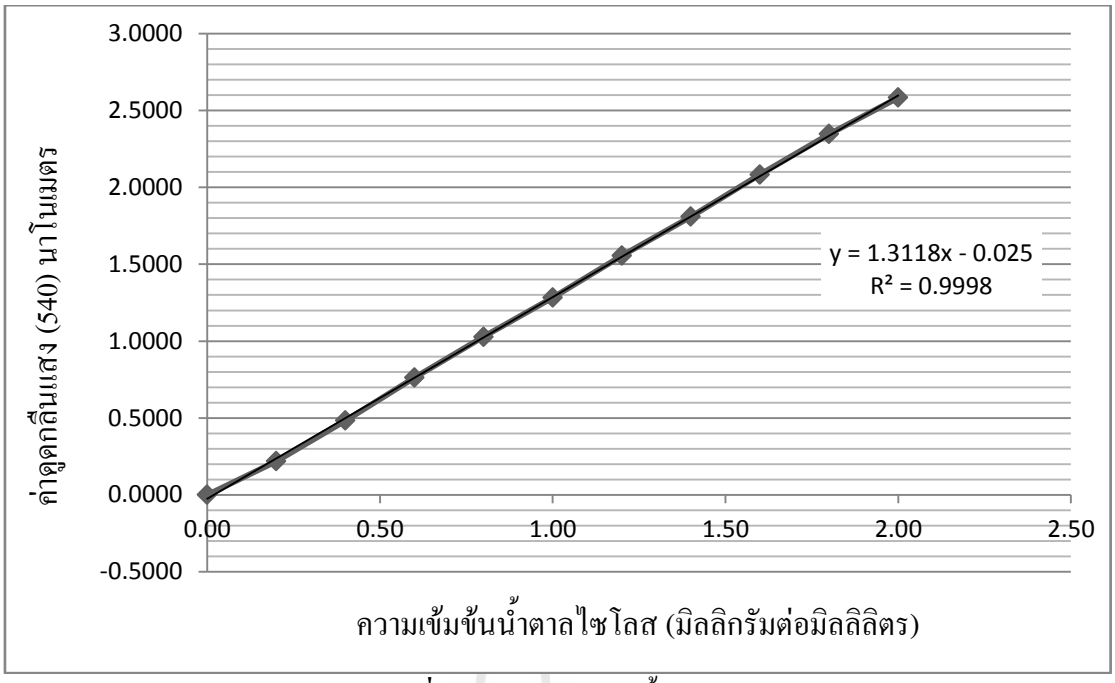
6. เติมน้ำกลั่นลงไปปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

7. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร

8. อ่านค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานไซโลสที่ได้ และสร้างกราฟมาตรฐานไซโลส

**ตารางที่ 1** การเตรียมสารละลายไซโลสมาตรฐาน

| **หลอดที่** | **สารละลายไซโลสมาตรฐานเข้มข้น (1.0 mg/ml) (ml)** | **น้ำกลั่น (ml)** | **สารละลายไซโลสมาตรฐาน (mg/ml)** |
|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 1.0 | 0.0 |
| 2 | 0.2 | 0.8 | 0.2 |
| 3 | 0.4 | 0.6 | 0.4 |
| 4 | 0.6 | 0.4 | 0.6 |
| 5 | 0.8 | 0.2 | 0.8 |
| 6 | 1.0 | 0.0 | 1.0 |




**ภาพที่ 1** กราฟมาตรฐานน้ำตาลไซโลส

## 2. การวิเคราะห์แอมโมเนีย (Ammonia) (Willis et al., 1996)

ทำการวัดค่าแอมโมเนียด้วยวิธี Colorimetric method วิธีการนี้สามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งแอมโมเนีย และ Total Kjeldahl nitrogen โดยดัดแปลงมาจากวิธีการเดิมที่เคยใช้

**วัสดุและอุปกรณ์**

1 ไมโครปิเปตต์ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร

2 หลอดทดลองฝาเกลียว (Screw cap tube)

3. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)

4. คิวเวท

5. เครื่อง Spectrophotometer

6. เครื่องชั่ง

7. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)

8. Vortex

**สารเคมี**

1. **$Li_2CO_3$**

ละลาย $Li_2CO_3$ (99%) จำนวน 5 กรัม ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

2. **Salicylate reagent**

เตรียมโดยใช้น้ำกลั่นร้อนผสมกับสารเคมีดังนี้ และปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

2.1 Sodium salicylate (Anhydrous) จำนวน 32 กรัม

2.2 Trisodium phosphate, Sodium phosphate tribasic dodecahydrate หรือ $Na_3PO_4*_{12}H_2O$ จำนวน 40 กรัม

2.3 Sodium nitropentacyanoferrate (III) (Sodium triprusside) จำนวน 0.5 กรัม

**3. Hypochlorite**

เตรียมสาร Clorox ที่มี Sodium hypochlorite เป็นส่วนประกอบ 5-5.25% จำนวน 50 มิลลิลิตร ผสมในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร (สารละลายเก็บได้นานประมาณ 2 เดือนในอุณหภูมิห้อง และพ้นแสง)

**4. Ammonium standards (1,000 ppm)**

เตรียมสารละลายมาตรฐานจาก Ammonia chloride จำนวน 3.8406 กรัม ปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ด้วย $Li_2CO_3$

**ตารางที่ 2** การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน

| **ความเข้มข้น (ppm)** | **ปริมาณ Ammonium standard (มิลลิลิตร)** | **$Li_2CO_3$ (มิลลิลิตร)** |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 50.00 |
| 5 | 0.25 | 49.75 |
| 10 | 0.50 | 49.50 |
| 20 | 1.00 | 49.00 |
| 40 | 2.00 | 48.00 |

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**วิธีการ**

1. ชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัม เติมสารละลาย $Li_2CO_3$ จำนวน 50 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 30,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที

2. ดูดสารละลายส่วนใสมาจำนวน 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียว โดยพยายามอย่าให้สารละลายติดบริเวณขอบหลอดทดลอง

3. เติมสาร Salicylate reagent จำนวน 4 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง Vortex

4. เติมสาร Hypochlorite จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง Vortex วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

5. วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 685 นาโนเมตร โดยใช้ Tube blank ปรับให้ค่าดูดกลืนแสงเป็น 0

**วิธีการคำนวณ**

การหาความเข้มข้นโดยการอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

**3. การวิเคราะห์กรดไขมันระเหยได้** (Zdunczyk et al., 2005)

วิธีการนี้ใช้กรด (Formic acid) ในการสกัดกรดไขมันจาก Digesta และใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatography) ในการแยกและตรวจสอบปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในแต่ละชนิด

**วัสดุและอุปกรณ์**

1. ไมโครปิเปตต์ขนาด 200 ไมโครลิตร
2. เครื่องชั่ง
3. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
4. Vortex
5. ไมโครทิว
6. ขวดแก้วขนาดเล็กสีชา (Vial)

**สารเคมี**

1. Formic acid

**วิธีการ**

1. ชั่งตัวอย่าง 0.2 กรัม เติมสาร Formic acid จำนวน 800 ไมโครลิตร ลงในไมโครทิว
2. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex
3. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 × g เป็นระยะเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
4. ดูดส่วนใสด้านบนมาใส่ในขวดแก้วขนาดเล็กสีชา (vial)
5. นำไปฉีดด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatography)

**4. การตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ *E. coli* และ *Lactobacillus spp.*** (Michael and Burton, 1995)

เป็นวิธีการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์เฉพาะที่มีชีวิตอยู่จริง และสามารถเพิ่มจำนวนเป็นจุดโคโลนี ได้ในอาหารวุ้น โดยถือหลักว่าเซลล์จุลินทรีย์ 1 เซลล์ เจริญทับกันเป็นหนึ่งโคโลนี การนับจำนวนจะให้ผลที่แม่นยำเมื่อจานเพาะเชื้อมีเชื้ออยู่ระหว่าง 30- 300 โคโลนี วิธีการเลี้ยงเชื้อโดยใช้เทคนิค Dilution plate count ซึ่งเป็นเทคนิคการทำให้เชื้อ หรือตัวอย่างเจือจางลงด้วยสารละลาย Diluent ที่ประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) 8.5 กรัม และ DI water 1,000 มิลลิลิตร

ทำการเจือจางเพิ่มครั้งละ 10 เท่า (Tenfold serial dilution) ทุกขั้นตอนต้องดำเนินภายใต้สภาพปลอดเชื้อ

**วัสดุและอุปกรณ์**

1. จานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ (MCK agar และ MRS Broth)
3. ปิเปตต์ Steriled ขนาด 0.1 และ 1.0 มิลลิลิตร
4. ตะเกียง พร้อมแอลกอฮอล์ 70-95%
5. ขวดฉีดแอลกอฮอล์ 70%
6. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)
7. ลูกยางปิเปต 3 ทาง (Pipette filler)
8. Vortex
9. หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)
10. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
11. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

**การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ**

1. MacCONKEY – Agar (MCK agar) เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะสำหรับให้เชื้อบางชนิดขึ้น (selective medium) โดยใช้ในการทดสอบหาจุลินทรีย์ *E. coli* สามารถเตรียมได้จาก MCK agar ผง โดยชั่งน้ำหนักอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 50.00 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร ปิดผา และนึ่งในหม้อนึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ความร้อนลดลงจนมือจับได้ จึงนำมาเทลงในจานเพาะเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

2. Lactobacillus MRS Broth (MRS Broth) เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะ ที่ใช้ในการทดสอบหาจุลินทรีย์ *Lactobacillus spp.* สามารถเตรียมได้จาก MRS Broth ผง โดยชั่งน้ำหนักอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 55.15 กรัม และผงวุ้น 15.0 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร ปิดผา และนึ่งในหม้อนึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ความร้อนลดลงจนมือจับได้ จึงนำมาเทลงในจานเพาะเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

**การเพาะเชื้อ**

1. เจือจางตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่าง ซึ่งในการทดลองนี้คือ Digesta บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมของไก่ไข่ จำนวน 1 กรัม ใส่ในสารละลาย Diluent ปริมาตร 4 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเจือจางเท่ากับ 1 : 5 เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นใช้ปิเปตดูดสารละลายเจือจาง 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลาย Diluent ปริมาตร 4 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเจือจางเท่ากับ 1: $10^1$ ทำการเจือจางต่อไปเรื่อย ๆ จนได้สารละลายเจือจาง 1 : $10^7$ โดยระดับความเข้มข้นของตัวอย่างของเหลว (Digesta) บริเวณลำไส้

ใหญ่ส่วนซีกัมที่เหมาะสมของเชื้อ *E. coli* คือที่ระดับความเข้มข้น $10^{-2}$ และ $10^{-3}$ เชื้อ *Lactobacillus spp.* คือที่ระดับความเข้มข้น $10^{-6}$ และ $10^{-7}$ เท่าตามลำดับ

2. ทำการ spread plate โดยใช้ไมโครปิเปตต์ดูดสารละลาย 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วเกลี่ยเชื้อให้ทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อที่ระดับความเจือจาง 2 ระดับที่เชื้อสามารถขึ้นได้ประมาณ 30-300 โคโลนีต่อจานเพาะเลี้ยง

3. ทำการบ่มเชื้อโดยมีลายละเอียดดังต่อไปนี้

– เชื้อ *E. coli* นำจานเลี้ยงเชื้อ (plate) บรรจุในถุงพลาสติกและบ่มในตู้บ่มเชื้อ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะเห็นโคโลนีสีน้ำเงินม่วง กลม นูน วาว

– เชื้อ *Lactobacillus spp.* นำจานเลี้ยงเชื้อ (plate) บรรจุในถุงพลาสติกและใส่ Anaerobic gas pack เพื่อรักษาสภาพไร้ออกซิเจน จากนั้นบ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ลักษณะโคโลนีเป็นสีขาวขุ่น ขนาดเล็กถึงปานกลางเชื้อ

**การนับโคโลนี**

จะเลือกนับจานเลี้ยงเชื้อเจือจาง 2 ระดับ ที่มีโคโลนีอยู่ในช่วง 30-300 โคโลนี แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาจำนวนโคโลนีของเชื้อต่อตัวอย่าง 1 กรัม (colony forming units/g; cfu/g)

**วิธีการคำนวณ**

$$\text{ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (CFU / ml)} = \frac{[(\text{จำนวนโคโลนีที่นับได้} \times \text{ระดับความเจือจาง})] \times 100}{(1 / \text{ปริมาณตัวอย่าง})}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# ประวัติผู้เขียน

ข้าพเจ้านายธงชาติ สุริยวงค์ เกิดวันที่ 26 กันยายน 2529 ที่จังหวัดนครราชสีมา เริ่มศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนรุ่งอรุณวิทยา ศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนมวกเหล็กวิทยา อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี เข้าศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิชาสัตวศาสตร์ ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยเขตหันตรา หลังจากจบการศึกษาในระดับปริญญาตรี ได้เข้าศึกษาต่อปริญญาโทในสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2552

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี