ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง และการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ของไก่ไข่

นางสาวลัดดาวัลย์ หอกกิ่ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

EFFECT OF DRIED CASSAVA PULP ON NUTRIENT DIGESTIBILITY, PRODUCTION PERFORMANCE, EGG QUALITY, EGG YOLK CHOLESTEROL AND MICROBIAL POPULATION CHANGE OF LAYING HENS

Laddawan Hokking

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

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง และประชากรจุลินทรีย์ของไก่ไข่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

(อ. ดร.วิทธวัช โมพี)
กรรมการ

(ผศ. ดร.อมรรัตน์ โมพี)
กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ลัดดาวัลย์ หอกกิ่ง : ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง และการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ของไก่ไข่ (EFFECT OF DRIED CASSAVA PULP ON NUTRIENT DIGESTIBILITY, PRODUCTION PERFORMANCE, EGG QUALITY, EGG YOLK CHOLESTEROL AND MICROBIAL POPULATION CHANGE OF LAYING HENS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิศา เข็มผะกา, 96 หน้า.

อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังก่อให้เกิดเศษเหลือ คือ กากมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากในแต่ละปี กากมันสำปะหลังมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง (50 – 70%) แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำและเยื่อใยสูง จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับไก่ไข่ อย่างไรก็ตามเยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลังอาจมีประโยชน์ต่อการลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงและการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ โดยการแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ใช้ไก่ไข่พันธุ์อีซ่า บราวน์ จำนวน 48 ตัว เลี้ยงบนกรงขังเดี่ยวและสุ่มไก่ไข่แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 8 ซ้ำ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ อาหารทดลองมี 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลอง และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 5 10 15 20 และ 25% ให้อาหารและน้ำอย่างเต็มที่ เป็นเวลา 10 วัน ทำการเก็บมูลในช่วง 4 วันสุดท้ายของการทดลองเพื่อนำไปประเมินหาการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ผลการทดลองพบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึง 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ($P> 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้น (25%) ส่งผลให้การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง ($P<0.05$) การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ และแอมโมเนียในไก่ไข่ ใช้ไก่ไข่พันธุ์อิซ่า บราวน์ จำนวน 288 ตัว ทำการแบ่งไก่ไข่ออกเป็น 6 กลุ่ม เพื่อรับอาหารทดลอง (สูตรควบคุม 1 กลุ่ม และกากมันสำปะหลัง 5 กลุ่ม : 5 10 15 20 และ 25%) ไก่ไข่ทั้งหมดได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึง 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และคุณภาพไข่ ($P>0.05$) ยกเว้นสีของไข่แดงมีการลดลงตามระดับของกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ($P<0.01$) ส่วนน้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่แดง และมวลไข่ลดลงเมื่อใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% ($P<0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25% สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ ($P<0.05$) กากมันสำปะหลังสามารถเพิ่มจำนวนประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์กลุ่ม *Lactobacillus spp.*

และ *Bifidobacterium spp.* และสามารถเพิ่มกรดโพรไพโอนิค และกรดอะซิติก (P<0.05) แต่ไม่พบความแตกต่างของจุลินทรีย์กลุ่ม *E. coli* และปริมาณแอมโมเนีย สำหรับค่าทางชีวเคมีของโลหิตพบว่ากากมันสำปะหลังไม่มีผลกระทบต่อปริมาณคอเลสเตอรอลและยูเรียไนโตรเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (P>0.05) จากการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึง 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์	ลายมือชื่อนักศึกษา____________________
ปีการศึกษา 2556	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา________________
	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม____________

LADDAWAN HOKKING : EFFECT OF DRIED CASSAVA PULP ON
NUTRIENT DIGESTIBILITY, PRODUCTION PERFORMANCE, EGG
QUALITY, EGG YOLK CHOLESTEROL AND MICROBIAL POPULATION
CHANGE OF LAYING HENS. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. SUTISA KHEMPAKA, Ph.D., 96 PP.

CASSAVA PULP/DIGESTIBILITY/PRODUCTION PERFORMANCE/EGG QUALITY/ MICROBIAL POPULATION CHANGE/ EGG YOLK CHOLESTEROL/LAYING HENS

The cassava starch industry generates a large amount of waste in the form of cassava pulp annually. The pulp contains a lot of starch (50 – 70%), but contains low amounts of protein and high fiber which limits its use as feedstuff for laying hens. However, the crude fiber content in cassava pulp may have positive effects on lower egg yolk cholesterol and microbial population change. Therefore, this research was aimed to study the potential use of dried cassava pulp (DCP) in laying hen diets. This study was divided into 2 experiments. Experiment 1, 48 laying hens (Isa Brown) were placed in individual cages and randomly allocated to 6 dietary treatments with 8 replicates in a Completely Randomized Design. Six dietary treatments were given as follows : control and five DCP diets at levels of 5, 10, 15, 20 and 25%. Feed and water were provided *ad libitum* for 10 days. The excreta were collected in the last four days of the experimental period and then were measured for nutrient digestibility and retention. The results showed that DCP can be used up to 20% in the diets without having negative effects on nutrient digestibility and retention (P>0.05). However, when DCP was used at the level of (25%) it resulted in decreased nutrient digestibility and retention ($P<0.05$). Experiment 2 was conducted to investigate the effect of DCP on production performance, egg quality, egg yolk cholesterol, microbial populations, volatile fatty acid and ammonia production in laying hens. A total of 288 laying hens (Isa Brown) were randomly allocated to 6 dietary treatments (one control and five DCP diets at 5, 10, 15, 20 and 25%). All chickens were given access to feed and water *ad libitum* for 12 weeks. The results showed that diets incorporated with 20% of DCP had no significant effects on egg production, egg weight, feed intake, feed conversion ratio and egg quality ($P>0.05$), except for egg yolk color being decreased with an increase of DCP in the diets ($P<0.01$). Egg weight, yolk weight and egg mass were significantly decreased when DCP was used at the level of 25% ($P<0.05$). However, the use of DCP at levels of 20 – 25% showed a positive effect on decreased egg yolk cholesterol ($P<0.05$). DCP can increase *Lactobacillus spp.* and *Bifidobacterium spp.* populations ($P<0.05$), and acetic acid and propionic acid ($P<0.05$), but there was no significant effect on *E. coli* and ammonia production. Regarding the biochemical blood profile, it was found that DCP had no effects on plasma cholesterol and blood urea nitrogen when compared to the control group ($P>0.05$). In conclusion, it is suggested that DCP can be used as an energy source in laying hen diets for up to 20% without showing negative effects on nutrient digestibility and retention, production performance and egg quality.

School of Animal Production Technology Student’s Signature ________________

Academic Year 2013 Advisor’s Signature ________________

Co-Advisor’s Signature ______________

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิศา เข็มผะกา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.วิทธวัช โมพี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ สนับสนุนงานด้านการทดลองในตลอดระยะเวลาของการศึกษา และช่วยเหลือ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนคำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ทุกท่านที่ได้อบรม สั่งสอนจนสำเร็จการศึกษา ตลอดจนประสิทธิ์ประสาทวิชาและให้ความรู้ด้านวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษางานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่งานสัตว์ปีก ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ดำเนินงานวิจัยและคำแนะนำในการดูแลไก่ไข่ ตลอดจนบุคลากรฟาร์มมหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือการทำวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณบุคลากรอาคารเครื่องมือ 1 และ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้อำนวยความสะดวกให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัย และขอขอบคุณสถาบันวิจัย และพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ ระดับบัณฑิตศึกษาทุกคน ตลอดจนน้อง ๆ ระดับปริญญาตรีสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ที่สละเวลาให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ให้ลุล่วงไปด้วยดี

และท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนญาติทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดู ส่งเสริมการศึกษา และช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ลัดดาวัลย์ หอกกิ่ง

สารบัญ

หน้า

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

บทที่

1 บทนำ....1
  1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย....1
  1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย....2
  1.3 สมมุติฐานของการวิจัย....2
  1.4 ขอบเขตของการวิจัย....3
  1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....3
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....4
  2.1 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย....4
  2.2 อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง....9
  2.3 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง....13
    2.3.1 สารพิษและการลดสารพิษในมันสำปะหลัง....15
    2.3.2 แป้งและโครงสร้างของแป้งในกากมันสำปะหลัง....17
    2.3.3 บทบาทของแป้งต่อระบบทางเดินอาหารสัตว์....19
  2.4 การใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์....19
    2.4.1 การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อ....19
    2.4.2 การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่....22
  2.5 บทบาทของเยื่อใยในอาหารสัตว์....23
    2.5.1 บทบาทของเยื่อใยต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง....28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

    2.5.2 บทบาทของเยื่อใยต่อสรีรวิทยาในระบบทางเดินอาหาร....................................31
    2.5.3 บทบาทของเยื่อใยต่อการส่งเสริมจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร..................32
    2.5.4 บทบาทของเยื่อใยต่อการผลิตแอมโมเนีย...34
3 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล...35
  3.1 การทดลองที่ 1 : ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร
    ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ของโภชนะในไก่ไข่.......................35
    3.1.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง...35
    3.1.2 สัตว์ทดลอง..36
    3.1.3 อาหารทดลอง..36
    3.1.4 การเก็บข้อมูล...39
    3.1.5 การวิเคราะห์ทางเคมี..39
    3.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ...40
  3.2 การทดลองที่ 2 : ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร
    ไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอล
    ในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร
    การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ และแอมโมเนีย...40
    3.2.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง...40
    3.2.2 สัตว์ทดลอง..40
    3.2.3 อาหารทดลอง..41
    3.2.4 ลักษณะที่ต้องการศึกษา...41
    3.2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ...46
  3.3 สถานที่ทำการทดลอง...46
  3.4 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย..46
4 ผลการทดลอง และการอภิปรายผล..48
  4.1 การทดลองที่ 1 : ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร
    ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ของโภชนะในไก่ไข่.......................48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การทดลองที่ 2 : ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร การผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนีย....................50
4.2.1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต....................50
4.2.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อคุณภาพไข่ไก่....................56
4.2.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณค่ายูเรียไนโตรเจนในเลือด....................61
4.2.4 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและในไข่แดง....................62
4.2.5 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูล....................65
4.2.6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม....................67
4.2.7 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ....................69
5 สรุปและข้อเสนอแนะ....................72
5.1 สรุป....................72
5.2 ข้อเสนอแนะ....................72
รายการอ้างอิง....................74
ภาคผนวก....................85
ประวัติผู้เขียน....................96

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของโลก จำแนกตามภูมิภาคและประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ปี 2550 – 2554 5

2.2 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย จำแนกตามภูมิภาคและจังหวัดที่มีการผลิตสูงสุดปี 2554 – 2555 6

2.3 ปริมาณส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังปี 2551 – 2555 7

2.4 เปรียบเทียบราคาของข้าวโพดและมันสำปะหลังในประเทศไทย ปี 2552 – 2556 9

2.5 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกแป้งมันสำปะหลังปี 2551 – 2555 9

2.6 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกากมันสำปะหลังของประเทศไทย ปี 2551 – 2555 10

2.7 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง (%) 13

2.8 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในกากมันสำปะหลัง 14

2.9 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น ๆ 15

2.10 คุณสมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน 18

2.11 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต 21

2.12 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อที่ระดับต่าง ๆ ต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร 22

2.13 ผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต 23

2.14 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อคุณภาพไข่ 23

2.15 ปริมาณเยื่อใย (ร้อยละของวัตถุแห้ง) ในอาหารสัตว์บางชนิด 28

2.16 ผลของระดับเยื่อใยในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อคอเลสเตอรอลในพลาสมาและไข่แดง 31

3.1 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังจากการวิเคราะห์ 37

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

3.2 ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลองที่ 1 38
4.1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ 49
4.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต 55
4.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อคุณภาพไข่ 59
4.4 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและในไข่แดง 64
4.5 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูล 66
4.6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม (μmol/g) 68
4.7 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 71

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 สัดส่วนการส่งออกมันสำปะหลัง และผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง ในปี พ.ศ. 2554 8

2.2 กระบวนการการสกัดแป้งมันสำปะหลัง 12

2.3 การสลายตัวของลินามารินด้วยเอนไซม์ลินามาเรสได้กรดไฮโดรไซยานิค 16

2.4 โครงสร้างทางโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน 18

2.5 การสังเคราะห์คอเลสเตอรอล 29

4.1 ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen, BUN) ตามระดับ การใช้กากมันสำปะหลังที่ 0 5 10 15 20 และ 25%ในอาหาร 62

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ADF = Acid detergent fiber
ADL = Acid detergent lignin
BUN = Blood urea nitrogen
BWG = Body weight gain
C = Cubic trend
CFU = Colony forming unit
CP = Crude protein
CRD = Complete randomized design
DDGS = Dry distillers grians with solubles
DM = Dry matter
EAA = Essential amino acid
EDTA = Ethylene diamine tetraacetic acid
FCR = Feed conversion ratio
FI = Feed intake
GC = Gas chromatography
L = Linear trend
MCK agar = Macconkey agar
ME = Metabolisable energy
Met = Methionine
MRS broth = de Man Rogosa and Sharpe Broth
NDF = Neutral Detergent Fiber
NEAA = Nonessential amino acid
NFE = Nitrogen free extract
NS = Not significant
Q = Quadratic trend
SCFA = short chain fatty acid
SEM = Standard error of the mean
TME = True metabolizable energy

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเลี้ยงไก่ไข่มีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยทั้งในด้านอาหาร สายพันธุ์ และการจัดการ มาพัฒนาเพื่อที่จะให้ไก่ไข่มีประสิทธิภาพการผลิตที่สูงสุด อีกทั้งไข่ไก่เป็นอาหารแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพดี มีวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายอยู่ครบถ้วน ราคาถูกและเป็นที่นิยม แต่จากสถานการณ์การขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์ในปัจจุบัน โดยเฉพาะข้าวโพดซึ่งเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานหลักในสูตรอาหารไก่ไข่ถูกแบ่งส่วนไปใช้ในการผลิตเอทานอลจึงส่งผลให้ข้าวโพดขาดแคลนและมีราคาแพง นักวิจัยและผู้ที่เกี่ยวข้องจึงได้พยายามแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการศึกษาและวิจัยเพื่อหาวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดอื่นที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ทดแทน การใช้วัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือหรือวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยทั้งจากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม น่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์ได้

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยมีปริมาณการผลิตประมาณปีละ 21 – 30 ล้านตัน โดยหัวมันสำปะหลังสดประมาณ 55% ของปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังทั้งหมดที่ผลิตได้ในแต่ละปีจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งจากกระบวนการผลิตดังกล่าวจะมีเศษเหลือ คือ กากมันสำปะหลังเป็นจำนวนมากในแต่ละปี โดยพบว่าในกากมันสำปะหลังยังมีโภชนะหลงเหลืออยู่ โภชนะในกากมันประกอบด้วย แป้ง 53.55% เถ้า 2.83% โปรตีน 1.98% เยื่อใย 13.59% และไขมัน 0.13% (Khempaka, Molee and Guillaume, 2009) ซึ่งน่าจะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ จากการรวบรวมเอกสารพบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ 15% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่ (สุเมธ ไตรพฤกษชาติ, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และสุกัญญา รัตนทับทิมทอง, 2552; ยุวเรศ เรืองพานิช, อรประพันธ์ ส่งเสริม, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง, ณัฐชนก อมรเทวภัทร, สุชาติ สงวนพันธุ์, อรทัย ไตรวุฒานนท์ และอรรถวุฒิ พลายบุญ, 2550) และสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ 5 – 10% (ปรีดา คำศรี, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และณัฐชนก อมรเทวภัทร, 2552; ยุวเรศ เรืองพานิช และคณะ, 2550; Khempaka et al., 2009) กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบสูงถึง 10.38 – 15.26% โดยเยื่อใยส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) และอาจเป็นข้อจำกัดทำให้การใช้ได้ในสูตรอาหารสัตว์ปีกค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามจากการรวบรวม

เอกสารพบว่าเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำจากพืชหัวและพืชตระกูลถั่วมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยมีบทบาทในการป้องกันโรคได้ เช่น โรคหัวใจ และหลอดเลือด มะเร็งลำไส้ใหญ่ โรคเบาหวาน และลดคอเลสเตอรอลในเลือด (Charina, 2010; Kritchevsky, 1978; Krichevsky and Story, 1974) Khempaka et al. (2009) รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อสามารถลดไขมันในช่องท้องได้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากเยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลัง นอกจากนี้ได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มได้ศึกษาเกี่ยวกับเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำเพื่อส่งเสริมสุขภาพทั้งในคนและสัตว์ โดยเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำจะช่วยส่งเสริมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในระบบทางเดินอาหาร การย่อยอาหาร (Hetland and Choct, 2003) เช่นเดียวกับในกากมันสำปะหลังมีเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำอยู่ ซึ่งน่าจะช่วยส่งเสริมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในระบบทางเดินอาหาร และอาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และเป็นประโยชน์ทางอ้อมในการลดการปล่อยแอมโมเนียสู่สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในแง่ของการส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภค และลดมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อม ยังมีข้อมูลการศึกษาน้อย ดังนั้นจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการศึกษา เพื่อเพิ่มทางเลือกของผู้เลี้ยงสัตว์ในการเลือกใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่ รวมทั้งเป็นการนำเศษเหลือที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนท้าย การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ และแอมโมเนีย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ และแอมโมเนีย

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 กากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารแหล่งพลังงานสำหรับไก่ไข่ได้

1.3.2 กากมันสำปะหลังสามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดง เพิ่มประชากรจุลินทรีย์ที่มี

ประโยชน์ ลดประชากรจุลินทรีย์ที่มีโทษในระบบทางเดินอาหาร เพิ่มการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้และลดการผลิตแอมโมเนียในไก่ไข่

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงการใช้กากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบอาหารแหล่งพลังงานสำหรับไก่ไข่ โดยศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ และการผลิตแอมโมเนีย โดยกากมันสำปะหลังมีโปรตีนอยู่ในช่วง 1.55 – 3.42% เยื่อใย 10.38 – 15.26% และแป้ง 47.97 – 68.89%

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้วัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานชนิดใหม่ที่มีศักยภาพสำหรับใช้ในอาหารไก่ไข่ และเพื่อแก้ปัญหาเมื่อแหล่งพลังงานหลัก ขาดแคลน หรือมีราคาแพง

1.5.2 ทราบระดับที่เหมาะสมในการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ ที่ส่งผลดีต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ การลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเพิ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และลดจุลินทรีย์ก่อโรคในทางเดินอาหาร และเพิ่มการผลิตกรดไขมันระเหยได้

1.5.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาการใช้เศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์ ช่วยกำจัดของเสีย และลดมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Manihot esculenta* Crantz. เรียกกันทั่วไปว่า cassava mandioca manioc topioca และ yacca เป็นพืชที่จัดว่าเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและพลังงานที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง โดยมีถิ่นกำเนิดในแถบบราซิล เม็กซิโก และมีการปลูกกันมากในอเมริกาใต้ อเมริกากลาง แอฟริกาและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งประเทศไทย มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังเป็นอันดับที่ 3 ของโลก รองมาจากประเทศไนจีเรีย และบราซิล ตามลำดับ (ตารางที่ 2.1) จากข้อมูลเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตมันสำปะหลังของโลกมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 – 2554

ปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการปลูกมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องจากปริมาณความต้องการมันสำปะหลังเพื่อใช้ภายในประเทศ และเพื่อการส่งออกยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยส่วนใหญ่มีการเพาะปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคเหนือ และจังหวัดนครราชสีมามีการเพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดของประเทศ (ดังแสดงในตารางที่ 2.2) การนำมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์มีหลายรูปแบบ อาทิเช่น บริโภคโดยตรง อุตสาหกรรมมันเส้น อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง และใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารสัตว์ โดยหัวมันสำปะหลังสดที่ผลิตได้ประมาณ 55% ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ส่วนหัวมันสำปะหลังสดที่เหลือประมาณ 45% ถูกนำไปใช้ในการผลิตเป็นมันเส้น มันอัดเม็ด และการผลิตเอทานอล (ปรารถนา ปรารถนาดี, จิรชัย พุทธกุลสมศิริ, เจริญชัย โขมภักตราภรณ์ และชุมพล มณฑาทิพย์กุล, 2552)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของโลก จำแนกตามภูมิภาคและประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ ปี 2550 – 2554

ประเทศ	ปริมาณผลผลิต (1,000 ตัน)				
	2550	**2551**	**2552**	**2553**	**2554**
ทวีปแอฟริกา	**117,449**	**125,039**	**123,180**	**126,627**	**132,119**
ไนจีเรีย	43,410	44,582	36,804	37,504	38,982
คองโก	15,004	15,013	15,034	15,049	15,215
กาน่า	10,218	11,351	12,231	13,504	14,910
แองโกล่า	9,730	10,057	12,828	13,100	13,378
โมซัมบิก	5,039	8,500	9,100	9,331	10,133
แทนซาเนีย	6,600	5,392	5,916	6,508	6,963
อื่น ๆ	19,236	21,581	22,265	22,444	23,238
ทวีปละตินอเมริกา	**36,311**	**34,201**	**32,773**	**33,029**	**35,170**
บราซิล	26,639	26,703	24,404	24,354	26,132
ปารากวัย	4,800	2,219	2,610	2,624	2,638
โคลัมเบีย	1,363	1,804	2,202	2,364	2,537
อื่น ๆ	3,509	3,475	3,557	3,688	3,863
ทวีปเอเชีย	**76,398**	**80,404**	**85,785**	**78,086**	**82,587**
อินโดนีเซีย	19,988	21,593	22,039	23,908	25,936
ไทย	26,916	25,156	30,088	22,006	21,912
เวียดนาม	8,193	9,396	8,557	8,522	8,863
อินเดีย	8,232	9,056	9,623	8,060	8,743
จีน	7,875	8,300	8,700	8,000	8,500
กัมพูชา	2,215	3,676	3,497	4,247	5,158
ฟิลิปปินส์	1,871	1,942	2,044	2,101	2,185
อื่น ๆ	1,108	1,285	1,237	1,242	1,289
รวมทั้งโลก	**230,442**	**239,928**	**242,016**	**238,013**	**250,153**

ที่มา : องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (2554)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย จำแนกตามภูมิภาคและจังหวัดที่มีการผลิตสูงสุดปี 2554 – 2555

จังหวัด	**เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)**		**เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)**		**ผลผลิต (ตัน)**	
	2554	**2555**	**2554**	**2555**	**2554**	**2555**
ภาคเหนือ	1,418,612	1,616,622	1,318,566	1,537,741	4,091,251	5,298,175
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	3,930,283	4,578,386	3,793,027	4,373,133	11,654,780	14,493,229
ภาคกลาง	2,051,253	2,164,607	1,984,580	2,000,449	6,166,385	6,809,686
นครราชสีมา	1,698,299	1,778,598	1,622,393	1,759,167	4,954,788	5,982,857
กำแพงเพชร	598,201	608,563	545,480	581,609	1,657,168	1,986,754
ชัยภูมิ	357,912	377,640	354,772	368,864	1,105,115	1,227,193
กาฬสินธุ์	209,340	225,495	207,036	220,987	644,089	742,954
ขอนแก่น	226,594	212,937	223,548	209,088	683,386	655,484
อุบลราชธานี	183,854	217,829	178,155	209,828	543,016	677,736
บุรีรัมย์	205,945	205,371	201,397	200,978	626,949	683,524
เลย	163,662	315,896	162,079	311,496	536,968	1,070,229
อุดรธานี	178,937	352,031	176,088	255,415	529,849	821,075
มุกดาหาร	143,784	138,515	127,186	129,344	387,281	405,750
มหาสารคาม	95,876	104,118	93,573	96,432	274,637	306,264
ศรีสะเกษ	82,808	113,290	80,203	108,584	268,680	365,921
สกลนคร	79,507	154,336	75,826	138,902	225,734	407,430
ยโสธร	58,223	59,595	57,239	55,462	188,259	172,759
เชียงราย	16,569	24,827	16,163	23,876	78,333	78,333
พะเยา	6,273	5,603	6,194	5,111	15,574	15,574
สระบุรี	29,012	32,907	26,808	29,920	71,470	105,404
ลพบุรี	158,608	184,421	153,211	175,605	476,639	598,807
ทั้งประเทศ	**7,400,148**	**8,359,615**	**7,096,173**	**7,911,323**	**21,912,416**	**26,601,090**

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร (2555)

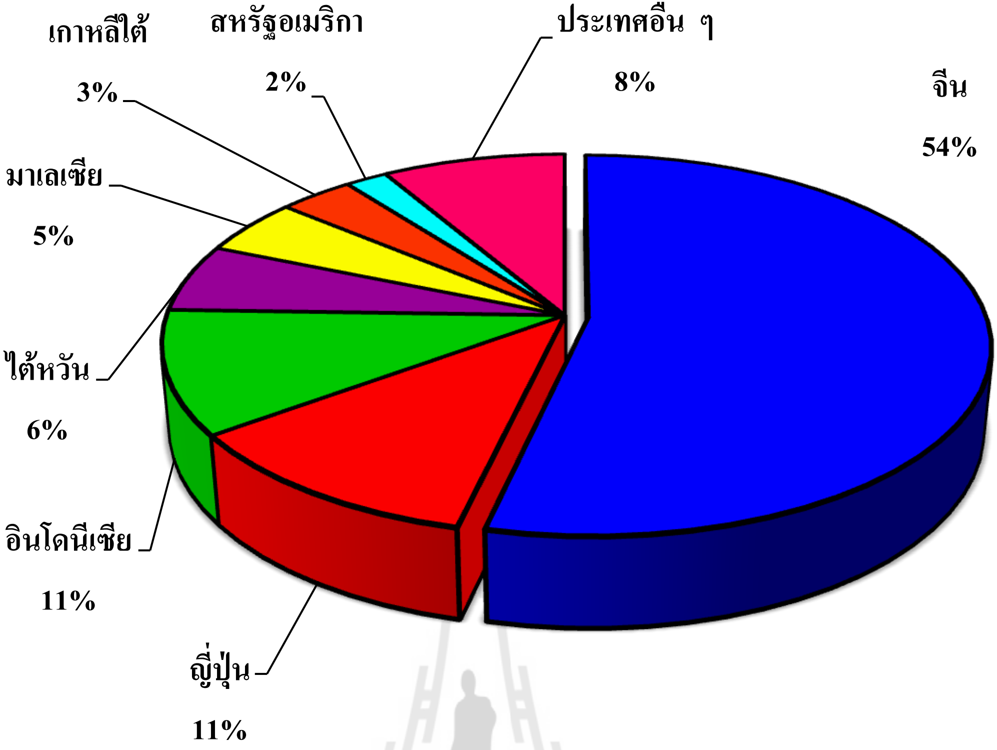
ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากที่สุดในโลก ทั้งในรูปของมันอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลัง (จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา และอัจฉรา ลิ่มศิลา, 2547) โดยหัวมันสำปะหลังประมาณ 20 ล้านตันที่ผลิตได้จะถูกนำเข้าสู่โรงงานการผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยมีปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังปี 2551 – 2555 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ซึ่งจากกระบวนการผลิตดังกล่าวจะมีเศษเหลือประมาณ 10 – 15% ของหัวมันสำปะหลังสดทั้งหมด โดยในแต่ละปีกากมันสำปะหลังดังกล่าวส่วนหนึ่งนำมาใช้เป็นปุ๋ย อาหารสัตว์ (เช่น โคนม และสุกร) และใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตเอทานอล (Sriroth, Chollakup, Chotineeranat, Piyachomkwan and Oates, 2000)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังปี 2551 – 2555

ปี	**มันเส้น (กิโลกรัม)**	**มันสำปะหลังอัดเม็ด (กิโลกรัม)**	**แป้งมันสำปะหลัง (กิโลกรัม)**
2555	4,611,976,073	84,215,172	2,235,574,108
2554	3,693,513,567	36,694,212	1,888,147,137
2553	4,116,726,014	156,069,301	1,740,805,652
2552	4,024,227,719	332,176,457	1,798,100,043
2551	1,202,462,886	1,646,730,356	1,272,169,033

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร (2555)

ประเทศซึ่งนำเข้ามันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังที่สำคัญในช่วงปี พ.ศ. 2554 ได้แก่ 1) จีน โดยปริมาณการนำเข้าจากไทยมูลค่า 41,008 ล้านบาท คิดเป็น 54% จากปริมาณการส่งออกทั้งหมดของไทย 2) ญี่ปุ่น นำเข้าจากไทยเป็นส่วนใหญ่ มีมูลค่า 8,588 ล้านบาท คิดเป็น 11% จากปริมาณการส่งออกทั้งหมดของไทย 3) อินโดนีเซีย มีมูลค่า 8,039 ล้านบาท คิดเป็น 11% จากปริมาณการส่งออกทั้งหมดของไทย และอันดับต่อมาได้แก่ ประเทศไต้หวัน มาเลเซีย เกาหลีใต้ สหรัฐอเมริกา และประเทศอื่น ๆ ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนการส่งออกสินค้า และผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2554 ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 สัดส่วนการส่งออกมันสำปะหลัง และผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังในปี พ.ศ. 2554
ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2554)

มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดหนึ่งที่เหมาะสมในการนำมาเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากมันสำปะหลังนั้นเป็นวัตถุดิบอาหารประเภทแป้งที่มีราคาถูกกว่าวัตถุดิบอาหารประเภทแป้งชนิดอื่น ๆ เช่น ข้าวโพด ซึ่งการนำมันสำปะหลังมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้นจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสัตว์ลดลงตามไปด้วย โดยราคาของข้าวโพดและมันสำปะหลังในประเทศไทยปี 2552 – 2556 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบราคาของข้าวโพดและมันสำปะหลังในประเทศไทยปี 2552 – 2556

ปี	**มันสำปะหลังเส้น (บาท/กิโลกรัม)**	**ข้าวโพดอาหารสัตว์ (บาท/กิโลกรัม)**
2556[1/]	7.02	10.31
2555	7.28	10.51
2554	7.95	10.41
2553	6.66	9.06
2552	4.43	6.95

หมายเหตุ : [1/] ราคาเฉลี่ยวัตถุดิบอาหารสัตว์ เดือนมกราคม – พฤษภาคม 2556

ที่มา : สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย (2556)

2.2 อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่มีการส่งออกแป้งมันสำปะหลังใหญ่ที่สุดในโลก มีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปี และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มกำลังการผลิตขึ้น โดยการผลิตแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะเป็นการผลิตเพื่อการส่งออก สามารถจำแนกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำเร็จรูป อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันแปรรูป และอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยปริมาณและมูลค่าการส่งออกแป้งมันสำปะหลังปี 2551 – 2555 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกแป้งมันสำปะหลังปี 2551 – 2555

ปี	**ปริมาณการส่งออก (กิโลกรัม)**	**มูลค่า (บาท)**
2555	2,235,574,108	30,796,449,031
2554	1,888,147,137	28,238,057,017
2553	1,740,805,652	24,552,725,620
2552	1,798,100,043	16,651,420,405
2551	1,272,169,033	14,999,988,788

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร (2555)

อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังดังกล่าวเป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดผลพลอยได้ (by – product) คือ เปลือกมันสำปะหลัง (cassava peel) และกากมันสำปะหลัง (cassava pulp) โดยใน

ปัจจุบันกากมันปะหลังเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีการส่งออกไปยังต่างประเทศ โดยปริมาณและมูลค่าการส่งออกกากมันสำปะหลังของประเทศไทยปี 2551 – 2555 แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกากมันสำปะหลังของประเทศไทยปี 2551 – 2555

ปี	ปริมาณ (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)
2555	610,102,308	2,740,573,417
2554	421,532,426	1,969,455,887
2553	537,272,055	1,614,298,142
2552	434,953,394	1,059,531,847
2551	331,775,883	1,562,585,940

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร (2555)

จากผลผลิตหัวมันสำปะหลังส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะถูกนำมาแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง โดยกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีเศษเหลือที่เกิดจากกระบวนการการผลิตประมาณ 10 – 15% (Srirot et al., 2000) ซึ่งมาจากกระบวนการล้าง การปอกเปลือกและการสกัดแป้ง โดยจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีผลพลอยได้ที่อยู่ในรูปของแข็ง ได้แก่ ส่วนของเปลือก ราก และกากมันสำปะหลัง ซึ่งจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีเศษเหลือเป็นกากมันสำปะหลัง 11.1% (พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และวิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2550) กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในปัจจุบันนิยมผลิตแบบสกัดแห้ง (ภาพที่ 2.2) โดยมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. ขั้นเตรียมวัตถุดิบโดยหัวมันสำปะหลังจะถูกลำเลียงผ่านระบบสายพานไปสู่เครื่องร่อนเพื่อแยกเอาดิน ทราย และเศษเปลือกหรือรากไม้ที่ปนมากับหัวมันสำปะหลังออก จากนั้นมันสำปะหลังจะถูกล้างโดยผ่านเครื่องล้างหัวมัน และลำเลียงต่อไปด้วยสายพานเพื่อเข้าสู่เครื่องสับหัวมัน
2. หัวมันที่เข้าสู่เครื่องสับแล้วจะมีขนาดเล็กลงและจะถูกลำเลียงต่อไปผ่านเข้าสู่ท่อลงสู่เครื่องโม่ซึ่งมีลักษณะเป็นลูกกลิ้งที่มีใบมีดขนาดเล็กจำนวนมาก ในระหว่างการโม่มีการเติมน้ำเพื่อให้การโม่เป็นไปอย่างสะดวกขึ้น น้ำที่ใช้เป็นน้ำหมุนเวียนเพื่อเป็นการประหยัดและลดการสูญเสียแป้งไปกับน้ำทิ้ง
3. ของเหลวข้นที่ได้จากเครื่องโม่จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องดีแคนเตอร์เพื่อแยกน้ำทิ้งที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้ง โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง ส่วนแป้ง เส้นใย และกากจะถูกเหวี่ยงออกเป็นน้ำแป้งที่มีความเข้มข้นสูง

4. น้ำแป้งจากเครื่องดีแคนเตอร์หรือจากเครื่องโม่ จะถูกปั้มเข้าสู่เครื่องสกัดแป้งเพื่อแยกน้ำออกจากกากและเส้นใย โดยน้ำแป้งจะผ่านเข้าสู่ชุดสกัดหยาบก่อนเพื่อแยกกากหยาบออก แล้วจึงเข้าสู่ชุดสกัดละเอียด โดยอาศัยแรงเหวี่ยงในการสกัดทำให้ได้กากและเส้นใยติดอยู่บนแผ่นกรอง จากนั้นจะถูกใบมีดของเครื่องปาดเข้าสู่เครื่องอัดกากมันเพื่อทำการรีดน้ำออก

5. น้ำแป้งที่มีขนาดเล็กกว่าเส้นใยและกาก จะผ่านแผ่นกรองไปรวมกันด้านล่างและถูกทำให้บริสุทธิ์ขึ้น โดยผ่านผ้ากรองของเครื่องสกัดละเอียดที่มีเป็นชุด ๆ จากนั้นน้ำแป้งจะถูกทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นขึ้นโดยเครื่องแยกแป้งสารคอลลอยด์จะถูกแยกออกจากน้ำแป้ง ในขณะเดียวกันจะมีการใช้น้ำสะอาดป้อนเข้าไปแทนที่สิ่งเจือปนในน้ำแป้ง สิ่งเจือปนในน้ำจะถูกแยกเหวี่ยงและไหลขึ้นด้านบนของเครื่อง

6. น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นกว่าจะไหลออกสู่ด้านล่าง ในโรงงานมักใช้เครื่องแยกแป้ง 2 ชุด เพื่อให้ได้น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นสูง ส่วนน้ำทิ้งที่ได้จะถูกนำไปหมุนเวียนใช้ประโยชน์ซึ่งแตกต่างไปตามแต่ละโรงงาน

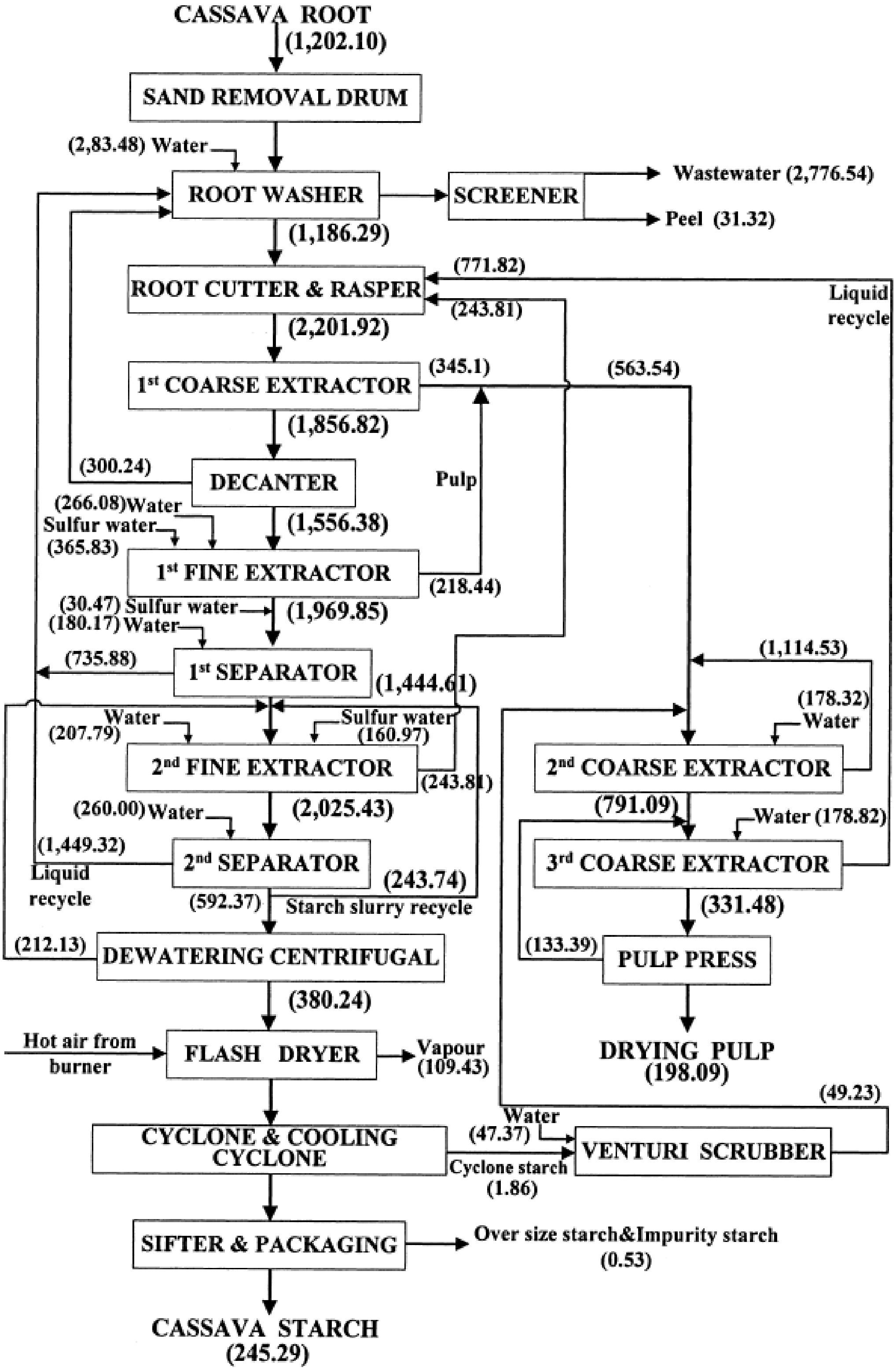
7. น้ำแป้งที่ถูกลดความชื้นด้วยเครื่องสกัดแห้งซึ่งเป็นเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำออกจากน้ำแป้งเข้มข้น ได้เป็นแป้งหมาดที่มีความชื้นประมาณ 35 – 40% จากนั้นแป้งหมาดจะถูกส่งไปเป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 180 – 200°C ในหน่วยอบแห้ง แล้วตกลงสู่ไซโคลนร้อน ทำให้แป้งมีความชื้นลดลงตามต้องการ จากนั้นจะถูกดูดเข้าสู่เครื่องไซโคลนเย็นชุดหนึ่ง แล้วผ่านเข้าเครื่องร่อนแป้งได้เป็นแป้งละเอียดออกมานำไปบรรจุถุงต่อไป

จากกระบวนการผลิตดังกล่าวจะทำให้เกิดผลพลอยได้ในขั้นตอนต่าง ๆ ขึ้นดังนี้

1. เปลือกดิน (tail and stalk) เป็นผลพลอยได้ที่เกิดในขั้นตอนนำหัวมันสดเข้าสู่เครื่องร่อนทรายออกไป ประกอบด้วย ส่วนของดิน เปลือกผิวนอก หัวมันที่หัก เศษมันที่มีขนาดเล็ก และส่วนเหง้าหรือขั้วของมัน

2. เปลือกล้าง (cassava peel) เป็นส่วนที่ได้มาจากขั้นตอนนำหัวมันเข้าเครื่องล้าง ทำหน้าที่ในการปอกเปลือกมัน

3. กากมันสำปะหลัง (cassava pulp) เกิดขึ้นในขั้นตอนที่หัวมันมีการล้างหรือปอกเปลือกเรียบร้อยแล้ว จะผ่านเข้าสู่เครื่องโม่ละเอียด ส่งต่อเข้าสู่เครื่องแยกกากออกจากน้ำแป้ง กากของหัวมันที่ได้สามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์ได้เลย หรือส่งไปยังลานตากแห้งเพื่อขายต่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์


CASSAVA ROOT
(1,202.10)
SAND REMOVAL DRUM
(2,83.48) Water
ROOT WASHER
SCREENER
Wastewater (2,776.54)
Peel (31.32)
(1,186.29)
ROOT CUTTER & RASPER
(771.82)
(243.81)
Liquid recycle
(2,201.92)
1st COARSE EXTRACTOR
(345.1)
(563.54)
(1,856.82)
DECANTER
(300.24)
Pulp
(266.08)Water
Sulfur water
(365.83)
(1,556.38)
1st FINE EXTRACTOR
(218.44)
(30.47) Sulfur water
(180.17) Water
(1,969.85)
1st SEPARATOR
(735.88)
(1,444.61)
(1,114.53)
(178.32)
Water
Water
(207.79)
Sulfur water
(160.97)
2nd FINE EXTRACTOR
(243.81)
2nd COARSE EXTRACTOR
(260.00)Water
(2,025.43)
(791.09)
Water (178.82)
(1,449.32)
Liquid recycle
2nd SEPARATOR
(243.74)
3rd COARSE EXTRACTOR
(592.37)
Starch slurry recycle
(331.48)
(212.13)
DEWATERING CENTRIFUGAL
(133.39)
PULP PRESS
(380.24)
Hot air from burner
FLASH DRYER
Vapour (109.43)
DRYING PULP (198.09)
(49.23)
Water
(47.37)
CYCLONE & COOLING CYCLONE
Cyclone starch (1.86)
VENTURI SCRUBBER
SIFTER & PACKAGING
Over size starch&Impurity starch (0.53)
CASSAVA STARCH (245.29)

ภาพที่ 2.2 กระบวนการการสกัดแป้งมันสำปะหลัง

ที่มา : Sriroth et al. (2000)

2.3 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง

องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังจากแหล่งต่าง ๆ (ตารางที่ 2.7) มีความผันแปรค่อนข้างมากในแต่ละแหล่งข้อมูล โดยภาพรวมแล้วกากมันสำปะหลังมีโปรตีนอยู่ในช่วง 1.55 – 3.42% ไขมัน 0.12 – 0.53% เถ้า 1.70 – 5.73% เยื่อใย 10.38 – 15.26% และแป้ง 47.97 – 68.89% ซึ่งองค์ประกอบทางโภชนะมีความแปรผันมากน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น คุณภาพของมันสำปะหลังที่นำมาใช้ในกรรมวิธีการสกัดแป้ง สายพันธุ์มันสำปะหลัง อายุการเก็บเกี่ยว ความสมบูรณ์ของดิน และสภาวะการเพาะปลูก รวมทั้งกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันของแต่ละโรงงาน จึงทำให้โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในแต่ละภูมิภาคของประเทศมีวัตถุดิบป้อนเข้าสู่โรงงานที่มีความแตกต่างกัน ส่งผลให้กากมันสำปะหลังที่เป็นเศษเหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง (%)

References	Dry matter	Ash	Crude protein	Ether extract	Crude fiber	Starch
Khempaka et al. (2009)	93.22	2.83	1.98	0.13	13.59	53.55
Teerapatr et al. (2006)	80.13	2.01	2.05	0.15	13.17	65.37
ปรีดา และคณะ (2552)	88.60	5.73	3.42	0.50	14.75	47.97
สุเมธ และคณะ (2552)	89.12	5.32	2.35	0.53	14.57	50.20
ยุวเรศ และคณะ (2550)	88.66	4.50	2.69	0.39	14.75	–
ไกรวุฒิ พ่วงเพชร (2550)	97.79	2.65	3.39	0.24	15.26	66.22
อุทัย และคณะ (2545)	88.73	3.64	1.83	0.48	10.38	–

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนในตัวอย่างกากมันสำปะหลัง (ตารางที่ 2.8) พบว่ากากมันสำปะหลังมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในสัตว์ปีกอยู่ในระดับที่ต่ำ คือ มีไลซีนปริมาณ 0.1 – 0.2 g/100 g และมีเมทไธโอนีนน้อยกว่า 0.005 g/100 g นอกจากนี้กากมันสำปะหลังยังมีปริมาณสารพิษไซยาไนด์ต่ำกว่า 50 ppm ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ (วิภาสิริ เสภารัตนานันท์, 2549)

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในกากมันสำปะหลัง

Amino acid (g/100 g)	**Cassava pulp**[1/]	**Cassava pulp**[2/]
Alanine	0.139	0.090
Arginine	0.062	<0.005
Aspartic acid	0.131	0.800
Cystine	–	<0.005
Glutamic acid	0.191	0.120
Glycine	0.078	0.040
Histidine	0.013	0.030
Isoleucine	–	0.130
Leucine	0.104	0.200
Lysine	0.104	0.260
Methionine	0.018	<0.005
Phenylalanine	0.059	0.210
Proline	0.096	0.070
Serine	0.009	0.030
Threonine	0.045	0.020
Tryptophan	–	0.010
Tyrosine	–	0.060
Valine	0.082	–
Cyanide (ppm)	–	16.6

ที่มา : [1/] Khempaka et al. (2009); [2/] ปรีดา คำศรี และคณะ (2552)

เมื่อทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังกับวัตถุดิบที่ให้พลังงานชนิดอื่น ๆ พบว่ากากมันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันที่ต่ำกว่าข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำละเอียด แต่ใกล้เคียงกับมันสำปะหลัง มีค่าวัตถุแห้งใกล้เคียงกับข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำละเอียด ในส่วนของเถ้าพบว่ากากมันสำปะหลังมีค่าสูงกว่าข้าวโพด แต่ต่ำกว่ากากถั่วเหลือง และกากมันสำปะหลัง มีเยื่อใย ADF และ ADL สูงกว่าข้าวโพด และกากถั่วเหลือง แต่ต่ำกว่ารำละเอียด และมี NDF สูงกว่าข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำละเอียด (ดังแสดงในตารางที่ 2.9)

ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น ๆ

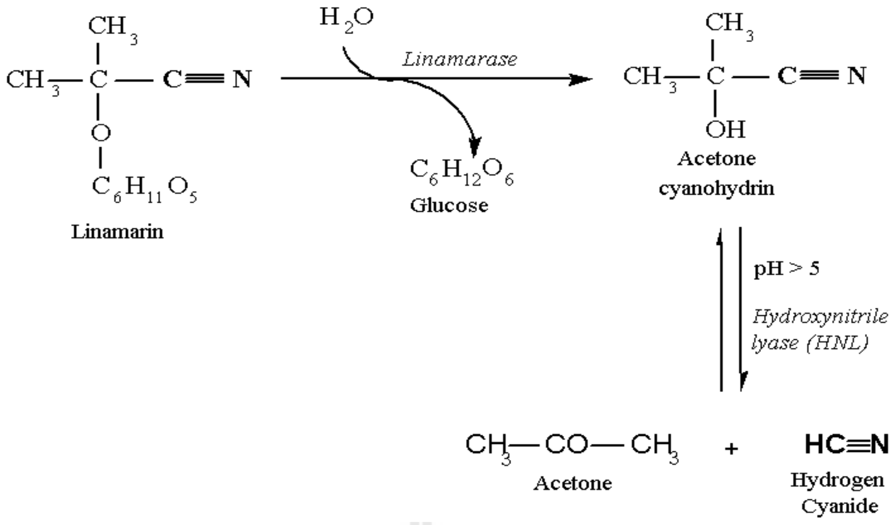
องค์ประกอบ	**วัตถุดิบแหล่งพลังงาน**				
ทางเคมี (%)	**กากมันสำปะหลัง**$^{1/}$	**มันสำปะหลัง**$^{2/}$	**ข้าวโพด**$^{1/}$	**กากถั่วเหลือง**$^{1/}$	**รำละเอียด**$^{1/}$
วัตถุแห้ง	92.6	–	92.5	92.1	93.0
โปรตีน	2.6	2.5	8.8	48.5	12.1
ไขมัน	0.2	0.3	4.7	0.9	19.2
เถ้า	3.8	–	2.5	6.6	13.9
เยื่อใย	6.6	3.2	2.7	5.9	14.6
NDF	37.6	–	9.7	15.3	30.7
ADF	9.8	–	3.5	9.1	21.7
ADL	3.9	–	1.3	1.3	9.6

ที่มา : $^{1/}$ Suksombat et al. (2006)

$^{2/}$ สาโรช ค้าเจริญ และเยาวมาลย์ ค้าเจริญ (2531)

2.3.1 สารพิษและการลดสารพิษในมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีสารพิษ โดยในหัวมันสำปะหลังมีของเหลวสีขาวข้นอยู่ใต้เปลือก เมื่อหัวมันสำปะหลังเป็นแผล หรือถูกตัดสับจะมีน้ำยางสีขาวไหลออกมา น้ำยางนี้จะมีสารไซยาโนจีนิคไกลโคไซด์ (cyanogenic glycoside) ซึ่งมีอยู่สองชนิด คือ ลินามาริน (linamarin) และโลทอสตราลิน (lotaustralin) ในปริมาณ 93% และ 7% ของไซยาโนจีนิคไกลโคไซด์ทั้งหมด (Nartey, 1973) การทำให้เซลล์แตกด้วยการสับ หรือการฝานหัวมันสำปะหลังระหว่างทำมันเส้น หรือการให้ความร้อนจะเป็นการเร่งปฏิกิริยาการสลาย (hydrolysis) ลินามารินด้วยเอนไซม์ลินามาเรส (linamarase) ได้ผลผลิตเป็นกรดไฮโดรไซยานิค (ดังแสดงในภาพที่ 2.3) (อุทัย คันโท และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์, 2547) ส่วนการสลายตัวของโลทอสตราลินถูกย่อยสลายเช่นเดียวกัน และได้กรดไฮโดรไซยานิคกลูโคสและบิวทาโนน (butanone)



ภาพที่ 2.3 การสลายตัวของลินามารินด้วยเอนไซม์ลินามาเรสได้กรดไฮโดรไซยานิค

ที่มา : Cooke (1978)

สารไฮโดรไซยานิคไกลโคไซด์จะพบอยู่ในส่วนของแวคิวโอล (vacuole) ส่วนเอนไซม์ลินามาเรสจะอยู่ในไซโตซอล (cytosol) ของเซลล์พืช (Cheeke and Shull, 1985) การสลายตัวให้สารพิษนี้ จะเกิดมากที่ใบอ่อนที่เพิ่งคลี่และในเปลือกของหัวมันสำปะหลัง แต่ส่วนเนื้อของหัวมันสำปะหลังจะเกิดช้ามาก การสลายตัวดังกล่าวจะเกิดได้ดีที่ pH 5.5 และอุณหภูมิไม่เกิน 72°C ผลความเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิคจะเกิดขึ้นโดยไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดส (cytocrome oxidase) ในไมโตคอนเดรีย (mitocondria) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวกับการหายใจของคนและสัตว์ที่ได้รับสารพิษไซยาไนด์เข้าไปลินามารินสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนวาลีน (valine) โลทอสตราลินสังเคราะห์มาจากอะมิโนไอโซลิวซีน (isolusine) (เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, 2532)

สารพิษไซยาไนด์เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) และเอนไซม์กลูโคซิลทรานเฟอร์เรส (glucosyl transferase) โดยรวมตัวกับธาตุเหล็กที่อยู่ในรูปเฟอร์ริกภายในไซโตโครม เกิดเป็นสารประกอบไซยาโนไซโตโครมออกซิเดส ซึ่งสารดังกล่าวนี้จะไปขัดขวางการทำงานของกระบวนกาอิเล็กตรอนทรานสปอร์ต ทำให้การสังเคราะห์อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosinetriphosphate, ATP) หยุดชะงัก ส่งผลให้กระบวนการหายใจขัดข้อง (รุ่งเรือง กิจผาติ, ขวัญยืน ศรีเปารยะ และสุมล ปวิตรานนท์, 2547) การลดสารพิษในมันสำปะหลังจากการผลิตมันเส้นโดยการสับหัวมันสดเป็นชิ้นเล็กแล้วตากให้แห้งใช้เวลา 3 – 4 แดด สามารถลดระดับกรดไฮโดรไซยานิคให้ต่ำลงจนอยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์ Khajarern, Khajarern, Sivapraphagon and Nandhapipat (1982) พบว่าการตากมันสำปะหลัง 6 แดด สามารถลดระดับสารพิษกรดไฮโดรไซยานิคจาก 111.63 ppm ลงเหลือ 22.97 ppm

2.3.2 แป้งและโครงสร้างของแป้งในกากมันสำปะหลัง

แป้งในกากมันสำปะหลังอยู่ในลักษณะของเม็ดแป้ง (granule) มีลักษณะเป็นทรงกลม (round) เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 5 – 35 ไมครอน โดยเฉลี่ย 17 ไมครอน โดยจะมีโครงสร้างคล้ายกับแป้งทั่ว ๆ ไป ซึ่งประกอบด้วยโพลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) โดยคุณสมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 2.10 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งกากมันสำปะหลังมีประมาณ 16% ที่เหลือเป็นอะไมโลเพคติน สัดส่วนดังกล่าวจะแตกต่างกันตามอายุของหัวมัน (Defloor, Dehenj and Delcour, 1998)

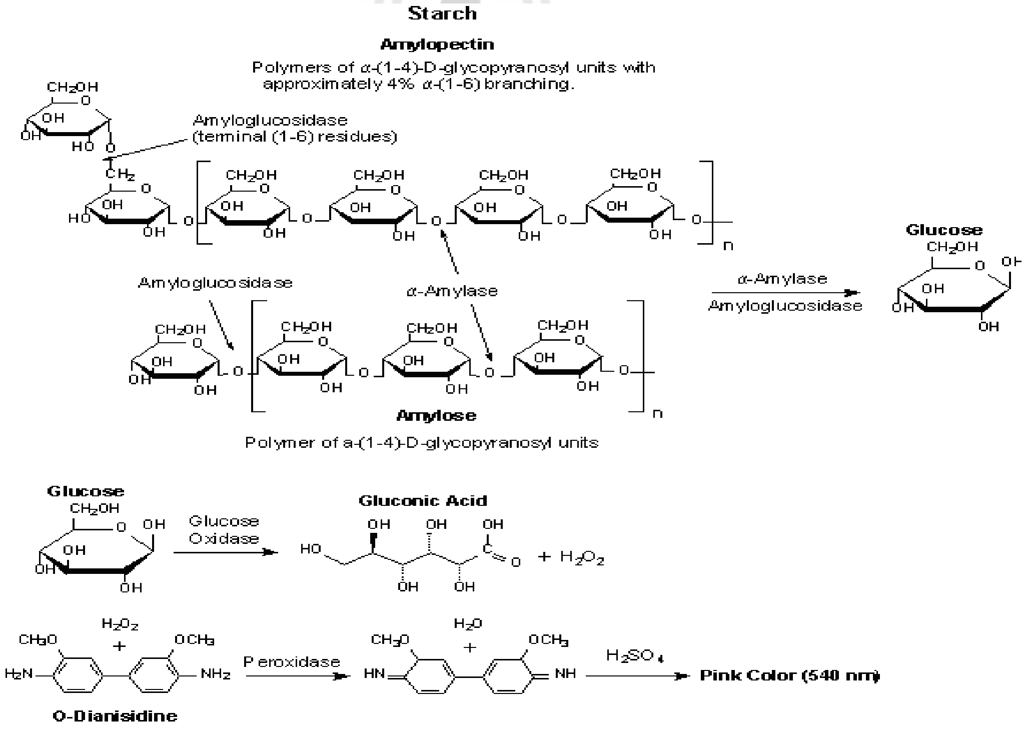
1) อะไมโลส เป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 200 – 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α – 1, 4 glucosidic linkage (ภาพที่ 2.4) อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างเล็กน้อย และมีลักษณะบิดเป็นเกลียว (helix) ละลายน้ำได้ดี (Oates, 1997) อะไมโลสแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป ซึ่งในแป้งมันสำปะหลังจะมีปริมาณอะไมโลสอยู่ระหว่าง 8 – 29% แต่โดยทั่วไปจะพบในช่วงระหว่าง 16 – 18% พบได้ในธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 28% ส่วนแป้งจากพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มีปริมาณอะไมโลสต่ำประมาณ 20%

2) อะไมโลเพคติน เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสหลาย ๆ หน่วยมาจับต่อกันด้วยพันธะ α – 1, 4 glucosidic linkage แต่มีบางส่วนจับกันด้วยพันธะ α – 1, 6 glucosidic linkage (ภาพที่ 2.4) โดยมีอัตราส่วนระหว่างพันธะทั้งสองชนิดเป็น 15 : 1 ตามลำดับ ดังนั้นโครงสร้างของอะไมโลเพคตินจึงเป็นกิ่งก้านสาขา ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพคตินในแป้งแต่ละชนิดมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่า ของอะไมโลสและมีอัตราในการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) อะไมโลเพคตินถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะไมโลสทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ จึงทำให้ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแตกต่างกัน และทำให้คุณสมบัติของแป้งแตกต่างกัน (Oates, 1997)

ตารางที่ 2.10 คุณสมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

คุณสมบัติ	**อะไมโลส**	**อะไมโลเพคติน**
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α – 1, 4 glucosidic linkage	α – 1, 4 และ α – 1, 6 glucosidic linkage
ขนาด	200 – 2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลายน้ำ	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีม่วงแดง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2543)


Starch
Amylopectin
Polymers of α-(1-4)-D-glycopyranosyl units with approximately 4% α-(1-6) branching.
Amyloglucosidase (terminal (1-6) residues)
Amyloglucosidase
α-Amylase
α-Amylase
Amyloglucosidase
Glucose
Amylose
Polymer of a-(1-4)-D-glycopyranosyl units
Glucose
Glucose Oxidase
Gluconic Acid
+ H2O2
H2O2
O-Dianisidine
Peroxidase
H2O
H2SO4
Pink Color (540 nm)

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

ที่มา : Enzymatic food analysis (2013)

2.3.3 บทบาทของแป้งต่อระบบทางเดินอาหารสัตว์

กากมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรตในรูปของแป้งซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในอาหาร โดยแป้งในมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นแป้งที่ย่อยง่ายและมีอะไมโลเพคตินเป็นองค์ประกอบมากกว่า 80% ส่งผลให้แป้งดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุล ทำให้เอนไซม์อะไมเลสในทางเดินอาหารย่อยแป้งได้รวดเร็วและมีอนุภาคที่ละเอียดมากเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพด โดยสุวรรณา พรหมทอง (2548) ได้ศึกษาเปรียบเทียบส่วนประกอบ และคาร์โบไฮเดรตในข้าวโพด มันเส้น และมันอัดเม็ด พบว่าปริมาณวัตถุแห้ง และพลังงานรวมของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดใกล้เคียงกัน ปริมาณอินทรีย์สาร เยื่อใย และเถ้าของมันเส้น และข้าวโพดไม่แตกต่างกัน มันเส้นมีปริมาณแป้งมากกว่ามันอัดเม็ด และข้าวโพด ($P<0.05$) มันเส้นและมันอัดเม็ดมีแป้งที่ย่อยได้เร็วมากกว่าข้าวโพด ($P<0.05$) และมันอัดเม็ดมีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งสูงกว่ามันเส้นและข้าวโพด ($P<0.05$) แสดงให้เห็นว่าทั้งมันเส้น มันอัดเม็ดมี NFE และแป้งมากกว่าข้าวโพด ซึ่งแป้งในมันเส้นและมันอัดเม็ดจะถูกย่อยได้ง่ายและเร็วกว่าแป้งในข้าวโพด ดังนั้นสัตว์น่าจะสามารถนำโภชนะต่าง ๆ ของมันเส้นและมันอัดเม็ดไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าข้าวโพด สอดคล้องกับการศึกษาของ Weurding, Veldman, Veen, van der Aar and Verstegen (2001) พบว่าแป้งมันอัดเม็ดถูกย่อยได้เกือบทั้งหมดในลำไส้เล็กส่วนต้นของไก่เนื้อ เหลือแป้งที่ไม่ถูกย่อยเพียง 1% เมื่อเทียบกับแป้งข้าวโพดที่เหลือ 3% ไก่เนื้อที่ได้รับมันสำปะหลังจึงมีแป้งเหลือจากการย่อยได้ในลำไส้เล็กน้อยกว่าข้าวโพด อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังซึ่งยังคงมีแป้งเหลืออยู่ประมาณ 50% แม้ว่าจะมีปริมาณแป้งที่ต่ำกว่าในมันสำปะหลัง แต่คาดหวังว่าแป้งที่เหลืออยู่จะส่งผลเช่นเดียวกับแป้งในมันสำปะหลัง

2.4 การใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์

กากมันสำปะหลังที่เป็นเศษเหลือจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังยังมีคุณค่าทางโภชนะหลงเหลืออยู่ โดยเฉพาะปริมาณแป้งซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ จึงมีการศึกษาการนำกากมันสำปะหลังไปใช้ในสูตรอาหารสัตว์ ดังต่อไปนี้

2.4.1 การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อ

ในอาหารสัตว์ปีกมีการใช้มันสำปะหลังและผลพลอยได้หลายรูปแบบ อาทิเช่น มันเส้น มันอัดเม็ด มันสำปะหลังป่น แป้งมัน และกากมันสำปะหลัง จากการรวบรวมเอกสารการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อ พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 5 – 10% ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต (ยุวเรศ เรืองพานิช และคณะ, 2550; ปรีดา คำศรี และคณะ, 2552; Khempaka et al., 2009) (ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.11) แต่การใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีปริมาณเยื่อใยที่สูง นอกจากนี้การนำกากมันสำปะหลังมาใช้ในการประกอบสูตรอาหาร

ไก่เนื้อนั้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของอาหารลดลง (ปรีดา คำศรี และคณะ, 2552) (ตารางที่ 2.12) ทั้งนี้เนื่องจากกากมันสำปะหลังที่ตากแห้งจะมีลักษณะฟ่าม เบา เป็นฝุ่นและมีความหนาแน่นต่ำ โดยปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่น คือ ขนาด รูปร่าง และการอัดตัวของวัตถุดิบ (ณัฐชนก อมรเทวภัทร, 2548) กากมันสำปะหลังบดถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ (436.29 ไมครอน) และมีการอัดตัวของวัตถุดิบต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดบด จึงทำให้อาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบมีความหนาแน่นต่ำลง (ปรีดา คำศรี และคณะ, 2552) การนำกากมันสำปะหลังมาใช้ในการประกอบสูตรอาหารจึงอาจส่งผลให้มีปัญหาต่าง ๆ อาทิเช่น มีปริมาณมากแต่มีน้ำหนักน้อย อาหารมีลักษณะเป็นผงแห้ง มีฝุ่นมากและมีความฟ่ามสูง ซึ่งจะลดความน่ากินของอาหารและอาจเกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจได้ง่าย ขณะที่กินอาหารทำให้มีการกินน้ำเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้สัตว์กินอาหารน้อยลง อีกทั้งอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบจะมีเยื่อใยสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลัง ซึ่งชนิดเยื่อใยในกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำจึงส่งผลให้อาหารมีความถ่วงจำเพาะสูง ทำให้อาหารเคลื่อนที่เร็วขึ้น และอาจทำให้เอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ทำงานได้ไม่เต็มที่ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง และมีผลลดน้ำหนักตัว (อุทัย คันโท, 2529) เมื่อพิจารณารูปแบบของอาหาร ได้แก่ อาหารผง และอาหารเม็ด มีผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ โดยไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดจะมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และปริมาณอาหารที่กินสูงกว่าการใช้อาหารผง (ปรีดา คำศรี และคณะ, 2552) เนื่องจากการอัดเม็ดอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบจะช่วยลดความเป็นฝุ่น เพิ่มความน่ากินของอาหารและป้องกันการแยกตัวของส่วนประกอบอาหาร ทำให้สัตว์เลือกกินไม่ได้ สัตว์จึงได้รับโภชนะที่สมดุล (สาโรช ค้าเจริญ, 2547) จากที่กล่าวมาในข้างต้นการใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะของไก่เนื้อได้ อย่างไรก็ตามหากมีการเพิ่มระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่สูงขึ้น อาจทำให้อาหารมีความหนาแน่นต่ำ สามารถไหลผ่านในทางเดินอาหารได้เร็ว และอาจส่งผลกระทบต่อการกินได้ และอัตราการให้ผลผลิตไข่ของไก่ไข่ได้

ตารางที่ 2.11 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต

References	**Treatment**	**BWG (g)**	**FI (g/bird)**	**FCR**
Khempaka et al. (2009)	Control	2,422^{a}	4,566	2.03
	4% Cassava pulp	2,411^{a}	4,705	2.11
	8% Cassava pulp	2,347^{a}	4,785	2.23
	12% Cassava pulp	2,149^{b}	3,949	1.99
	16% Cassava pulp	2,051^{b}	3,753	1.99
	P – value, trend	L = 0.000$^{1/}$	NS$^{2/}$	NS
ยุวเรศ และคณะ (2550)	Control	2,756	4,801	1.75
	5% Cassava pulp	2,697	4,743	1.76
	10% Cassava pulp	2,679	4,740	1.77
ปรีดา และคณะ (2552)	0% Cassava pulp (mash)	2,421	4,079	1.68
	5% Cassava pulp (mash)	2,546	4,469	1.76
	10% Cassava pulp (mash)	2,503	4,390	1.74
	0% Cassava pulp (pellet)	3,017	5,262	1.74
	5% Cassava pulp (pellet)	2,980	5,216	1.75
	10% Cassava pulp (pellet)	2,867	5,075	1.76
	Main effect means			
	Level of cassava			
	0% Cassava pulp	2,762^{a}	4,756	1.72
	10% Cassava pulp	2,763^{a}	4,843	1.76
	15% Cassava pulp	2,687^{b}	4,732	1.77
	Feed form			
	Mash	2,497^{b}	4,338^{b}	1.76
	Pellet	2,949^{a}	5,176^{a}	1.76

หมายเหตุ : $^{a-b}$ ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

FI = Feed intake; FCR = Feed conversion ratio; BWG = Body weight gain

$^{1/}$ L = Linear trend; $^{2/}$ NS = Not significant

ตารางที่ 2.12 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อที่ระดับต่าง ๆ ต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร

References	**Age (day)**	**Treatment**	**Bulk density (g/L)**
ปรีดา และคณะ (2552)	1 – 17	0% Cassava pulp	579.11^{a}
		10% Cassava pulp	556.35^{b}
		15% Cassava pulp	540.63^{b}
	18 – 38	0% Cassava pulp	580.81^{a}
		10% Cassava pulp	548.63^{b}
		15% Cassava pulp	536.60^{b}
	39 – 45	0% Cassava pulp	574.04^{a}
		10% Cassava pulp	548.44^{b}
		15% Cassava pulp	540.73^{b}

หมายเหตุ : $^{a-b}$ ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.4.2 การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่

การใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพไข่ (ดังแสดงในตารางที่ 2.13 และ 2.14) กากมันสำปะหลังสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ 15% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตไข่ และคุณภาพ ได้แก่ น้ำหนักไข่ ความหนาเปลือกไข่ และค่าฮอฟยูนิต (สุเมธ ไตรพฤกษชาติ และคณะ, 2552) อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ไม่มีสารให้สี ได้แก่ สารประเภทแคโรทินอยด์ (carotenoid) สารแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ส่งผลให้การสะสมสารแซนโทฟิลล์ในไข่แดงลดลง เมื่อมีการใช้กากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารและมีการใช้ข้าวโพดลดลง จึงส่งผลให้กลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลังมีระดับคะแนนสีไข่แดงลดลง

ตารางที่ 2.13 ผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต

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)	10% Cassava pulp	121.77	45.29	83.72	0.52
	15% Cassava pulp	121.36	44.43	84.03	0.56

ตารางที่ 2.14 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อคุณภาพไข่

References	**Treatment**	**Egg weight (g/egg)**	**Shell thickness (mm)**	**Shell thickness (mm)**	**Haugh unit (%)**	**Yolk colour**
สุเมธ	0% Cassava pulp	69.55	0.381	6.66	77.74	6.77^{a}
และคณะ	5% Cassava pulp	69.66	0.379	6.86	77.90	6.05^{b}
(2552)	10% Cassava pulp	69.74	0.378	6.75	78.34	5.26^{c}
	15% Cassava pulp	69.47	0.374	6.65	77.74	4.34^{d}

หมายเหตุ : $^{a-d}$ ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

2.5 บทบาทของเยื่อใยในอาหารสัตว์

เยื่อใยเป็นส่วนของผนังเซลล์พืชที่สัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในร่างกาย แต่อาจจะถูกย่อยสลายได้บางส่วนโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่และเยื่อใยที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้มาจากพืชมีความแตกต่างกัน ทั้งชนิดและปริมาณโดยมีทั้งประโยชน์และโทษต่อตัวสัตว์ โดยเยื่อใยที่อยู่ในอาหารสัตว์นั้นอาจจะมีบทบาทในหลาย ๆ ด้าน อาทิเช่น กระบวนการผลิตอาหารสัตว์ การย่อยและการดูดซึมสารอาหาร ความสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารและการขับถ่าย และจะส่งผลถึงสมรรถนะการผลิตของสัตว์ โดยชนิดของเยื่อใยสามารถจัดจำแนกตามความสามารถในการละลายน้ำได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) เยื่อใยที่ละลายน้ำ (soluble fiber) พบมากในเมล็ดพืชจำพวกถั่ว ถั่วเหลือง ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ เป็นสารที่มีลักษณะเหนียว มีความสามารถกระจายตัว และอุ้มน้ำได้ดีในน้ำเย็น พองตัวได้และเมื่อพองตัวจะเกิดเป็นลักษณะเจลหรือทำให้สารละลายนั้นมีความหนืดสูง จึงใช้ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืดและความคงตัว โดยเยื่อใยประเภทนี้ประกอบด้วย เพคติน เบต้ากลูแคน และกัม เยื่อใยประเภทนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 เพกติน (pectin) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลพืช และส่วนของมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) มีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา ประกอบด้วยกรดในน้ำตาลหลายชนิด มีคุณสมบัติละลายน้ำและอุ้มน้ำได้ เมื่อละลายน้ำจะพองตัวเป็นเจล (gel) เพกตินสามารถย่อยสลายได้หมดในร่างกายโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ องค์ประกอบพื้นฐานของสารกลุ่มเพกติน คือ กรดกาแลกตูโรนิก (galacturonic acid) ที่เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกาแลกโตส โดยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha - 1, 4$ สารในกลุ่มเพกตินมีหลายชนิด ได้แก่

ก. โปรเพกติน (propectin) มีขนาดโมเลกุลใหญ่ที่สุด และพบมากในผลไม้ที่ไม่สุก

ข. กรดเพกตินิกหรือเพกติน (pectinic acid หรือ pectin) คือ โปรเพกตินที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในเนื้อผลไม้ จึงมีโครงสร้างซับซ้อนน้อยกว่าและเป็นลักษณะของเนื้อผลไม้สุก

ค. กรดเพกติก (pectic acid) เป็นอนุพันธ์ของกรดเพกตินิกเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเมทานอลและหมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลกตูโรนิก

1.2 เบต้ากลูแคน (betaglucan) เป็นโมเลกุลของกลูโคสหลายหน่วย เชื่อมกันด้วย glycoside – beta – link แบบ $\beta - 1, 3$ และ $\beta - 1, 6$ คุณสมบัติโดยทั่วไปสามารถละลายน้ำได้

1.3 กัมส์ (gums) สารเหล่านี้ไม่ได้เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ แต่มีคุณสมบัติทางชีวเคมีที่มีผลต่อร่างกายเหมือนกับเพคตินและเฮมิเซลลูโลส กัมส์เป็นสารที่พืชหลั่งออกมาเมื่อเกิดบาดแผล มีโซ่โมเลกุลหลักเป็นน้ำตาลกาแลคโทส กรดกลูคิวโรนิค – แมนโนส กรดกาแลคทูโรนิค – แรมโนส โดยมีน้ำตาลไซโลส และกาแลคโทส เป็นโซ่สาขา กัมส์หลายชนิดใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อช่วยในการกระจายไขมัน ทำให้อาหารข้นและให้ความอยู่ตัว นอกจากนั้นกัมส์บางชนิดยังใช้เป็นยาระบาย กัมส์ที่รู้จักกันแพร่หลาย คือ กัวกัมส์ (guargums) หรือกาแลคโตแมนแนน (galactomannan) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 220,000 ได้จากอินเดียนคลัสเตอร์บีน (indian cluster bean) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cyamopsis tetragonolobus* มีคุณสมบัติในการดูดน้ำและรวมกับสารอื่นได้ดี มักใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ยา บุหรี่ และอุตสาหกรรมอาหาร เช่น เติมลงในซอส น้ำสลัด ไอศกรีมเชอร์เบท อาหารแช่แข็ง และอาหารสุนัข

2) เยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้าง รวมอยู่กับเยื่อใยในผนังเซลล์พืช ช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับเซลล์พืช โดยเมื่อพืชมีอายุมากขึ้นปริมาณลิกนินจะเพิ่มมากขึ้นด้วย เยื่อใยดังกล่าวจะไม่หนืดและไม่ถูกหมักย่อย (ferment) หรือถูกหมักย่อยได้น้อยมากในลำไส้ใหญ่ ช่วยให้ระบบขับถ่ายเป็นไปอย่างปกติเพราะทำให้มีกากใยเหลือเป็นจำนวนมาก ช่วยลดอาการท้องผูกและช่วยควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของลำไส้ โดยเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำนี้จะประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส รวมถึงลิกนิน

2.1 เซลลูโลส (cellulose) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีมากที่สุดในธรรมชาติเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชและเป็นส่วนหนึ่งของเยื่อใย ทนต่อการย่อยด้วยกรดและด่าง เซลลูโลสประกอบด้วยกลูโคสเป็นจำนวนมากเชื่อมกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะแบบ β –1, 4 – glycosidic อย่างมีระเบียบซึ่งพันธะนี้ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของสัตว์ชั้นสูง แต่จุลินทรีย์มีเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ที่สามารถย่อยพันธะนี้ได้ ดังนั้นสัตว์กระเพาะเดี่ยวจึงไม่สามารถใช้อาหารที่มีเยื่อใยสูงได้ (บุญล้อม ชีวอิสระกุล, 2541) เซลลูโลสมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 20,000 – 750,000 ดาลตัน ซึ่งเท่ากับ 100 – 4,000 หน่วยกลูโคส โมเลกุลของกลูโคสเรียงตัวเป็นมัดขนาดเล็ก โดยมีพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำตาลกลูโคสที่อยู่ใกล้กันของเซลลูโลสสายหนึ่งกับเซลลูโลสอีกสายหนึ่งเชื่อมต่อกันเป็นเส้นใยขนาดเล็ก โดยสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดหรือด่าง ได้เป็น 3 ชนิด คือ

ก. แอลฟา – เซลลูโลส (α – cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5

ข. เบต้า – เซลลูโลส (β – cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5

ค. แกรมมา – เซลลูโลส (γ – cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 และสามารถละลายได้ดีในกรดเจือจาง

2.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชเช่นกัน โดยเอนไซม์จากสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยได้ แต่จุลินทรีย์สามารถย่อยได้โดยเช่นเดียวกับเซลลูโลส โดยที่เฮมิเซลลูโลสไม่ได้มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส แต่เป็นส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ระหว่างตำแหน่งที่เซลล์ต่อกันอยู่ เรียกว่า มิดเดิลลาเมลลา พบในต้นอ่อนของพืชที่กำลังเจริญเติบโต และพบบริเวณผิวนอกที่หุ้มเมล็ด (hulls) ในถั่ว เมล็ดข้าวโพด และรำข้าวสาลี พบว่ามีเฮมิเซลลูโลสเป็นปริมาณมาก ซึ่งจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารส่วนปลายสามารถย่อยได้ประมาณ 50 – 80% (เสกสม อาตมางกูร, 2545) เฮมิเซลลูโลสเป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) ที่จะประกอบด้วยน้ำตาลมากกว่า 2 ชนิดน้ำตาลที่พบมาก ได้แก่ ไซโลส (xylose) และน้ำตาลอะราบิโนส (arabinose) เป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 ตัว นอกจากนี้อาจมีกลูโคส (glucose) แมนโนส (mannose) กาแล็กโทส (galactose) และกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแบบ β – 1, 4 และอาจมีสายโซ่กิ่งด้วย เฮมิเซลลูโลสอาจจำแนกตามชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบได้เป็นแมนแนน (mannan) กาแล็กแทน (galactan) ไซแลน (xylan) กลูโคแมนแนน (glucomannan) อะราบิโนไซแลน (arabinoxylan) และอะราบิโนกาแล็กแทน (arabinogalactan) เป็นต้น (บุญล้อม ชีวอิสระกุล, 2545) ไซแลนเป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในเฮมิเซลลูโลส โดยมีโครงสร้างหลักที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β – 1, 4 – linkage ของน้ำตาลไซโลส (xylose) และมีกิ่งก้านเป็นน้ำตาลหรืออนุพันธ์

ของน้ำตาลต่าง ๆ (Eriksson, Blanchette and Ander, 1990) เฮมิเซลลูโลสที่พบในธรรมชาติมักอยู่รวมกับลิกนินและเซลลูโลสจึงทำให้ผนังเซลล์ของพืชมีความแข็งแรงและยืดหยุ่น

2.3 ลิกนิน (lignin) พบปริมาณมากในผนังเซลล์โดยมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้เซลลูโลสถูกย่อยสลาย ลิกนินเป็นสารพวกอะโรมาติกที่ประกอบด้วยหมู่เมทอกซิล หมู่ไฮดรอกซิลและหน่วยฟีนิลโพรเพน อาจเชื่อมกันที่ตำแหน่งแอลฟาหรือเบตา กับโซ่ข้างของหน่วยอื่นหรือที่ตำแหน่งอื่น หรือที่ตำแหน่ง 4 และ 5 ของวงแหวนฟีนิลได้เป็นรูปร่างเส้นตรง วงกลม หรือมีกิ่งก้านสาขาก็ได้ โดยปกติไม่สามารถสรุปได้ว่าลิกนินเป็นสารประกอบประเภทใด เพราะไม่สามารถระบุโครงสร้างที่แน่นอนได้ ลิกนินมักจะประกอบด้วยหน่วยย่อย ๆ หลายกลุ่ม (เกศสุชา พูลคำ, 2536) ลิกนินจะพบในผนังเซลล์ชั้นแรก ผนังเซลล์ชั้นสอง ผนังเซลล์ชั้นสามและมิดเดิลลาเมลลา โดยที่ลิกนินจะสร้างจากผนังเซลล์ชั้นแรกและมิดเดิลลา เมลลา แล้วถูกส่งไปเก็บที่ส่วนอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับส่วนนั้น

เยื่อใยในกากมันสำปะหลังมีอยู่ประมาณ 10.38 – 15.26% (ตารางที่ 2.7) โดยพบว่าชนิดของเยื่อใยในกากมันสำปะหลังยังมีความแตกต่างกัน อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการสกัดแป้งมันสำปะหลังของโรงงานที่มีคุณภาพแตกต่างกัน ทำให้เยื่อใยในกากมันสำปะหลังที่เหลือออกมามีปริมาณที่แตกต่างกัน จากการรวบรวมเอกสารพบว่าเยื่อใยในกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำ โดยมีปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 13.1% แบ่งเป็นเซลลูโลส 8.1% เฮมิเซลลูโลสมีอยู่ประมาณ 2.8% และส่วนที่เป็นลิกนินมีอยู่ 2.2% ในส่วนของเยื่อใยที่ละลายน้ำได้พบว่ามีเยื่อใยชนิดเพกตินอยู่ 7% (Djuma’ali, Soewarno, Sumarno, Primarini and Sumaryono, 2011) โดยคุณสมบัติของเยื่อใยที่ไม่ละลายในน้ำ คือ จะเป็นตัวดูดน้ำระหว่างที่อยู่ในทางเดินอาหาร ทำให้อาหารมีความถ่วงจำเพาะสูง อาหารจึงเคลื่อนที่เร็วขึ้น ส่งผลให้เอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ทำงานได้ไม่เต็มที่ ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง ทำให้ใช้ในสูตรอาหารสัตว์ปีกได้ค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตามได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มได้ศึกษาเกี่ยวกับเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำเพื่อส่งเสริมสุขภาพทั้งในคนและสัตว์ โดยเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำจะช่วยส่งเสริมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในระบบทางเดินอาหาร การย่อยอาหาร (Hetland and Choct, 2003) ในส่วนของเยื่อใยที่ละลายน้ำได้ในธัญพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์อาจมีผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหารในสัตว์ปีกได้ เช่น อัตราการเปลี่ยนอาหารลดลง เพิ่มความชื้นและเพิ่มสารอินทรีย์ในมูล ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของเยื่อใยชนิดที่ละลายน้ำ ดังรายงานของ Choct (1997) กล่าวว่าอาหารที่มีส่วนประกอบของเยื่อใยที่ละลายน้ำ ได้แก่ เพกติน สารกลุ่มนี้สามารถละลายน้ำได้จึงทำให้อาหารยึดเกาะกันแน่นและหนืด (viscous digesta) เอนไซม์จากทางเดินอาหารไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปทำปฏิกิริยากับอาหารได้ ส่งผลให้ประสิทธิการย่อยได้ต่ำ ร่างกายจึงเร่งสร้างเซลล์บุผิวลำไส้มากขึ้นเพื่อหลั่งสารมิวซิน (mucin) มาช่วยย่อยมากขึ้น ผนังลำไส้จึงหนา

ตัวขึ้นเป็นผลให้การดูดซึมของสารอาหารที่ย่อยแล้วลดลง อาหารจึงมีลักษณะหนืดและไหลผ่านไปส่วนต่าง ๆ ของทางเดินอาหารได้ช้าลง ทำให้สัตว์รู้สึกอิ่มตลอดเวลาสัตว์จึงกินอาหารลดลง และอาจทำให้การเจริญเติบโตลดลง แต่อย่างไรก็ตามเยื่อใยชนิดที่ละลายน้ำได้นั้นมีความสามารถในการหมักย่อยได้มากกว่าเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำ และจะมีความหนืดสูงกว่า (Montagne, Pluske and Hampson, 2003) เมื่อเยื่อใยดังกล่าวผ่านไปยังลำไส้ใหญ่ (colon) จะเกิดการหมักย่อยเยื่อใยของจุลินทรีย์ให้ผลผลิตเป็นกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid, SCFA) ได้แก่ กรดอะซิติก (acetate, C_2) กรดโพรพิโอนิค (propionate, C_3) และกรดบิวทิริก (butyrate, C_4) โดยเยื่อใยประเภทนี้พบมากในพืชชนิดต่าง ๆ อาทิเช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี ข้าวไรน์ ข้าวโอ๊ต กากมะพร้าว กากปาล์ม และ DDGS เป็นต้น

นอกจากนี้วัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยประเภทต่าง ๆ พบว่าในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ ธัญพืช พืชหัว กากพืชน้ำมัน และปลาป่นจะมีเยื่อใยหยาบ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในปริมาณที่ต่ำ ในส่วนของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีเปลือกอยู่ด้วย ได้แก่ รำกากเมล็ดฝ้าย กากเมล็ดนุ่น และกากมันสำปะหลังจะมีเยื่อใยสูงขึ้น ในส่วนของอาหารหยาบ เช่น หญ้าสด หญ้าแห้ง ฟางข้าว ต้นและใบของพืชต่าง ๆ มีเยื่อใยอยู่สูงและจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 ปริมาณเยื่อใย (ร้อยละของวัตถุแห้ง) ในอาหารสัตว์บางชนิด

Ingredients	Crude fiber	NFE	Cellulose	Hemicellulose	Lignin
มันเส้น	3.6	88.84	–	–	–
กากมันสำปะหลัง[1/]	6.6	–	5.9	27.8	3.9
กากมันสำปะหลัง[2/]	20.1	65.6	8.1	2.8	2.2
ข้าวโพด	2.6	81.5	2	6	1
ข้าวฟ่าง	2.0	82.8	8	9	1
รำข้าวจ้าว	12.8	45.2	18	15	–
กากถั่วเหลือง	7.0	37.3	10	–	–
กากถั่วลิสง	10.8	29.2	–	–	–
กากทานตะวัน	35.1	31.5	21	7	12
กากงา	6.1	25.2	15	–	2
กากนุ่น	24.8	43.5	–	–	–
กากฝ้าย	12.8	31.3	20	8	6
ปลาป่น	1.0	1.0	–	–	–

หมายเหตุ : NFE = Nitrogen free extract เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย คือ แป้งและน้ำตาล

ที่มา : บุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2541) และ NRC (1998)

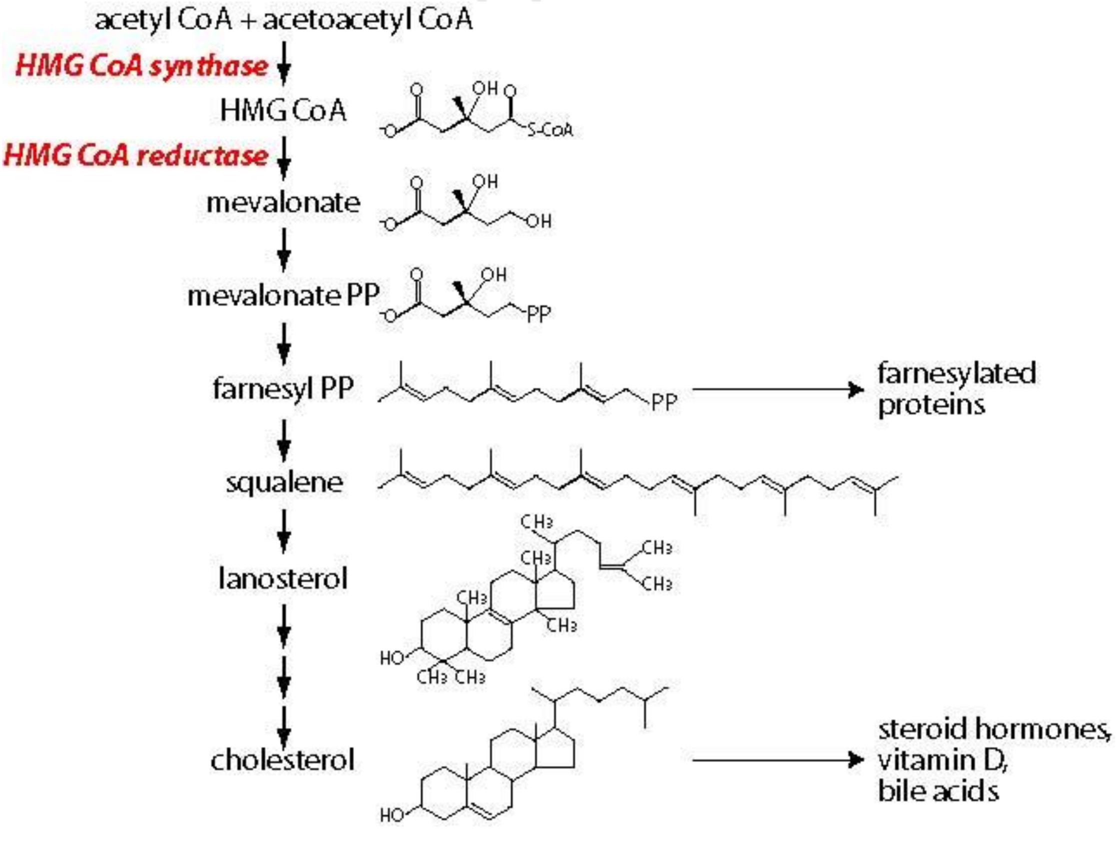
[1/] Suksombat et al. (2006)

[2/] Djuma'ali et al. (2011) เป็นกากมันจากกระบวนการผลิตเอทานอล

2.5.1 บทบาทของเยื่อใยต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

คอเลสเตอรอลเป็นสารประเภทไขมันซึ่งในร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เอง โดยเกิดการสังเคราะห์ที่ตับ ลำไส้ และผิวหนัง มักพบร่วมกับกรดไขมันอิ่มตัวที่ไหลเวียนอยู่ในร่างกาย (จารุวรรณ์ ศิริพรรณพร, 2554) (ดังแสดงในภาพที่ 2.5) โดยสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ คือ อะซีติล โคเอนไซม์ เอ (acetyl CoA) และอะซิโทอะซิทิล โคเอ (acetoacetyl – CoA) ซึ่งเปลี่ยนเป็น β – hydroxy β – methylglutaryl – CoA (HMG – CoA) และถูกรีดิวส์เป็นเมวาโลเนต (mevalonate) และเปลี่ยนเป็นไอโซเพนทีนิลไพโรฟอสเฟต (isopentenyl pyrophosphate) โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยา decarboxylation และ squalene มีคุณสมบัติเป็นสารประกอบและเกิดการเรียงตัวเป็นวงแหวนได้เป็นสารลาโนสเตอรอล (lanosterol) ที่มีนิวเคลียสเป็นสเตียรอยด์ (steroid) จากนั้นจะมีการเปลี่ยนไปเป็นคอเลสเตอรอล ซึ่งในภาวะปกติร่างกายจะมีการรักษาความสมดุลของคอเลสเตอรอลให้คงที่เสมอ กล่าวคือถ้าร่างกายได้รับอาหารพวกเนื้อสัตว์มากก็จะลดการสร้างคอเลสเตอรอลลง ในทาง

ตรงข้ามถ้าได้รับอาหารที่เป็นพืชมากหรือเนื้อสัตว์น้อยร่างกายจะสังเคราะห์คอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยให้เกิดความสมดุลย์ โดยร่างกายจะมีการควบคุมการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล เมื่อร่างกายได้รับคอเลสเตอรอลเพียงพอแล้วการทำงานของเอนไซม์เอชเอ็มจี – โคเอ รีดักเทส (HMG – CoA reductase) จะถูกยับยั้ง ทำให้การสร้างขึ้นมาใหม่ของคอเลสเตอรอลในเซลล์ลดลงและคอเลสเตอรอลที่สังเคราะห์ขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อทำหน้าที่ต่าง ๆ เช่น ที่ผิวหนังจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินดี และคอเลสเตอรอลที่ตับจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำดีช่วยในการทำให้ไขมันแตกตัวและดูดซึมไขมัน (วิยดา เทพหัตถี, ศศิวิมล แสวงผล, เชฏฐ์ สาทรกิจ และทยา เจนจิตติกุล, 2554) และคอเลสเตอรอลยังสามารถได้รับจากอาหารที่กินเข้าไป แต่จะไม่พบในพืชซึ่งไม่มีการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล แต่น้ำมันพืชบางชนิดที่มีกรดไขมันอิ่มตัวสูงหรือการบริโภคอาหารที่มีแคลอรี่สูงอาจกระตุ้นการสร้างคอเลสเตอรอลในร่างกายได้ (ศูนย์ข้อมูลสุขภาพกรุงเทพ, 2554)


acetyl CoA + acetoacetyl CoA
HMG CoA synthase
HMG CoA
S-CoA
HMG CoA reductase
mevalonate
mevalonate PP
PP
farnesyl PP
farnesylated proteins
squalene
lanosterol
cholesterol
HO
steroid hormones, vitamin D, bile acids

ภาพที่ 2.5 การสังเคราะห์คอเลสเตอรอล

ที่มา : Bate Rumbold and Williams (2007)

การสังเคราะห์ไขมันในสัตว์ปีกแตกต่างจากสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะเนื้อเยื่อไขมันของสัตว์ปีกทำหน้าที่สะสมไขมันจากอาหาร จึงทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์

กรดไขมันมีจำกัด โดย Wells and Belyavin (1985) กล่าวว่าเมื่อไก่ไข่อยู่ในระยะให้ไข่อิทธิพลของฮอร์โมนทำให้ความเข้มข้นของไขมันรวมในตับเพิ่มขึ้น 2 – 3 เท่า เมื่อเทียบกับไก่ไข่ที่อยู่ในระยะไม่ให้ไข่ ทั้งนี้ไข่ไก่ที่มีน้ำหนัก 60 กรัม มีไขมันประมาณ 6 กรัม โดยไขมันส่วนใหญ่ถูกสังเคราะห์จากตับและเข้าสู่กระแสเลือด โดยลิโปโปรตีนแล้วสะสมในไข่แดงผ่านทางผนังของ follicle โดยการสะสมในไข่แดงจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วก่อนการตกไข่ประมาณ 9 วัน (Hargis, 1988) ไขมันส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิปิด คอเลสเตอรอล และไขมันชนิดอื่น ๆ เล็กน้อย โดยรายงานของ Hur, Kang, Jeong, Yang, Ha, Park and Joo (2003) กล่าวว่าการลดลงของการสะสมคอเลสเตอรอลในไข่แดงนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด และ Sutton, Muir and Begin (1981) รายงานว่าปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่มีความสัมพันธ์กับคอเลสเตอรอลในเลือด เนื่องจากตับเป็นอวัยวะในการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลหลังจากนั้นคอเลสเตอรอลจะถูกขนส่ง โดยพลาสมาโปรตีนผ่านทางกระแสเลือดและผ่านทาง follicle และเข้าสู่ไข่แดง

ไข่ไก่เป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญเนื่องจากมีราคาถูกมีโภชนะต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอย่างครบถ้วน รสชาติอร่อย และสามารถนำไปประกอบอาหารได้หลายชนิด แต่พบว่าปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ไก่มีปริมาณสูง เนื่องจากไข่ไก่เป็นอาหารที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีปริมาณคอเลสเตอรอลสูงประมาณ 200 มิลลิกรัม ต่อไข่ 1 ฟอง (Kritchevsky and Kritchevsky, 2000) ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่ทำให้มีการหลีกเลี่ยงการบริโภคไข่ไก่เพื่อลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดตีบและการอุดตันของหลอดเลือดในหัวใจ จากการรวบรวมเอกสารเกี่ยวกับเยื่อใยในสูตรอาหารต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในพลาสมาและในไข่แดงของไก่ไข่ พบว่าการใช้วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงในอาหารไก่ไข่สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและในไข่แดงได้เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (Weiss and Scott, 1978; James, 1978) และพบว่าในพืชจะมีส่วนประกอบของเยื่อใย ซึ่งอาจมีผลในการลดการดูดซึมของไขมันและคอเลสเตอรอล (Sucharita, Harinder and Klaus, 1998) (ดังแสดงในตารางที่ 2.16) สำหรับการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในพลาสมาและในไข่แดง กลไกในการลดระดับคอเลสเตอรอลนั้นยังไม่เป็นที่ทราบอย่างแน่ชัด ทั้งนี้คาดว่าอาจเกิดจากการบริโภคอาหารที่มีเยื่อใยสูง โดยเยื่อใยดังกล่าวมีคุณสมบัติช่วยลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลในอาหาร ซึ่งในสภาวะปกติร่างกายสามารถสร้างคอเลสเตอรอลและเผาผลาญให้อยู่ในสภาพของกรดน้ำดี (bile acid) และถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นเกลือน้ำดี (bile salt) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยและดูดซึมไขมันภายในลำไส้ เมื่อทำหน้าที่แล้วเกลือน้ำดีจะถูกดูดซึมกลับเข้าสู่ร่างกายที่ส่วนปลายของลำไส้เล็ก (วิจิตร บุณยะโหตระ, 2536) ดังนั้นเมื่อมีการบริโภคอาหารที่มีเยื่อใยในปริมาณที่สูง เยื่อใยดังกล่าวจะมีคุณสมบัติในการเกาะยึดเกลือน้ำดี ขัดขวางการดูดซึมของน้ำดีทำให้น้ำดีซึ่งมีคอเลสเตอรอลเป็นส่วนประกอบอยู่ถูกขับถ่ายออกพร้อมกับใยอาหารและลดการดูดซึมกลับเข้าสู่ร่างกาย เมื่อร่างกายย่อยไขมันครั้งต่อไปจึงต้องดึงคอเลสเตอรอลออกมาเพื่อเผาผลาญให้เป็นกรดน้ำดีขึ้นมาใหม่เสมอ ทำให้ปริมาณ

คอเลสเตอรอลในเลือดลดลง (Weiss and Scott, 1978) รวมทั้งอาจลดระยะเวลาที่อาหารอยู่ในทางเดินอาหาร ทั้งหมดนี้มีผลทำให้คอเลสเตอรอลถูกขับถ่ายออกมากขึ้น น่าจะส่งผลให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดลงได้ (Eastwood and Boyd, 1976; สาโรช ค้าเจริญ, 2547) อย่างไรก็ตาม การบริโภคเยื่อใยเพื่อลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดและในไข่แดงนั้นจะลดลงได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อใย ปริมาณ และระยะเวลาของการบริโภคเยื่อใย รวมทั้งปริมาณอุจจาระที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2.16 ผลของเยื่อใยในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อคอเลสเตอรอลในพลาสมาและไข่แดง

References	Treatment	Crude fiber (%)	Cholesterol values Plasma (mg/100 ml)	Yolk (mg/g)	Yolk (mg/egg)
Weiss et al. (1978)	Control	2.06	219^{b}	16.7	–
	50% bran	5.98	219^{b}	13.4	–
	50% bran + 19% oil	5.63	229^{b}	15.6	–
	50% oat hulls	16.08	208^{b}	14.0	–
	50% alfalfa meal	12.90	195^{a}	15.4	–
	50% bran + 50 ppm Cu	5.98	213^{b}	14.3	–
James (1978)	Control	2.09	129^{d}	13.8^{d}	265.40^{d}
	7.69% alfalfa meal	3.90	56^{a}	13.4^{c}	255.95^{c}
	18.18% ground oats	3.68	88^{bc}	12.5^{a}	237.66^{a}
	8% sunflower meal	3.90	141^{d}	13.3^{bc}	251.16^{b}
	6.25% rice mill feed	3.91	98^{c}	12.9^{b}	250.85^{b}
	3.33% wood shavings	4.01	67^{ab}	12.4^{a}	237.44^{a}

หมายเหตุ : $^{a-d}$ ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.5.2 บทบาทของเยื่อใยต่อสรีรวิทยาในระบบทางเดินอาหาร

ลักษณะจุลกายวิภาคของทางเดินอาหาร อาจได้รับอิทธิพลจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ต่างกันของวัตถุดิบอาหาร ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการย่อยได้และการหมักย่อยเยื่อใยเป็นส่วนของผนังเซลล์พืชที่สัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยได้ แต่นับว่าเป็นองค์ประกอบสารอาหารที่สำคัญ เยื่อใยที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้มาจากพืชมีความแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ โดยมีทั้งประโยชน์และโทษต่อตัวสัตว์ จากการทดลองของ Jimenez – Moreno, Gonzalez –

Alvarado, de Coca – Sinova, Lazaro and Mateos (2009) เสริมเปลือกข้าวโอ๊ต 30 g/kg ในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้น้ำหนักทางเดินอาหารและกระเพาะบดมากกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.01$) ซึ่งในเปลือกข้าวโอ๊ตนั้นพบว่ามีเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่

โดยทั่วไปไก่จะมีการปรับตัวของทางเดินอาหารเมื่อได้รับอาหารที่มีเยื่อใยในระดับสูง ส่งผลให้ปริมาตรและน้ำหนักของทางเดินอาหารเพิ่มสูงขึ้น และจากการทดลองของ Hetland and Svihus (2001) พบว่าการเสริมเปลือกข้าวโอ๊ตจะมีผลในการเพิ่มน้ำหนักกระเพาะบด คุณสมบัติการพองตัวของเปลือกข้าวโอ๊ตช่วยเพิ่มความจุของสิ่งย่อย ทำให้ผนังกระเพาะบดขยายออก และในการบดอาหารให้ละเอียดนั้นต้องใช้เวลานานในการบด จึงทำให้อาหารคงอยู่ในกระเพาะบดนานขึ้น จึงเป็นการพัฒนากล้ามเนื้อและขนาดของอวัยวะ (Gonzalez – Alvarado, Jimenez – Moreno, Valencia, Lazaro and Mateos, 2008) ผลจากน้ำหนักของกระเพาะบดที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารดีขึ้น จากการเพิ่มพื้นที่ในการคลุกเคล้าอาหารกับเอนไซม์และการเพิ่มแรงบดที่กระทำต่ออาหาร สอดคล้องกับการทดลองของ Khempaka et al. (2009) พบว่าน้ำหนักของกระเพาะบดจะเพิ่มขึ้นตามระดับของกากมันสำปะหลังในอาหาร นอกจากนี้การทดลองของสุวรรณา พรหมทอง (2548) พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับมันเส้นและมันอัดเม็ดมีพื้นที่ผิวของวิลลัส (microvilli) ความลึกของคริปท์ (crypt) การสร้างเซลล์ใหม่ และเซลล์หลั่งเยื่อเมือกมากกว่าไก่ที่ได้รับข้าวโพดในลำไส้เล็กและโคลอน ดังนั้นกากมันสำปะหลังซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยอยู่สูง (10.38 – 15.26%) จึงคาดหวังว่าเยื่อใยในกากมันสำปะหลังจะช่วยในการส่งเสริมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในระบบทางเดินอาหาร การย่อยอาหาร กระตุ้นการเจริญและการสร้างเซลล์ใหม่ของคริปท์จึงส่งเสริมให้ไก่มีสุขภาพดี

2.5.3 บทบาทของเยื่อใยต่อการส่งเสริมจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร

การหมักย่อยเยื่อใย แป้ง และผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์จะถูกหมักย่อยโดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนที่อาศัยอยู่ในส่วนของโคลอนและไส้ติ่ง โดยจะได้กรดไขมันสายสั้น ประกอบด้วย กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิค และกรดบิวทิริก ซึ่งจะมีผลกระทบต่อเซลล์โคลอนทั้งในเชิงโครงสร้างและบทบาทของเซลล์ (Scheppach, 1994) การหมักย่อยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโคลอนส่วนต้น และกรดไขมันสายสั้นที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วเกือบทั้งหมด โดยจะถูกเมแทบอไลท์โดยเยื่อบุทางเดินอาหารส่วนโคลอนและตับ (Cummings, Pomare, Branch, Naylor and Macfarlane, 1987) นอกจากนี้พลังงานที่เกิดจากการหมักย่อยดังกล่าวยังเป็นแหล่งของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ให้แก่สัตว์ปีกประมาณ 7.8 – 8.6 KJ/g หรือคิดเป็น 3.5% ของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด และเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้ (Rabassa and Roger, 1992)

กรดไขมันสายสั้นดังกล่าวมีผลในการกระตุ้นการเจริญของเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้ (Ichikawa and Sakata, 1998) โดยอาจเป็นผลจากการกระตุ้นการไหลเวียนของเลือดในลำไส้ ซึ่งกรดบิวทิริกที่ผลิตได้จะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของสัตว์ ลดการขับออกของมูล เพิ่มความลึกของคริปท์

(Sakata, 1987) และเพิ่มความยาวของวิลลัส (Pryde, Duncan, Georgina, Hold, Colin, Stewart and Flint, 2002) ซึ่ง Jacobasch, Schrmied, Kruschewski and Schmehl (1999) รายงานว่ากรดบิวทิริกในระบบทางเดินอาหารของไก่มีผลป้องกันการอักเสบของลำไส้และป้องกันมะเร็งในลำไส้ใหญ่ส่วนโคลอน โดยบิวทิริกเป็นสารที่มีบทบาทในการกระตุ้นให้เกิดกระบวนการตาย (apoptosis) ของเซลล์ในมะเร็งลำไส้ใหญ่ ยับยั้งการสร้าง secondary bile acids ซึ่งเป็นสารที่ก่อมะเร็งในลำไส้ใหญ่ (Wijnands, Appel, Hollanders and Woutersen, 1999) ควบคุมการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น ลดจำนวนสารประกอบที่เป็นอันตรายต่าง ๆ เช่น แอมโมเนีย อินโดล (indole) และพาราครีซอล (p – cresol) ยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งและกระตุ้นให้เซลล์มะเร็งฝ่อ (Velazquez, Lederer and Rombeau, 1996; Jacobasch et al., 1999) และอาจมีผลในการป้องกันการอักเสบของลำไส้ นอกจากนั้นกรดบิวทิริกและกรดอะซิติกยังมีบทบาทในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อได้ เช่น *Clostidium spp. Salmonella spp.* และ *E. coli* (Fernandez – Rubio, Ordonez, Abad – Gonzalez, Garcia – Gallego, Honrubia, Mallo and Balana – Fouce, 2009)

กรดไขมันสายสั้นเมื่อเข้าไปในโคลอนแล้วจะไปกระตุ้นการแบ่งเซลล์ในคริปท์ของโคลอนและลำไส้เล็ก (Sakata, 1987) และกรดไขมันดังกล่าวทำให้สิ่งย่อยในทางเดินอาหารมีระดับ pH ต่ำลง และกระตุ้นให้เกิดการผลัด (turnover) ของเซลล์ในส่วนคริปท์ และกระตุ้นการเพิ่มขึ้นของเซลล์เยื่อบุผิว (epithelium cell proliferation) ของโคลอน นอกจากนี้กรดไขมันสายสั้นจะกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์จากตับอ่อน และเพิ่มการดูดซึมโซเดียมและน้ำในโคลอน ซึ่งจะช่วยควบคุมอาการท้องเสียและควบคุมการหลั่งไบคาร์บอเนต (Evans and Shronts, 1992; Scheppach, 1994; Cook and Sellin, 1998) จึงอาจส่งผลให้ระดับ pH ในทางเดินอาหารลดลง

เมื่อมีการลดลงของระดับ pH ในทางเดินอาหารอาจเกิดจากระดับกรดไขมันสายสั้นที่เป็นปัจจัยร่วมในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรคซึ่งมีผลช่วยควบคุมจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ อาทิเช่น *Clostidium spp. Salmonella spp.* และ *E. coli* ส่งเสริมจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์จึงส่งผลในการควบคุมโรค และช่วยให้สัตว์มีสุขภาพดี (Bird, Brown and Topping, 2000; Gibson, Rastall and Roberfroid, 1999; Gibson and Roberfroid, 1995) สอดคล้องกับ Van der Wielen, Biesterveld, Notermans, Hofstra, Urlings and van Knapen (2000) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันชนิดโพรพิโอนิคและบิวทิริกในลำไส้เล็กส่วนไอเลียม จะส่งผลต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ชนิด *Salmonella spp.* และ *E. coli* ได้ และอาจส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacterium spp.* เป็นจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย เมื่อจุลินทรีย์ดังกล่าวมากขึ้นทำให้มีความสามารถแข่งขัน แย่งสารอาหารและยึดเกาะติดผนังเยื่อบุผิว และสามารถครอบครองพื้นที่ผิวของเยื่อบุทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นกลไกขัดขวางการยึดเกาะและยับยั้งการ

เจริญของแบคทีเรียก่อโรค เช่น *Salmonella spp. E. coli* และ *Clostridium spp.* เป็นต้น จุลินทรีย์เหล่านี้จึงถูกกำจัดออกไปจากทางเดินอาหาร (Barrow, Brolleker, Fuller and Newport, 1980) และมีปริมาณไม่มากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อร่างกาย ทำให้จุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารเกิดความสมดุล (Audisio, Oliver and Apella, 1999)

2.5.4 บทบาทของเยื่อใยต่อการผลิตแอมโมเนีย

เมื่อมีการผลิตกรดไขมันสายสั้นออกมาจะส่งผลให้ระดับ pH ในมูลลดลง และอาจจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบปศุสัตว์และสัตว์ปีกได้ จากการรวบรวมเอกสารพบว่าเยื่อใยอาจมีผลในการลดระดับ pH โดย Roberts, Xin, Kerr, Russell and Bregendahl (2007) รายงานว่าการใช้กากข้าวโพดจากการผลิตเอทานอล ข้าวสาลี และกากถั่วเหลืองในอาหารไก่ไข่จะส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนีย และระดับ pH ในระบบทางเดินอาหารลดลง ซึ่งการลดระดับ pH นี้อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันสายสั้นในระบบทางเดินอาหารของไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเยื่อใยสูง นอกจากนี้กรดไขมันสายสั้นมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในชนิด *Salmonella spp.* และ *E. coli* ส่งผลให้มีการผลิตสารอินโดลและสกาโตล ซึ่งเป็นสารที่ส่งกลิ่นในมูลสัตว์และเมื่อความเป็นกรดในมูลลดลง อาจทำให้มีสภาวะไม่เหมาะที่จะให้ไข่แมลงวันฟักตัวออกเป็นตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลงวันได้ (อุทัย คันโท และคณะ, 2547)

บทที่ 3

วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งการทดลองออกได้เป็น 2 การทดลอง คือการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ และแอมโมเนีย

3.1 การทดลองที่ 1 : ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

3.1.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง

นำกากมันสำปะหลังที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง นำมาตากให้แห้งโดยการผึ่งแดด แล้วนำกากมันสำปะหลังแห้งไปบดให้ได้ขนาดประมาณ 1.0 มิลลิเมตร จากนั้นนำกากมันสำปะหลังแห้งที่ได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีก่อนนำไปทำการทดลอง และองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองได้แสดงในตารางที่ 3.1

ก่อนทำการทดลองได้ทำการศึกษาพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง (True metabolizable energy, TME) ของกากมันสำปะหลังในไก่ไข่ ตามวิธีของ Sibbald (1976) เพื่อนำค่าที่ได้ไปประกอบสูตรอาหารไก่ไข่ โดยมีวิธีการดังนี้ คือ ใช้ไก่ไข่พันธุ์ อีซ่า บราวน์ จำนวน 10 ตัว นำมาเลี้ยงบนกรงขังเดี่ยวที่มีถาดรองรับมูลใต้กรง ทำการอดอาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ไม่อดน้ำ) เพื่อให้ไก่ไข่ขับถ่ายอาหารที่เหลือในระบบทางเดินอาหารออกให้หมด แบ่งไก่ไข่ออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 5 ซ้ำ กลุ่มแรกให้อดอาหารต่อจนเสร็จสิ้นการทดลอง (24 ชั่วโมง) กลุ่มที่สองทำการป้อน (forced feeding) กากมันสำปะหลัง 20 กรัม เมื่อครบระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังการป้อนกากมันสำปะหลัง ทำการเก็บและบันทึกน้ำหนักมูลของไก่ทุกตัว นำมูลที่ได้ทั้งหมดไปอบให้แห้ง บดให้ละเอียด จากนั้นนำไปวัดค่าพลังงาน และทำการคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง

3 .1.2 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่ไข่พันธุ์อีซ่าบราวน์ ที่อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 48 ตัว แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ตัว โดยไก่ในแต่ละหน่วยการทดลองมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย และอัตราการให้ไข่ใกล้เคียงกัน โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) เลี้ยงบนกรงขังเดี่ยว (metabolic cage) เพื่อศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ โดยไก่ทุกตัวได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ตลอดการทดลอง (*ad libitum*) ระยะเวลาการทดลอง 10 วัน เก็บมูลเพื่อวิเคราะห์ในช่วง 6 – 10 วัน หลังจากได้รับอาหารทดลอง

3.1.3 อาหารทดลอง

อาหารทดลองเป็นการทดสอบการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ โดยมีการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดที่ระดับต่าง ๆ คือ 0 5 10 15 20 และ 25% ในสูตรอาหาร โดยอาหารทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีน และพลังงานเท่ากันตามคำแนะนำของ NRC (1994) รายละเอียดสูตรอาหารได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 และอาหารการทดลองแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 กากมันสำปะหลัง (กลุ่มควบคุม)
กลุ่มที่ 2 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 5%
กลุ่มที่ 3 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10%
กลุ่มที่ 4 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 15%
กลุ่มที่ 5 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20%
กลุ่มที่ 6 กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25%

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังจากการวิเคราะห์

Nutrient	**(%)**
Dry matter	89.51
Crude protein	2.68
Ether extract	0.25
Ash	4.92
Crude fiber	14.38
TME (kcal/kg)	2,763
Amino acid (mg/100 g)	
Alanine	24.91
Arginine	<5.00
Aspartic acid	15.76
Cystine	<5.00
Glutamic acid	98.09
Glycine	42.48
Histidine	58.99
Isoleucine	84.61
Leucine	106.32
Lysine	226.22
Methionine	<5.00
Phenylalanine	118.19
Proline	25.40
Serine	<5.00
Threonine	<5.00
Tryptophan	6.76
Tyrosine	71.12
Valine	87.11
Cyanide, mg/kg	3.26

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลองที่ 1

Ingredients		**Dried cassava pulp (%)**				
	Control	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**
Corn	50.00	45.00	40.00	35.00	30.00	25.00
Soybean meal (44% CP)	15.86	16.73	17.65	18.57	19.50	20.32
Full fat soybean meal	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Rice bran	10.90	9.42	7.87	6.33	4.77	3.35
Cassava pulp	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00
Rice bran oil	1.76	2.37	2.99	3.60	4.22	4.88
Meat meal (61% CP)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Salt	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
DL – Methionine	0.19	0.19	0.20	0.21	0.22	0.22
Calcium carbonate	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90
Dicalcium phosphate	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Premix$^{1/}$	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Calculated composition (%)						
ME, kcal/kg	2851	2851	2851	2851	2851	2851
Methionine	0.45	0.45	0.45	0.46	0.47	0.46
Methionine + Cystine	0.66	0.66	0.66	0.66	0.67	0.66
Lysine	0.85	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92
Calcium	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Available phosphorus	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Analyzed composition (%)						
Crude protein	18.36	18.36	18.20	18.57	18.63	18.61
Dry matter	90.26	91.63	91.15	91.50	91.43	91.84
Crude fiber	3.14	4.54	4.73	5.24	5.78	6.31

หมายเหตุ : $^{1/}$ Premix (0.5%) provided the following (per kilogram of diet): vitamin A, 15,000 IU; vitamin D_3, 3,000 IU; vitamin E, 25 IU; vitamin K_3, 5 mg; vitamin B_1, 2.5 mg; vitamin B_2, 7 mg; vitamin B_6, 4.5 mg; vitamin B_{12}, 25 μg; pantothenic acid, 35 mg; folic acid, 0.5 mg; biotin, 25 μg; nicotinic acid, 35 mg; choline chloride, 250 mg; Mn, 60 mg; Zn, 45 mg; Fe, 80 mg; Cu, 1.6 mg; I, 0.4 mg; Se, 0.15 mg

3.1.4 เก็บข้อมูล

การศึกษาการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

ทำการเก็บมูลทั้งหมด (Total collection) ที่ได้จากไก่วันละ 1 ครั้งในเวลา 9.00 นาฬิกา ในช่วง 4 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยเก็บมูลในถาดพลาสติกที่รองอยู่ใต้กรง สเปรย์มูลที่เก็บด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5% (5% HCl) เพื่อป้องกันการสูญเสียไนโตรเจน และนำมูลของไก่แต่ละตัวที่ได้รับในแต่ละวันไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55°C ให้แห้ง แล้วนำมาบด จากนั้นเก็บใส่ถุงพลาสติกไว้เพื่อรอการวิเคราะห์ทางเคมี และทำการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ คือ น้ำหนักตัวของไก่ไข่ก่อนและหลังการทดลอง ปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักมูลในช่วง 4 วันสุดท้ายของการทดลอง และทำการบันทึกทุกครั้งเมื่อมีไก่ตาย

ปัจจัยที่ต้องศึกษา

เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้ของโภชนะ โดยปัจจัยที่ศึกษาคำนวณจากสูตร ตามวิธีการของ สาโรช ค้าเจริญ (2547) มีปัจจัยที่ศึกษาดังนี้

1) การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (dry matter digestibility)

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

2) การย่อยได้ของโภชนะ (nutrient digestibility)

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

หมายเหตุ : น้ำหนักอาหารและมูลอยู่ในรูปของน้ำหนักแห้ง

3.1.5 การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในอาหารโดยวิเคราะห์หาค่า ความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน เยื่อใย และวิเคราะห์หาโภชนะในมูลโดยวิเคราะห์หาค่าความชื้น โปรตีน และเถ้า ตามวิธี (AOAC, 2000) เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่ไข่ และทำการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยใช้เครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

3.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติหาความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DUNCAN) และวิเคราะห์หาแนวโน้มของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ด้วยวิธี Orthogonal polynomials โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (1996)

3.2 การทดลองที่ 2 : ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ และแอมโมเนีย

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง และค่าทางชีวเคมีของโลหิต นอกจากนี้จากการรวบรวมเอกสารพบว่าเยื่อใยชนิดไม่ละลายน้ำจากพืชหัวและพืชตระกูลถั่ว อาจมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์โดยมีบทบาทในการป้องกันโรค ส่งเสริมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในระบบทางเดินอาหาร และการย่อยอาหาร (Hetland and Choct, 2003) เช่นเดียวกับในกากมันสำปะหลังซึ่งมีเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำอยู่ หากสัตว์กินเข้าไปน่าจะส่งเสริมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในระบบทางเดินอาหาร และอาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ลดจำนวนของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และเป็นประโยชน์ทางอ้อมในการลดการปล่อยแอมโมเนียสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการวัดประชากรจุลินทรีย์ กรดไขมันที่ระเหยได้ และการผลิตแอมโมเนียในทางเดินอาหารส่วนซีกัมด้วย

3.2.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง

มีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.1

3.2.2 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่ไข่พันธุ์ อิซ่า บราวน์ ที่อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 288 ตัว ทำการแบ่งไก่ไข่ออกเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 12 ตัว โดยเลี้ยงไก่ทดลองในกรงตับที่สามารถใส่ไก่ได้ 3 ตัว โดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยให้ไก่ไข่ได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ *(ad libitum)* ตลอดการทดลองให้อาหารในรางอาหารด้านหน้ากรง และมีระบบการให้น้ำอัตโนมัติแบบหัวหยด (nipple) มีระยะเวลาในการทดลอง 90 วัน แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 4 สัปดาห์

3.2.3 อาหารทดลอง

อาหารทดลองเป็นการทดสอบการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ โดยมีสูตรอาหารทดลองคล้ายกับการทดลองที่ 1 อาหารทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีนและพลังงานเท่ากันตามคำแนะนำของ NRC (1994)

3.2.4 ลักษณะที่ต้องการศึกษา

การบันทึกผลการทดลองแบ่งการทดลองเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 4 สัปดาห์ ของการทดลอง โดยแต่ละช่วงมีการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) บันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์
2) บันทึกข้อมูลไก่ไข่ จำนวนไข่ และน้ำหนักไข่ทุกวัน
3) สรุปข้อมูลทุกช่วงการทดลอง เพื่อหา

1) การศึกษาสมรรถนะการผลิตไข่ (Production performance)

ทำการบันทึกน้ำหนักตัวไก่ไข่ก่อน และสิ้นสุดการทดลอง บันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์ เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร และทำการบันทึกทุกครั้งที่มีไก่ตาย

- ปริมาณอาหารที่กิน (feed intake, FI), (กรัม/ตัว)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง (กรัม)}}{\text{จำนวนวัน (วัน)} \times \text{จำนวนไก่ที่เหลือเมื่อสิ้นสุด (ตัว)}}$$

- ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (feed conversion ratio, FCR)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม)}}$$

- อัตราการตาย (mortality rate, %)

$$= \frac{(\text{จำนวนไก่ตาย} + \text{คัดทิ้งทั้งหมด}) \times 100}{\text{จำนวนไก่เริ่มต้น (ตัว)}}$$

ทำการบันทึกผลผลิตไข่ไก่ น้ำหนักไข่ในแต่ละวัน และทำการบันทึกเมื่อมีการแตกร้าวของไข่ เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไข่ น้ำหนักไข่เฉลี่ย มวลไข่ และเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว

- ผลผลิตไข่ (egg production, %)

$$= \frac{\text{จำนวนไข่ที่ผลิตได้ทั้งหมด (ฟอง)} \times 100}{\text{จำนวนวัน (วัน)} \times \text{จำนวนไก่ในช่วงการทดลอง (ตัว)}}$$

- น้ำหนักไข่เฉลี่ย (egg weight), (กรัม/ฟอง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักไข่ที่ผลิตได้ทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ผลิตได้ทั้งหมด (ฟอง)}}$$

- มวลไข่ (egg mass) (กรัม)

$$= \text{น้ำหนักไข่} - \text{น้ำหนักเปลือกไข่}$$

- เปอร์เซ็นต์การแตกร้าว (cracking, %)

$$= \frac{\text{จำนวนไข่สูญเสียทั้งหมด (ฟอง)} \times 100}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง)}}$$

2) การศึกษาคุณภาพไข่ไก่ (Egg quality)

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 4 สัปดาห์ของการทดลอง โดยวัดคุณภาพไข่ในทุก 2 สัปดาห์ คือ ทุกสัปดาห์ที่ 2 และ 4 ของแต่ละเดือน โดยทำการสุ่มไข่จำนวน 4 ฟองต่อซ้ำ เพื่อวัดคุณภาพไข่ไก่ ได้แก่ ความหนาเปลือกไข่ (egg shell thickness) น้ำหนักเปลือกไข่ (egg shell weight) สีของไข่แดง (yolk color) น้ำหนักไข่แดง (yolk weight) และคุณภาพไข่ขาว (haugh unit)

- ความหนาเปลือกไข่ (egg shell thickness) (มิลลิเมตร) วัดความหนาเปลือกไข่เฉลี่ย 3 จุด
- สีของไข่แดง (yolk color) สังเกตได้จากสีซีดมากจนกระทั่งมีสีเข้ม โดยมีระดับความเข้มของสีไข่แดงตั้งแต่เบอร์ 0 – 15 เทียบกับพัดสีโรช
- ความสูงไข่ขาว (albumin height), (มิลลิเมตร) ทำการวัด 3 จุด จุดกึ่งกลางระหว่างไข่ขาวกับขอบไข่แดง โดยวัดความสูงไข่ขาวด้วยเวอร์เนีย
- คุณภาพไข่ขาว (haugh unit, %) ภายหลังจากวัดสีไข่แดงทำการวัดค่า Haugh Unit โดยการวัดความสูงของไข่ขาวและคำนวณหาค่า Haugh Unit ดังสมการของ Nesheim, Austic and Card (1979)

ค่า Haugh Unit = $100 \log (H + 7.57 - 1.7W^{0.37})$

W = น้ำหนักไข่ (กรัม)

H = ค่าเฉลี่ยความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) ทำการวัด 3 จุด ที่จุดกึ่งกลางระหว่างไข่ขาวและขอบไข่แดง

- น้ำหนักเปลือกไข่ (egg shell weight) แยกเปลือกไข่ออกจากไข่ ชั่งน้ำหนักเปลือก (กรัม/ฟอง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักเปลือกไข่ (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ (ฟอง)}}$$

- น้ำหนักไข่แดง (yolk weight) แยกไข่แดงออกจากไข่ขาว โดยใช้ช้อนและชั่งน้ำหนักไข่แดงเพื่อ หาน้ำหนักไข่แดง และคำนวณตามสูตร (กรัม/ฟอง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักไข่แดงทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง)}}$$

- น้ำหนักไข่ขาว (albumin weight) แยกไข่แดงออกจากไข่ขาว โดยใช้ช้อนและชั่งน้ำหนักไข่ขาว เพื่อหาน้ำหนักไข่ขาวและคำนวณตามสูตร (กรัม/ฟอง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักไข่ขาวทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง)}}$$

3) ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

- ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (กำไรเบื้องต้น, บาท)

= มูลค่าการขายไข่ – ค่าอาหาร

- ปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล (กิโลกรัม)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงทดลอง} \times 12}{\text{จำนวนไข่ในช่วงทดลอง}}$$

- รายได้จากการขายไข่ (บาท)

= จำนวนไข่ทั้งหมด × ราคาต่อฟอง 2.40 บาท

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยราคาไข่ไก่คละหน้าฟาร์ม เดือน ม.ค. – ธ.ค. ปีพ.ศ. 2555

ที่มา : สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย (2555)

4) การศึกษาค่าทางชีวเคมีทางโลหิตในไก่ไข่

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ระยะเวลา 12 สัปดาห์) ทำการสุ่มไก่ทุกกลุ่มการทดลองซ้ำละ 1 ตัว เพื่อเจาะเลือดบริเวณปีก (wing vein) ใช้เข็มฉีดยาเบอร์ 23 เริ่มดูดเลือดอย่าง ช้า ๆ จนได้ประมาณ 3 มิลลิลิตร โดยเก็บตัวอย่างเลือดในหลอดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด ชนิด Ethylene diaminetetra acetic acid (EDTA) และเก็บตัวอย่างเลือดทั้งหมดแช่ในกระติกน้ำแข็ง เพื่อลำเลียงเข้าห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อเก็บตัวอย่างเลือดซึ่งเป็นส่วนของพลาสมา (plasma) และนำไปวิเคราะห์ค่าทางชีวเคมีของโลหิตต่อไป

- การวิเคราะห์ค่าคอเลสเตอรอลในเลือด (total blood cholesterol) โดยทำการวิเคราะห์ตามวิธีของ (Allain, Poon, Chan, Richmond and Fu, 1974)
- การวิเคราะห์ค่ายูเรียไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen) (Anino and Giese, 1976)

5) การศึกษาปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

เมื่อเสร็จสิ้นการวัดคุณภาพไข่ ทำการแยกไข่แดงออกจากไข่ขาว นำไข่แดงแต่ละซ้ำมาตีรวมกัน เก็บที่อุณหภูมิ – 20°C เพื่อรอการวิเคราะห์คอเลสเตอรอลที่เป็นองค์ประกอบในไข่แดงต่อไป โดยวิเคราะห์ตามวิธีของ Rowe, Macedo, Visentainer, Souza and Matsushita (1999) นำไข่แดงมาสกัดไขมันด้วยสาร chloroform – methanol และสกัดคอเลสเตอรอลออกจากไลโปโปรตีน ทำการชั่งตัวอย่างไข่แดงที่บดละเอียด 5 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลม (round bottom flask) เติมสารคลอโรฟอร์ม ต่อ เมทานอล ต่อ ไอโซโพรพานอลในอัตราส่วน 90 : 5 : 5 (chloroform – methanol – isopropanol) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 60% (60% KOH) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร (1 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่าง 1 กรัม) เขย่าให้เข้ากันทำการสกัดแบบไหลกลับ (reflux) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาวางให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และเติม hexane ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร และเขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที จะเห็นการแยกชั้นของ hexane อย่างชัดเจนซึ่งจะอยู่ชั้นบนของขวด ทำการแยกสารละลาย hexane ใส่ขวดรูปกรวย (erlenmeyer flask) และทำการปิเปตสารละลายปริมาตร 12.5 มิลลิลิตร ทำให้แห้ง (dry) ด้วยไนโตรเจน (N_2) แล้วนำสารส่วนที่แห้งมาละลายด้วยสารมาตรฐาน (internal standard) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วยสาร hexane ที่มี 5 – แอลฟาคอเลสเตอรอล (5 – α cholesterol) อยู่ 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดูดสารใส่ขวดแก้วขนาดเล็กสีชา (vial) นำไปวิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (gas chromatography) (Hewlett Packard, HP 6890 series GC)

6) การศึกษาประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ระยะเวลา 12 สัปดาห์) ทำการสุ่มไก่ซ้ำละ 1 ตัว ทุกกลุ่มการทดลอง โดยไม่ต้องทำการอดอาหารจากนั้นทำให้สลบ และทำการฆ่า จากนั้นเก็บตัวอย่าง

ของเหลว (digesta) บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม (cecum) โดยซีกัมด้านซ้ายใช้สำหรับการศึกษาประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารและศึกษาแอมโมเนีย และซีกัมด้านขวาใช้สำหรับศึกษาการศึกษากรดไขมันระเหยได้ โดยเก็บตัวอย่างของเหลวในขวดปลอดเชื้อบรรจุใส่ในถุงเพื่อนำไปตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ ทุกขั้นตอนการเก็บตัวอย่างต้องทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจุลินทรีย์จากอากาศ ซึ่งถุงตัวอย่างทั้งหมดต้องแช่เย็นในน้ำแข็ง เพื่อลำเลียงเข้าห้องปฏิบัติการและตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ต่อไป

นำตัวอย่างของเหลวจากลำไส้ใหญ่มาเจือจางเชื้อ (dilution plate count) เพิ่มครั้งละ 10 เท่าเป็นลำดับ (ten – fold serial dilution) ตามวิธีของ Michael and Burton (1995) นำมาทำการเจือจางด้วยโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85% (0.85% NaCl) เพื่อหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในแต่ละเชื้อ โดยทำการเลือกระดับความเข้มข้นมา 2 ระดับ เพื่อนำไปใช้ในการตรวจนับเชื้อ โดยระดับความเข้มข้นของตัวอย่างของเหลว (digesta) บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม (cecum) ที่เหมาะสมของเชื้อ *E. coli* คือที่ระดับความเข้มข้น 10^{-2} และ 10^{-3} เชื้อ *Lactobacillus spp.* คือที่ระดับความเข้มข้น 10^{-6} และ 10^{-7} เท่า และเชื้อ *Bifidobacterium spp.* คือที่ระดับความเข้มข้น 10^{-5} และ 10^{-6} เท่า ซึ่งอาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะ (selective medium) เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ต้องการให้เจริญได้เท่านั้นโดยนำตัวอย่างของเหลวมาตรวจนับเชื้อต่าง ๆ ในอาหารดังต่อไปนี้

E. coli เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MacCONKEY – Agar (MCK agar) นำจานเลี้ยงเชื้อ (plate) บรรจุในถุงพลาสติกและบ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Bifidobacterium spp. เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Reinforced Clostridia agar นำจานเลี้ยงเชื้อ (plate) บรรจุในถุงพลาสติกและใส่ anaerobic gas pack เพื่อรักษาสภาพไร้ออกซิเจน จากนั้นบ่มในตู้บ่มเชื้อ (incubator) ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

Lactobacillus spp. เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Lactobacillus MRS Broth (MRS Broth) นำจานเลี้ยงเชื้อ (plate) บรรจุในถุงพลาสติกและใส่ anaerobic gas pack เพื่อรักษาสภาพไร้ออกซิเจน จากนั้นบ่มในตู้บ่มเชื้อ (incubator) ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

7) การศึกษากรดไขมันระเหยได้บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ระยะเวลา 12 สัปดาห์) ทำการสุ่มไก่ซ้ำ 1 ตัว โดยไม่ต้องทำการอดอาหาร จากนั้นทำให้สลบ และฆ่า ทำการเก็บตัวอย่างของเหลวบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมด้านขวา จากไก่แต่ละกลุ่มการทดลองประมาณ 5 กรัม เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ตามวิธีของ Zdunczyk, Juskiewicz, Jankowski, Biedrzycka and Koncicki (2005) โดยชั่งตัวอย่าง 0.2 กรัม เติมกรดฟอร์มิค (formic acid) จำนวน 200 ไมโครลิตร ลงในไมโครทิว (micro tube) ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 × g เป็นเวลา

5 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C ทำการดูดส่วนใสด้านบนมาใส่ในขวดแก้วขนาดเล็กสีชา (vial) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (gas chromatography)

8) การศึกษาแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม

ใช้ตัวอย่างของเหลวจากบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมจากไก่ชุดเดียวกันที่สุ่มฆ่าเพื่อเก็บจุลินทรีย์ และนำตัวอย่างของเหลวที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียตามวิธีของ Willis, Montgomery and Allen (1996) และวิเคราะห์โดยทำการชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัม เติมสารละลายลิเทียมคาร์บอเนต (Li_2CO_3) จำนวน 50 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 30,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นดูดสารละลายส่วนใสมาจำนวน 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียว โดยพยายามอย่าให้สารละลายติดบริเวณขอบหลอดทดลอง เติมสารซาลิไซเลต รีเอเจนท์ (salicylate reagent) จำนวน 4 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าด้วยเครื่อง vortex จากนั้นจึงเติมสารไฮโปคลอไรด์ (hypochlorite) จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที และนำไปวัดวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 685 นาโนเมตร โดยใช้ tube blank ปรับให้ค่าดูดกลืนแสงเป็น 0

3.2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติหาความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี Duncan’s new multiple range test (DUNCAN) และทำการวิเคราะห์หาแนวโน้มของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ด้วยวิธี Orthogonal polynomials ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (1996)

3.3 สถานที่ทำการทดลอง

3.3.1 ทำการทดลองเลี้ยงไก่ไข่ ณ งานสัตว์ปีก ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3.2 ทำการวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์สัตว์ อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินงาน 4 เดือน โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ระยะ ดังต่อไปนี้ คือ

การทดลองที่ 1 ทดลองเลี้ยงไก่ไข่เป็นระยะเวลา 1 เดือน (1 มีนาคม – 30 มีนาคม 2555) และทำการวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์สัตว์ อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การทดลองที่ 2 ทดลองเลี้ยงไก่ไข่เป็นระยะเวลา 3 เดือน (5 พฤษภาคม – 28 กรกฎาคม 2555) และทำการวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์สัตว์ อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

4.1 การทดลองที่ 1 : ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

ทั้งนี้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง (True metabolizable energy, TME) ของกากมันสำปะหลังในไก่ไข่ยังมีข้อมูลอยู่น้อย ดังนั้นจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการศึกษาพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงของกากมันสำปะหลังในไก่ไข่ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประกอบสูตรอาหารที่มีการใช้กากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ จากการศึกษาพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงของกากมันสำปะหลังในไก่ไข่ โดยนำมูลไปวัดค่าพลังงาน และทำการคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลังพบว่าเท่ากับ 2,763 kcal/kg และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงในไก่เนื้อมีค่าระหว่าง 2,363 – 2,484 TME kcal/kg (Khempaka et al., 2009; ปรีดา คำศรี และคณะ, 2552)

ผลการทดลองไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ (แสดงในตารางที่ 4.1) พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 – 20% มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ เถ้า และการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนไม่แตกต่างจากไก่ไข่ในกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) แต่การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% พบว่าค่าดังกล่าวลดลง โดยการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของสิ่งแห้งเท่ากับ 72.30 71.08 70.12 69.99 69.96 และ 65.33% ตามลำดับ การย่อยได้ของสารอินทรีย์เท่ากับ 75.45 74.53 73.84 74.37 74.76 และ 69.86% ตามลำดับ การย่อยได้ของเถ้ามีค่าเท่ากับ 51.02 50.05 49.95 49.67 47.59 และ 44.24% ตามลำดับ และการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 64.71 63.89 62.25 61.76 61.65 และ 49.18% ตามลำดับ

กากมันสำปะหลังสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึงระดับ 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ แต่การใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้นคือ 25% พบว่ามีค่าดังกล่าวลดลง ซึ่งการลดลงของการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ อาจเกิดจากกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง (14.38%) โดยอาหารที่มีกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% มีเยื่อใยในสูตรอาหารประมาณ 3.14 4.54 4.73 5.24 5.78 และ 6.31% ตามลำดับ ซึ่งเยื่อใยในสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 25% มีค่าสูงกว่าสูตรควบคุมถึง 2.01 เท่า โดยปริมาณเยื่อใยในสูตรอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยวนั้นไม่ควรเกิน 5% (Pond, Pond, Church and

Schoknecht, 2005) อีกทั้งระดับเยื่อใยในอาหารที่เพิ่มขึ้นทุก 1% จะมีผลลดประสิทธิภาพการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะประมาณ 3.5% (สาโรช, 2547) นอกจากนี้ Bowland (1972) ได้รายงานว่าการเลี้ยงสุกรด้วยอาหารที่มีเยื่อใยเกิน 5% จะส่งผลให้การย่อยได้ของโภชนะลดลง ทั้งนี้เยื่อใยในกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำมีอยู่ประมาณ 13.1% และเยื่อใยที่ละลายน้ำประมาณ 7% (Djuma'ali et al., 2011) เยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำดังกล่าวจะเป็นตัวดูดน้ำระหว่างที่อยู่ในทางเดินอาหารจึงเกิดการพองตัวเหมือนฟองน้ำ ทำให้อาหารไม่มีความหนืด อาหารจึงเคลื่อนที่ผ่านลำไส้ได้เร็วขึ้น ทำให้เอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ทำงานได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นปริมาณเยื่อใยที่สูงจึงส่งผลให้การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง (อุทัย คันโท, 2529; Jimenez – Moreno, Gonzalez – Alvarado, Gonzalez – Sanchez, Lazaro and Mateos, 2010) นอกจากนี้ปริมาณเยื่อใยที่สูงเกินไปอาจขัดขวางการย่อย การดูดซึมของโภชนะตัวอื่นด้วย (Rangilal, Dinorkar and Kaikani, 1995) สอดคล้องกับ Jorgensen, Zhao, Knudsen and Eggum (1996) ได้รายงานว่าหากเยื่อใยในอาหารเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้การย่อยได้และค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ลดลงตามปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเยื่อใยชนิดที่ละลายน้ำได้นั้นอาจมีผลลดการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะเช่นเดียวกัน แต่มีกลไกที่ต่างกัน

ตารางที่ 4.1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

		Dried cassava pulp (%)						
	Control	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**SEM$^{1/}$**	**Trend$^{2/}$**
Digestibility (%)								
Dry matter	72.30^{a}	71.08^{a}	70.12^{a}	69.99^{a}	69.96^{a}	65.33^{b}	0.30	NS$^{3/}$
Organic matter	75.45^{a}	74.53^{a}	73.84^{a}	74.37^{a}	74.76^{a}	69.86^{b}	0.31	NS
Ash	51.02^{a}	50.05^{a}	49.95^{a}	49.67^{a}	47.59^{ab}	44.24^{b}	0.59	NS
Retention (%)								
Nitrogen	64.71^{a}	63.89^{a}	62.25^{a}	61.76^{a}	61.65^{a}	49.18^{b}	0.41	NS

หมายเหตุ : $^{a-b}$ ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

[1/] SEM = Standard error of the mean

[2/] Refer to polynomial trend analysis

[3/] NS = Not significant

4.2 การทดลองที่ 2 : ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ และแอมโมเนีย

4.2.1 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต

1) ผลผลิตไข่ (Egg production) และน้ำหนักไข่ (Egg weight)

จากการทดลองใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.2) การให้ผลผลิตไข่เฉลี่ยในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีอัตราการให้ ผลผลิตไข่เฉลี่ยต่ำกว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 5 – 10% (P<0.05) โดยพบว่าการเพิ่มระดับของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารมีแนวโน้มทำให้อัตราการให้ผลผลิตไข่ลดลงเป็นเส้นโค้งแบบ Cubic โดยมีค่าเท่ากับ 97.17 98.21 97.47 96.28 96.06 และ 95.39% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการให้ผลผลิตไข่ในช่วง 4 – 8 8 – 12 และตลอดการทดลอง 0 – 12 สัปดาห์ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 97.69 97.77 97.55 97.61 97.62 และ 97.62% ตามลำดับ; 96.57 97.99 95.89 96.13 96.28 และ 95.23% ตามลำดับ และ 97.15 97.99 96.97 96.68 96.65 และ 95.98% ตามลำดับ จากการที่ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีอัตราการให้ผลผลิตไข่เฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 5 – 10% ในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ แรกของการทดลองนั้น อาจเนื่องมาจากไก่ไข่ยังไม่สามารถปรับตัวกับอาหารที่มีความฟ่าม และเยื่อใยสูงได้ โดยในช่วง 1 – 2 สัปดาห์แรกของการทดลองไก่ไข่ในกลุ่มดังกล่าวมีปริมาณการกินได้ที่ต่ำกว่าไก่ไข่กลุ่มอื่น ๆ ประมาณ 5 – 10% (ไม่ได้แสดงผล) จึงอาจเป็นสาเหตุให้ไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% ได้รับโภชนะไม่เพียงพอ และอาจส่งผลให้อัตราการให้ผลผลิตไข่เฉลี่ยในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ มีค่าต่ำกว่าไก่ไข่กลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 5 – 10%

น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองของไก่ไข่ที่ได้รับอาหารการทดลองที่มีกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 โดยน้ำหนักไข่ในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ และ 8 – 12 สัปดาห์ มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 63.08 63.79 63.59 63.78 62.17 และ 62.37 กรัมต่อฟอง ตามลำดับ และ 62.92 63.65 64.24 64.38 63.77 และ 61.78 กรัมต่อฟอง ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักไข่ในช่วง 4 – 8 สัปดาห์ และตลอดช่วงของการทดลอง (0 – 12 สัปดาห์) พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีน้ำหนักไข่ต่อฟองต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 65.13 65.99 65.59 64.26 64.53 และ 61.64 กรัมต่อฟอง ตามลำดับ และ 63.71 64.48 64.47 64.14 63.49 และ 61.93 กรัมต่อฟอง ตามลำดับ

2) ปริมาณอาหารที่กิน (Feed intake, FI)

ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวันในไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% ในทุกช่วงการทดลองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่ 4.2) โดยปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวต่อวันในช่วง 0 – 4 4 – 8 8 – 12 และตลอดการทดลอง (0 – 12 สัปดาห์) มีค่าเท่ากับ 111 113 115 114 114 และ 114 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ; 116 116 117 119 117 และ 117 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ; 117 118 115 116 115 และ 113 กรัมต่อตัวต่อวัน และ 116 115 114 115 115 และ 116 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารทุกระดับไม่ส่งผลกระทบต่อการกินได้ของไก่ไข่ สอดคล้องกับการทดลองของสุเมธ ไตรพฤกษชาติ และคณะ (2552) พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 15% (เป็นระดับที่สูงสุดในการทดลองนี้) ไม่ส่งผลกระทบต่อการกินได้ของไก่ไข่เช่นเดียวกัน จากกการทดลองเห็นได้ว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% ไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ของไก่ไข่ อาจแสดงให้เห็นว่าถึงแม้กากมันสำปะหลังจะเป็นวัตถุดิบที่มีความฟ่ามสูง เบา และเป็นฝุ่น แต่การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ของไก่ไข่ แต่สำหรับการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 12 – 16% ส่งผลให้การกินได้ลดลง (Khempaka et al., 2009) ทั้งนี้เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง จึงส่งผลให้กากมันสำปะหลังที่ตากแห้งจะมีลักษณะฟ่าม เบา เป็นฝุ่น มีความหนาแน่นต่ำและไม่น่ากิน นอกจากนี้กากมันสำปะหลังยังมีการอัดตัวของวัตถุดิบต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดบด จึงทำให้อาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบมีความหนาแน่นต่ำลง ส่งผลให้การกินได้ของไก่เนื้อลดลง ประกอบกับไก่เนื้อมีข้อจำกัดในด้านความจุกระเพาะ ดังนั้นหากต้องการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อควรทำการอัดเม็ดอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ (ปรีดา คำศรี และคณะ, 2552)

3) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (Feed conversion ratio, FCR)

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของไก่ไข่ทดลองที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% ในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ แรกของการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.37 2.34 2.38 2.42 2.46 และ 2.47 ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบ Quadratic สำหรับประสิทธิภาพการใช้อาหารในช่วง 4 – 8 และ 8 – 12 สัปดาห์ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 2.39 2.36 2.37 2.42 2.42 และ 2.42 ตามลำดับ และ 2.39 2.32 2.35 2.37 2.39 และ 2.41 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารตลอดการทดลอง (0 – 12 สัปดาห์) มีค่าเท่ากับ 2.39 2.34 2.36 2.41 2.42 และ 2.44 ตามลำดับ โดยไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ 25% มีประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม แต่มีค่าต่ำกว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ 5 และ 10% โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นโค้งแบบ Cubic (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาตลอดการทดลองพบว่าไก่ไข่กลุ่มที่

ได้รับกากมันสำปะหลังที่ 25% มีประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม แต่มีค่าต่ำกว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ 5 และ 10% ซึ่งประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ลดลงในไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 25% ให้ผลสอดคล้องกับการย่อยได้ของโภชนะและน้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองที่ลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากการที่กากมันสำปะหลังมีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบที่สูง นอกจากน้ำย่อยในร่างกายของสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยได้แล้ว ตัวเยื่อใยยังมีผลในการขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์ในระบบทางเดินอาหารเพื่อย่อยโภชนะตัวอื่นด้วย ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง

4) มวลไข่ (Egg mass)

มวลไข่ของไก่ไข่ทดลองที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% พบว่าในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ และในช่วง 8 – 12 สัปดาห์ ของการทดลอง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 54.90 55.47 55.42 55.60 53.87 และ 54.31 กรัม ตามลำดับ และ 54.75 55.23 56.03 55.99 55.38 และ 53.71 กรัม ตามลำดับ สำหรับในช่วง 4 – 8 สัปดาห์ และเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมตลอดการทดลอง (0 – 12 สัปดาห์) พบว่ามวลไข่ของ ไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยมวลไข่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.75 57.70 57.28 56.15 56.18 และ 53.86 กรัม ตามลำดับ และ 55.47 56.14 56.24 55.92 55.14 และ 53.96 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากมวลไข่ได้จากการคำนวณน้ำหนักไข่และน้ำหนักเปลือกไข่ ดังนั้นเมื่อน้ำหนักไข่ลดลงจึงทำให้มวลไข่ลดลง จึงให้ผลในทิศทางเดียวเดียวกันกับน้ำหนักไข่และน้ำหนักไข่แดง (ตารางที่ 4.3)

นอกจากนี้การให้ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ยังมีความเกี่ยวข้องกับการกินได้ของพลังงาน และโปรตีนในอาหาร โดยในสูตรอาหารทดลองมีการปรับพลังงานและโปรตีนให้ตรงตามความต้องการของไก่ไข่ แต่สิ่งที่สำคัญของความสำคัญโปรตีนคือความต้องการกรดอะมิโน ดังนั้นอาหารแต่ละสูตรจึงได้มีการปรับสมดุลกรดอะมิโนที่จำเป็นทุกตัวให้เพียงพอต่อความต้องการของไก่ไข่ อาทิเช่น เมทไทโอนีน ไลซีน อาร์จินีน และทรีโอนีน ให้เพียงพอต่อความต้องการของไก่ไข่ (0.39 0.74 0.93 และ 0.51%) (NRC, 1994) และอาหารแต่ละสูตรได้มีการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนสังเคราะห์ แต่เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนทรีโอนีนในสูตรอาหารที่มีการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% นั้นมีปริมาณกรดอะมิโนทรีโอนีนเพียง 0.47% เท่านั้น ทั้งนี้น้ำหนักไข่ มวลไข่ และน้ำหนักตัวของไก่ไข่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีน กรดอะมิโนและกรดไขมันลิโนเลอิค (linoleic acid) ดังรายงานของ Faria, Harms and Russel (2002) กล่าวว่าการเพิ่มระดับทรีโอนีนจาก 0.35% เป็น 0.58% ส่งผลให้น้ำหนักไข่และมวลไข่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้เมื่อปริมาณกรดอะมิโนทรีโอนีนไม่เพียงพอต่อความต้องการของไก่ไข่ จึงอาจเป็นสาเหตุให้ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีน้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองต่ำกว่าในกลุ่มควบคุม นอกจากนี้เมื่อคำนวณ

สัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นต่อกรดอะมิโนไม่จำเป็น (EAA : NEAA) ในสูตรอาหารทดลองควรมีความสมดุลกัน (Leeson and Summers, 1997) โดย Bedford and Summers (1985) กล่าวว่าอัตราส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นต่อกรดอะมิโนไม่จำเป็น EAA : NEAA ในอาหารควรอยู่ที่ประมาณ 55 : 45 หรือ 1.2 : 1 แต่จากการทดลองพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่มีผลทำให้สัดส่วนของกรดอะมิโนไม่จำเป็นสูงกว่ากรดอะมิโนจำเป็น ดังนั้นเมื่อใช้กากมันสำปะหลังสูงถึง 25% ในสูตรอาหารอาจส่งผลให้กรดอะมิโนบางตัวเกินและกรดอะมิโนบางตัวไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งกรดอะมิโนในสูตรอาหารจะมีความสัมพันธ์ระหว่างกันและกัน และอาจจะมีความสัมพันธ์กับโภชนะตัวอื่น ๆ ด้วย (Leeson and Summers, 1997) ดังนั้นจึงอาจส่งผลกระทบต่อน้ำหนักไข่และมวลไข่ได้

5) เปอร์เซ็นต์การแตกร้าว (Cracking) และอัตราการตาย (Mortality rate)

เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของไก่ไข่ทดลองที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% ทุกกลุ่มการทดลองไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) โดยมีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวตลอดการทดลองเท่ากับ 0.46 0.63 1.02 1.07 0.59 และ 0.39% ตามลำดับ ดังนั้นอาจแสดงให้เห็นว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่สูงถึง 25% ในสูตรอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลต่อการดูดซึมแคลเซียมในร่างกายของไก่ไข่ และไก่ไข่มีการใช้ประโยชน์จากโภชนะและได้รับแคลเซียมอย่างเพียงพอเพื่อไปสร้างองค์ประกอบไข่และเปลือกไข่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในส่วนอัตราการตายไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่ 4.2) อาจแสดงให้เห็นว่าไก่ไข่ทดลองมีสุขภาพดีและไม่มีอาการผิดปกติใด ๆ ที่เกิดจากความเป็นพิษของอาหารทดลอง โดยส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากกากมันสำปะหลังนั้นเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของเชื้อราและมีปริมาณไซยาไนด์อยู่ในปริมาณต่ำ จึงทำให้ไก่ไข่ทดลองที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบนั้นไม่พบปัญหาแทรกซ้อนด้านสุขภาพอันเป็นผลมาจากการปนเปื้อนของเชื้อราและปริมาณไซยาไนด์

จากผลการทดลองพบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึง 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตไข่เฉลี่ย น้ำหนักไข่เฉลี่ย มวลไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตราการเลี้ยงรอด ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 1 ที่พบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึงระดับ 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ แต่การใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้นคือ 25% พบว่าการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะมีค่าดังกล่าวลดลง และในการทดลองที่ 2 พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีผลกระทบต่อน้ำหนักไข่และมวลไข่ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากการที่กากมันสำปะหลังมีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบที่สูง นอกจากน้ำย่อยในร่างกายของสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยได้แล้ว ตัวเยื่อใยยังมีผลในการขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์ในระบบทางเดินอาหารเพื่อย่อยโภชนะตัวอื่นด้วย ทำให้การใช้

ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง และอาจเกี่ยวข้องกับสัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นกับกรดอะมิโนไม่จำเป็นที่อาจไม่สมดุลกัน นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับการทดลองของสุเมธ ไตรพฤกษชาติ และคณะ (2552) พบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการให้ผลผลิตไข่ และวิรชัย พลโรม, อุษา กลิ่นหอม และชูศรี ตลับมุข (2536) รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังจากการผลิตแอลกอฮอล์เพื่อทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่ไข่ พบว่าสามารถใช้ได้ถึง 30% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตไข่ นอกจากนี้ธันวา ไวยบท (2547) รายงานว่าการใช้มันสำปะหลังที่ระดับ 50% ในสูตรอาหารไก่ไข่ไม่มีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตไข่ และน้ำหนักไข่ แต่เมื่อใช้มันสำปะหลังในระดับ 50% (เป็นระดับที่สูงสุดในการทดลองนี้) พบว่ามีผลทำให้สีของไข่แดงลดลง

ในการทดลองครั้งนี้ไก่ไข่ทุกกลุ่มได้รับอาหารที่มีการคำนวณให้มีระดับพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่เท่ากัน อีกทั้งไก่ไข่ทดลองทุกกลุ่มนั้นมีปริมาณการกินได้ที่ไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.2) จึงทำให้ไก่ไข่ทุกกลุ่มการทดลองได้รับพลังงานที่ใกล้เคียงกัน และอาจส่งผลให้ผลผลิตไข่เฉลี่ยตลอดการทดลองไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้พลังงานเป็นโภชนะที่สำคัญในการดำรงชีวิตและเป็นโภชนะที่มีความเกี่ยวข้องกับอัตราการให้ผลผลิตไข่เป็นอันดับแรก (first limiting nutrition) โดยการให้ผลผลิตไข่จะเพิ่มขึ้นหากแม่ไก่รับพลังงานที่เพียงพอในแต่ละวันจากอาหาร (Leeson and Summers, 1997) อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานปานกลางและมีโปรตีนต่ำ อีกทั้งมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นเป็นองค์ประกอบอยู่ต่ำ ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงในสูตรอาหาร จำเป็นต้องมีการเพิ่มระดับไขมันในสูตรอาหารและต้องพิจารณาเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ เช่น เมทไธโอนีน และไลซีน นอกจากนี้ควรเลือกใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับวัตถุดิบที่หลากหลายชนิดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารเพื่อปรับสมดุลของกรดอะมิโน และควรพิจารณาเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดอื่น ๆ ที่มีกรดอะมิโนทรีโอนีนสูง ๆ ทดแทน เช่น เปลือกกุ้ง กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วเหลือง และกากเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น เพื่อปรับสมดุลของกรดอะมิโนให้เพียงพอต่อความต้องการของไก่ไข่

อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยอยู่สูง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของคุณภาพของกากมันสำปะหลัง ได้แก่ ระดับเยื่อใย และระดับโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของกากมันสำปะหลัง และควรคำนึงถึงระดับเยื่อใยในสูตรอาหาร เนื่องจากอาจมีผลต่อการใช้ย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้โภชนะของไก่ไข่

ตารางที่ 4.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต

		Dried cassava pulp (%)						
	Control	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**SEM$^{1/}$**	**Trend$^{2/}$**
Egg production (%)								
week 0 – 4	97.17^{ab}	98.21^{a}	97.47^{ab}	96.28^{abc}	96.06^{bc}	95.39^{c}	0.25	C=0.039
week 4 – 8	97.69	97.77	97.55	97.61	97.62	97.62	0.23	NS$^{3/}$
week 8 – 12	96.57	97.99	95.89	96.13	96.28	95.23	0.34	NS
week 0 – 12	97.15	97.99	96.97	96.68	96.65	95.98	0.23	NS
Egg weight (g/egg)								
week 0 – 4	63.08	63.79	63.59	63.78	62.17	62.37	0.22	NS
week 4 – 8	65.13^{a}	65.99^{a}	65.59^{a}	64.26^{a}	64.53^{a}	61.64^{b}	0.31	NS
week 8 – 12	62.92	63.65	64.24	64.38	63.77	61.78	0.33	NS
week 0 – 12	63.71^{a}	64.48^{a}	64.47^{a}	64.14^{a}	63.49^{a}	61.93^{b}	0.17	NS
Feed intake (g/hen/day)								
week 0 – 4	111	113	115	114	114	114	0.51	NS
week 4 – 8	116	116	117	119	117	117	0.48	NS
week 8 – 12	117	118	115	116	115	113	0.63	NS
week 0 – 12	116	115	114	115	115	116	0.42	NS
Feed conversion ratio (g feed/g egg weight)								
week 0 – 4	2.37^{ab}	2.34^{b}	2.38^{ab}	2.42^{ab}	2.46^{ab}	2.47^{a}	0.02	Q=0.013
week 4 – 8	2.39	2.36	2.37	2.42	2.42	2.42	0.01	NS
week 8 – 12	2.39	2.32	2.35	2.37	2.39	2.41	0.01	NS
week 0 – 12	2.39^{ab}	2.34^{b}	2.36^{b}	2.41^{ab}	2.42^{ab}	2.44^{a}	0.05	C=0.004
Egg mass (g)								
week 0 – 4	54.90	55.47	55.42	55.60	53.87	54.31	0.20	NS
week 4 – 8	56.75^{a}	57.70^{a}	57.28^{a}	56.15^{a}	56.18^{a}	53.86^{b}	0.29	NS
week 8 – 12	54.75	55.23	56.03	55.99	55.38	53.71	0.33	NS
week 0 – 12	55.47^{a}	56.14^{a}	56.24^{a}	55.92^{a}	55.14^{ab}	53.96^{b}	0.18	NS

ตารางที่ 4.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการผลิต (ต่อ)

		Dried cassava pulp (%)						
	Control	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**SEM**[1/]	**Trend**[2/]
Cracking (%)								
week 0 – 4	0.46	0.60	1.60	0.62	0.70	0.23	0.11	NS[3/]
week 4 – 8	0.38	0.69	0.76	1.52	0.76	0.54	0.09	NS
week 8 – 12	0.54	0.38	0.70	1.08	0.31	0.47	0.12	NS
week 0 – 12	0.46	0.63	1.02	1.07	0.59	0.39	0.07	NS
Mortality rate (%)								
week 0 – 4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	–	–
week 4 – 8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	–	–
week 8 – 12	2.08	0.00	2.08	0.00	0.00	2.08	0.60	NS
week 0 – 12	2.08	0.00	2.08	0.00	0.00	2.08	0.60	NS

หมายเหตุ : $^{a-c}$ ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

[1/] SEM = Standard error of the mean

[2/] Refer to polynomial trend analysis

[3/] NS = Not significant

[4/] C = Cubic

[5/] Q = Quadratic

4.2.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อคุณภาพไข่

1) ความหนาเปลือกไข่ (Egg shell thickness) และน้ำหนักเปลือกไข่ (Egg shell weight)

จากการทดลองพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% มีค่าความหนาเปลือกไข่ไม่แตกต่างทางสถิติในทุกช่วงของการทดลอง (ตารางที่ 4.3) โดยค่าเฉลี่ย 0 – 4 4 – 8 8 – 12 และตลอดการทดลอง (0 – 12 สัปดาห์) มีค่าเท่ากับ 0.356 0.338 0.341 0.336 0.355 และ 0.377 มิลลิเมตร ตามลำดับ; 0.388 0.379 0.374 0.389 0.377 และ 0.382 มิลลิเมตร ตามลำดับ; 0.375 0.389 0.379 0.368 0.379 และ 0.376 มิลลิเมตร ตามลำดับ และ 0.373 0.369 0.365 0.364 0.370 และ 0.378 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักเปลือกไข่เมื่อใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกช่วงการทดลองเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.3) โดยค่าเฉลี่ยในช่วง 0 – 4 4 – 8 8 – 12 และตลอดการทดลอง (0 – 12 สัปดาห์) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.18 8.32

8.17 8.18 8.30 และ 8.06 กรัม ตามลำดับ; 8.39 8.29 8.31 8.11 8.35 และ 7.78 กรัม ตามลำดับ; 8.37 8.42 8.21 8.39 8.39 และ 8.08 กรัม ตามลำดับ และ 8.31 8.35 8.23 8.23 8.35 และ 7.97 กรัม ตามลำดับ

2) น้ำหนักไข่แดง (Yolk weight)

จากการทดลองพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% มีน้ำหนักไข่แดงเฉลี่ยในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ และ 8 – 12 สัปดาห์ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 16.36 16.37 16.95 16.47 16.09 และ 16.02 กรัมต่อฟอง ตามลำดับ และ 16.82 17.32 16.88 17.88 16.94 และ 15.88 กรัมต่อฟอง ตามลำดับ ในช่วง 4 – 8 สัปดาห์ และตลอดการทดลอง (0 – 12 สัปดาห์) พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีน้ำหนักไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 4.3) โดยมีค่าเท่ากับ 17.49 17.47 17.51 17.37 17.33 และ16.23 กรัมต่อฟอง ตามลำดับ และ 16.89 17.05 17.11 17.24 16.79 และ 16.04 กรัมต่อฟอง ตามลำดับ

จากการทดลองครั้งนี้พบว่าน้ำหนักไข่แดงเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่าลดลงเมื่อใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% ในสูตรอาหาร โดยมีผลในทิศทางเดียวกับน้ำหนักไข่ (ตารางที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักไข่ทั้งฟองที่ลดลงนั้นมีความสัมพันธ์กับขนาดของน้ำหนักไข่แดง North and Bell (1990) พบว่าขนาดไข่ทั้งฟองจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของไข่แดง เมื่อน้ำหนักไข่แดงมีขนาดเล็กลง จะส่งผลให้น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองมีขนาดเล็กลงเช่นเดียวกัน สอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ที่พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีน้ำหนักไข่ และน้ำหนักไข่แดงเฉลี่ยต่อฟองต่ำกว่ากลุ่มควบคุม แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักไข่ขาวทั้งนี้น้ำหนักไข่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีน กรดอะมิโนและกรดไขมันลิโนเลอิคในอาหาร หากอาหารมีระดับโปรตีน กรดอะมิโนและกรดไขมันที่ไม่เพียงพอกับความต้องการของแม่ไก่ จะส่งผลให้น้ำหนักไข่ลดลง (Leeson and Summers, 1997) ในส่วนของการให้ผลผลิตไข่นั้นพบว่ามีความสัมพันธ์กับระดับพลังงานในอาหาร Harms, McGhee and Goff (1957) รายงานว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานต่ำจะมีอัตราการให้ผลผลิตต่ำกว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานสูง และในการทดลองครั้งนี้ไก่ไข่ทุกกลุ่มทดลองได้รับอาหารที่มีการคำนวณให้มีระดับพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่เท่ากัน (2,851 ME, kcal/kg) แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็น พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีปริมาณของกรดอะมิโนทรีโอนีนที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นจึงอาจส่งผลให้น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองและน้ำหนักไข่แดงลดลง

3) สีของไข่แดง (Yolk color)

จากการทดลองพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% มีสีของไข่แดงเมื่อเทียบกับพัดสีโรช (Roche color fan) ในช่วง 0 – 4 4 – 8 8 – 12 และตลอดการทดลอง (0 – 12 สัปดาห์) ลดลงตามระดับกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น (P<0.01) (ตารางที่ 4.3) โดยมีค่าเท่ากับ 6.23 5.81 5.63 5.31 4.31 และ 3.56 ตามลำดับ; 5.38 5.00 4.50 4.25 3.50 และ3.31 ตามลำดับ; 5.35 4.44 4.38 4.13 3.75 และ 2.56 ตามลำดับ และ 5.78 5.33 5.00 4.77 3.83 และ 3.42 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์สีองไข่แดงโดยเทียบกับพัดสีโรช พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังตลอดช่วงการทดลองมีคะแนนสีไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม สอดคล้องกับการทดลองของวิรชัย พลโรม และคณะ (2536) พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังจากการผลิตแอลกอฮอล์เพื่อทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่ไข่พันธุ์อิซ่า บราวน์ มีสีของไข่แดงลดลงตามระดับกากมันสำปะหลังจากการผลิตแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น (P<0.05) อีกทั้งสุเมธ ไตรพฤกษชาติ และคณะ (2552) ได้รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ตั้งแต่ 0 – 15% มีผลทำให้คะแนนสีไข่แดงลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมสารสีในไข่แดงนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณสารแซนโทฟิลล์ในอาหาร โดยสัตว์ปีกไม่มีความสามารถในการสังเคราะห์สารแซนโทฟิลล์ขึ้นได้เอง ดังนั้นกลไกในการเกิดสีในไข่แดงจึงเกิดจากการสะสมสารออกซีแคโรทีนอยด์ หรือสารแซนโทฟิลล์ในอาหาร (Fox and Vevers, 1960) ด้วยเหตุนี้อาหารในกลุ่มควบคุมที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานหลักจึงมีระดับสีไข่แดงสูงกว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังทุกกลุ่มการทดลอง เนื่องจากข้าวโพดเป็นแหล่งของสารสีที่ดีแต่กากมันสำปะหลังไม่มีสารสี และในการทดลองนี้ไม่ได้มีการปรับระดับของสารแซนโทฟิลล์ในอาหารให้เท่ากัน ดังนั้นเมื่อมีการใช้กากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารและมีการใช้ข้าวโพดลดลงจึงเป็นสาเหตุให้กลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารมีระดับสีไข่แดงลดลง

การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ควรพิจารณาการเพิ่มสารสีในสูตรอาหาร เนื่องจากสีของไข่แดงมีอิทธิพลต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภค ดังนั้นควรพิจารณาเสริมสารสี (carotenoid และ xanthophyll) ที่ระดับ 50 – 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร (สาโรช ค้าเจริญ, 2547) หรือการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับวัตถุดิบแหล่งของสารเพิ่มสีจากธรรมชาติ เช่น ดอกดาวเรือง ใบกระถิน ใบมันสำปะหลัง และแกลบกุ้ง เป็นต้น จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ (นิลุบล บุตรโพธิ์ศรี, 2543)

4) ความสูงของไข่ขาว (Albumen height) น้ำหนักไข่ขาว (Albumen weight) และคุณภาพไข่ขาว (Haugh unit)

ความสูงของไข่ขาวในไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% ในช่วง 0 – 4 4 – 8 8 – 12 และเมื่อพิจารณาตลอดการทดลอง 0 – 12 สัปดาห์ มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05) (ตารางที่ 4.3) โดยในช่วง 0 – 4 4 – 8 8 – 12 และเมื่อพิจารณา

ตลอดการทดลอง 0 – 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 8.49 8.15 8.10 8.16 8.12 และ 8.10 มิลลิเมตร ตามลำดับ; 7.27 7.28 7.51 7.29 7.05 และ 7.69 มิลลิเมตร ตามลำดับ; 7.54 7.78 7.42 7.05 7.62 และ 7.24 มิลลิเมตร ตามลำดับ และ 7.77 7.74 7.68 7.50 7.60 และ 7.68 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยน้ำหนักไข่ขาวของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% พบว่าทุกกลุ่มไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ในทุกช่วงการทดลอง (ตารางที่ 4.3) และเมื่อนำความสูงไข่ขาวมาคำนวณหาคุณภาพไข่ขาว (haugh unit) พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพไข่ขาว (P>0.05) (ตารางที่ 4.3) โดยค่าเฉลี่ยช่วง 0 – 4 4 – 8 8 – 12 สัปดาห์ และเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมตลอดการทดลอง (0 – 12 สัปดาห์) มีค่าเท่ากับ 90.00 88.50 89.50 89.50 88.00 และ 88.00% ตามลำดับ; 87.00 85.50 85.50 85.50 84.50 และ 86.00% ตามลำดับ; 82.50 83.00 83.00 79.50 82.50 และ 83.00% ตามลำดับ และ 86.50 85.67 86.00 84.83 85.00 และ 85.67% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้กากมันสำปะหลังทุกระดับไม่ส่งผลกระทบต่อความสูงขาว น้ำหนักไข่ขาว และคุณภาพไข่ขาว

ตารางที่ 4.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อคุณภาพไข่

		Dried cassava pulp (%)						
	Control	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**SEM$^{1/}$**	**Trend$^{2/}$**
Egg shell thickness (mm)								
week 0 – 4	0.356	0.338	0.341	0.336	0.355	0.377	0.04	NS$^{3/}$
week 4 – 8	0.388	0.379	0.374	0.389	0.377	0.382	0.03	NS
week 8 – 12	0.375	0.389	0.379	0.368	0.379	0.376	0.04	NS
week 0 – 12	0.373	0.369	0.365	0.364	0.370	0.378	0.02	NS
Egg shell weight (g)								
week 0 – 4	8.18	8.32	8.17	8.18	8.30	8.06	0.07	NS
week 4 – 8	8.39	8.29	8.31	8.11	8.35	7.78	0.06	NS
week 8 – 12	8.37	8.42	8.21	8.39	8.39	8.08	0.06	NS
week 0 – 12	8.31	8.35	8.23	8.23	8.35	7.97	0.04	NS
Yolk weight (g)								
week 0 – 4	16.36	16.37	16.95	16.47	16.09	16.02	0.11	NS
week 4 – 8	17.49^{a}	17.47^{a}	17.51^{a}	17.37^{a}	17.33^{a}	16.23^{b}	0.12	NS
week 8 – 12	16.82	17.32	16.88	17.88	16.94	15.88	0.22	NS
week 0 – 12	16.89^{a}	17.05^{a}	17.11^{a}	17.24^{a}	16.79^{ab}	16.04^{b}	0.10	NS

ตารางที่ 4.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อคุณภาพไข่ (ต่อ)

		Dried cassava pulp (%)						
	Control	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**SEM$^{1/}$**	**Trend$^{2/}$**
Yolk color (score)$^{4/}$								
week 0 – 4	6.23^{A}	5.8^{B}	5.63^{B}	5.31^{B}	4.31^{C}	3.56^{D}	0.08	NS$^{3/}$
week 4 – 8	5.38^{A}	5.00^{AB}	4.50^{BC}	4.25^{C}	3.50^{D}	3.31^{D}	0.07	NS
week 8 – 12	5.35^{A}	4.44^{B}	4.38^{B}	4.13^{B}	3.75^{B}	2.56^{C}	0.11	NS
week 0 – 12	5.78^{A}	5.33^{B}	5.00^{BC}	4.77^{C}	3.83^{D}	3.42^{E}	0.06	NS
Albumen height (mm)								
week 0 – 4	8.49	8.15	8.10	8.16	8.12	8.10	0.07	NS
week 4 – 8	7.27	7.28	7.51	7.29	7.05	7.69	0.06	NS
week 8 – 12	7.54	7.78	7.42	7.05	7.62	7.24	0.09	NS
week 0 – 12	7.77	7.74	7.68	7.50	7.60	7.68	0.05	NS
Albumen weight (g)								
week 0 – 4	37.40	38.88	38.27	38.41	37.25	37.04	0.19	NS
week 4 – 8	38.06	38.88	38.66	38.45	38.04	36.74	0.27	NS
week 8 – 12	36.95	38.43	37.38	36.97	37.44	36.54	0.33	NS
week 0 – 12	37.47	38.73	38.10	37.94	37.58	36.77	0.18	NS
Haugh unit (%)								
week 0 – 4	90.00	88.50	89.50	89.50	88.00	88.00	0.32	NS
week 4 – 8	87.00	85.50	85.50	85.50	84.50	86.00	0.85	NS
week 8 – 12	82.50	83.00	83.00	79.50	82.50	83.00	1.23	NS
week 0 – 12	86.50	85.67	86.00	84.83	85.00	85.67	0.82	NS

หมายเหตุ : $^{A-E}$ ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

$^{a-b}$ ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

$^{1/}$ SEM = Standard error of the mean

$^{2/}$ Refer to polynomial trend analysis

$^{3/}$ NS = Not significant

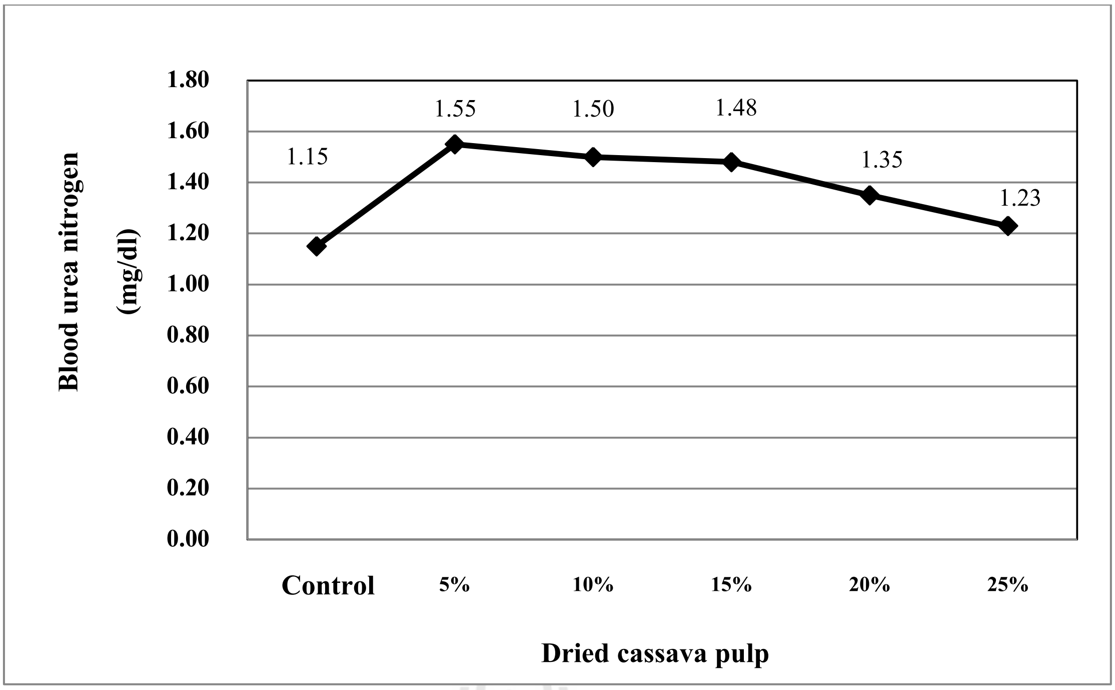
$^{4/}$ สีไข่แดง โดยเทียบกับพัดสีโรช (Roche color fan)

4.2.2 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือด

จากการทดลองใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดมีค่าเท่ากับ 1.15 1.55 1.50 1.48 1.35 และ 1.23 mg/dl ตามลำดับ โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทุกกลุ่มการทดลอง ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.1 ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen, BUN) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหารว่าตรงตามความต้องการของสัตว์มากน้อยเพียงใด ดังนั้นหากในอาหารมีปริมาณกรดอะมิโนหรือปริมาณไนโตรเจนที่ไม่สมดุล ร่างกายจะขับออกในรูปของกรดยูริคส่งผลให้ปริมาณกรดยูริคในเลือดเพิ่มขึ้น (Kumta and Harper, 1961; Ranjihan, 1980)

โดยปกติร่างกายของสัตว์ปีกและสัตว์เลื้อยคลานจะมีกระบวนการกำจัดไนโตรเจนส่วนเกินออกมาในรูปของกรดยูริค เนื่องจากกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่ต้องการนั้นจะถูกกำจัดกลุ่มอะมิโนออกโดยอาศัยปฏิกิริยาดีอะมิเนชั่น (deamination) และปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาจากนั้น แอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียที่ตับและส่งต่อมายังกระแสเลือดเพื่อขับออกนอกร่างกาย สำหรับในร่างกายของสัตว์ปีกและสัตว์เลื้อยคลานต้องทำการเปลี่ยนยูเรียให้อยู่ในรูปของกรดยูริคก่อนการกำจัดออกนอกร่างกายเพื่อลดความเป็นพิษต่อร่างกาย ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงได้ทำการวัดปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือด เพื่อวิเคราะห์เบื้องต้นถึงความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหารว่าตรงตามความต้องการของสัตว์มากน้อยเพียงใด จากการทดลองพบว่าไก่ไข่ทดลองทุกกลุ่มมีการตอบสนองของค่ายูเรียไนโตรเจนในเลือดไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสูตรอาหารทดลองแต่ละสูตรมีอัตราส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่ออัตราส่วนกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นเพิ่มขึ้นเมื่อการใช้กากมันสำปะหลังเพิ่มสูงขึ้น ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.1 นอกจากนี้เมื่อพิจารณากรดอะมิโนจำเป็นชนิดอื่น ๆ เช่น กรดอะมิโนอาร์จีนีน ลูซีน และฮิสติดิน พบว่าไก่ไข่ทดลองทุกกลุ่มมีปริมาณกรดอะมิโนดังกล่าวเกินความต้องการทั้งหมด (0.93 0.82 และ 0.17%) (NRC, 1994) ดังนั้นจึงส่งผลให้ปริมาณปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดมีค่าไม่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดของไก่ไข่ที่ได้รับอาหารทางการค้าพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 1.9 mg/dl ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดของไก่ไข่ทดลอง อาจแสดงให้เห็นว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ มีความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหารใกล้เคียงกับไก่ไข่ที่ได้รับอาหารทางการค้า จึงทำให้มีการขับออกของปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดใกล้เคียงกัน โดยมีรายงานเกี่ยวกับค่าปกติในสัตว์ปีกของปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือด คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 15 mg/dl อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของค่าชีวเคมีในเลือดของสัตว์นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ เพศ และอายุ (Coles, 2007)



ภาพที่ 4.1 ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen, BUN) ตามระดับการใช้กากมันสำปะหลังที่ 0 5 10 15 20 และ 25% ในอาหาร

4.2.3 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและในไข่แดง

ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ามีค่าเท่ากับ 93.00 66.00 62.50 82.25 90.25 และ 61.50 mg% ตามลำดับ โดยไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังทุกระดับมีปริมาณคอเลสเตอรอลไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีการรายงานเกี่ยวกับปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดของไก่ไข่มีค่าผันแปรระหว่าง 52 ถึง 270 mg% (Wegner, Kelley, Nelson, Alaupovic and Thayer, 1978) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดนั้นขึ้นอยู่กับพันธุกรรม อาหาร และการได้รับยาต่าง ๆ (Hargis, 1998) จากการทดลองคาดหวังว่าเยื่อใยในกากมันสำปะหลังอาจมีบทบาทในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้ ซึ่งเยื่อใยในอาหารทดลองแต่ละสูตรมีปริมาณสูงขึ้นตามระดับของกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น โดยอาหารที่มีกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% มีเยื่อใยในสูตรอาหารประมาณ 3.14 4.54 4.73 5.24 5.78 และ 6.31% ตามลำดับ ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดให้ผลสอดคล้องกับปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงที่ไม่แตกต่างกันในช่วงสุดท้ายของการทดลองเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.4)

สำหรับปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 151.14 144.31 138.87 134.02 128.29 และ 126.25 มิลลิกรัมต่อฟอง ตามลำดับ โดยไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ 20 และ 25% มีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในช่วง 4 – 8 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 140.94 131.06 128.33 126.30 123.39 และ 123.33 มิลลิกรัมต่อฟอง โดยไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 – 25% มีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และในช่วง 8 – 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 146.40 139.88 140.66 139.31 136.48 และ 137.47 มิลลิกรัมต่อฟอง โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทุกกลุ่มการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 การใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ ในช่วง 0 – 4 สัปดาห์ และ 4 – 8 สัปดาห์ มีปริมาณคอเลสเตอรอลต่อฟองลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Khempaka et al. (2009) ที่รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 8 – 16% มีผลลดไขมันในช่องท้องของไก่เนื้อ และการทดลองของ Lirette, Robinson, Crober, Lawson and Firth (1993) ทดลองใช้วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง เช่น ข้าวโอ๊ต 30% และเปลือกเมล็ดฝ้าย 3% ในอาหารไก่ไข่ที่อายุ 19 – 25 สัปดาห์ พบว่าสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ 25 และ 15% และลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ได้ 6.7 และ 6.0% ตามลำดับ และการใช้วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง เช่น หญ้าอัลฟัลฟา รำผสม และกากข้าวโอ๊ตในอาหารของไก่ไข่ พบว่าสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ 57 32 และ 24% และลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ได้ 2.8 9.4 และ 6.5% ตามลำดับ (James, 1978)

โดยกลไกการลดระดับคอเลสเตอรอลนั้นยังไม่เป็นที่ทราบอย่างแน่ชัด ทั้งนี้คาดว่าอาจเกิดจากเยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลังซึ่งส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำ เยื่อใยดังกล่าวมีคุณสมบัติช่วยลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลในลำไส้เล็ก ทำให้สารตั้งต้นในการผลิตคอเลสเตอรอลลดลง อีกทั้งขัดขวางการดูดซึมกลับของน้ำดี ทำให้น้ำดีซึ่งมีคอเลสเตอรอลเป็นส่วนประกอบอยู่ถูกขับถ่ายออกพร้อมกับใยอาหาร ดังนั้นเมื่อร่างกายย่อยไขมันครั้งต่อไปจึงต้องดึงคอเลสเตอรอลออกมาเพื่อเผาผลาญให้เป็นกรดน้ำดีขึ้นมาใหม่เสมอ จึงส่งผลให้ปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง (Weiss and Scott, 1978; Eastwood and Boyd, 1976) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงคอเลสเตอรอลในไข่แดงนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านพันธุกรรม สรีระ และชีวเคมีของร่างกาย เช่น การสังเคราะห์ การขนส่ง ความสามารถในการดูดซึมกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งไก่ไข่จะตอบสนองต่อการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลขึ้นมาใหม่วันละ 300 มิลลิกรัม ที่บริเวณตับและรังไข่ (Valenzuela, Sanhueza and Nieto, 2003; Kim, Hong, Lee and Kim, 2004)

ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังในอาหารที่ระดับ 5 – 25% ในช่วง 0 – 4 และ 4 – 8 สัปดาห์ ของการทดลอง มีค่าลดลงแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ

ปริมาณคอเลสเตอรอลในช่วงสุดท้ายของการทดลอง (ไก่ไข่อายุ 38 – 41 สัปดาห์) ทั้งนี้เนื่องจากคอเลสเตอรอลจัดว่าเป็นสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการพัฒนาของตัวอ่อน และเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการสร้างฮอร์โมนสเตียรอยด์ (steroid hormone) ได้แก่ ฮอร์โมนเพศ ฮอร์โมนในกลุ่มแอลโดสเตอโรน (aldosterone) ฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocor ticoids) เป็นต้น โดยฮอร์โมนในกลุ่มสเตียรอยด์นั้นมีบทบาทสำคัญต่อการให้ผลผลิตไข่ คือ ฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมการตกไข่และการสร้างไข่ขาวและฮอร์โมนเอสโตรเจน ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่มีผลต่อการสร้างโปรตีนในไข่แดง ควบคุมการเคลื่อนย้ายไข่ไปในท่อนำไข่ การวางไข่ รวมทั้งการสร้างเปลือกไข่ หากในไข่แดงไม่มีคอเลสเตอรอลอยู่ อาจทำให้ตัวอ่อนไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นการลดระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงนั้นจะสามารถทำได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากถูกจำกัดโดยการควบคุมของสรีระวิทยาที่พยายามจะรักษาสภาพการให้ผลผลิตไข่และการพัฒนาของตัวอ่อนที่ดีไว้ (ยุวเรศ สังวราภรณ์, 2538) ดังนั้นร่างกายจึงมีกลไกที่จะรักษาสภาพการให้ผลผลิตและการพัฒนาของตัวอ่อนที่ดีไว้ ส่งผลให้ในช่วงสุดท้ายของการทดลองนั้นไม่สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้

ตารางที่ 4.4 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและไข่แดง

		Dried cassava pulp (%)						
	Control	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**SEM**[1/]	**Trend**[2/]
Total blood cholesterol (mg%)								
week 0 – 12	93.00	66.00	62.50	82.25	90.25	61.50	14.39	NS[3/]
Egg yolk cholesterol (mg/egg)								
week 0 – 4	151.14^{a}	144.31^{ab}	138.87^{abc}	134.02^{abc}	128.29^{bc}	126.25^{c}	2.05	NS
week 4 – 8	140.94^{a}	131.06^{ab}	128.33^{b}	126.30^{b}	123.39^{b}	123.23^{b}	14.62	NS
week 8 – 12	146.40	139.88	140.66	139.31	136.48	137.47	1.13	NS

หมายเหตุ : $^{a-c}$ ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

[1/] SEM = Standard error of the mean

[2/] Refer to polynomial trend analysis

[3/] NS = Not significant

4.2.5 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูล

การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% (ตารางที่ 4.5) พบว่ากากมันสำปะหลังไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ชนิด *E. coli* ($P>0.05$) ในขณะที่การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25 และ 25% สามารถเพิ่มปริมาณประชากรจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* และชนิด *Bifidobacterium spp.* ($P<0.05$) ได้ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของจุลินทรีย์ชนิด *E.coli, Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacterium spp.* เมื่อได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% มีค่าเท่ากับ 3.92 3.55 3.76 4.62 5.15 และ 4.37 log CFU/g ตามลำดับ; 7.69 7.75 7.83 7.71 8.11 และ 8.12 log CFU/g ตามลำดับ และ 7.34 7.74 7.71 7.72 7.83 และ 7.86 log CFU/g ตามลำดับ สำหรับการผลิตแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูลไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทุกกลุ่มการทดลอง โดยปริมาณแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูล มีค่าเท่ากับ 0.13 0.14 0.15 0.14 0.15 และ 0.16 g/100 g ตามลำดับ และ 5.12 4.87 4.71 4.82 4.32 และ 4.61 g/100 g of DM

การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25% และ 25% สามารถเพิ่มปริมาณประชากรจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacterium spp.* ได้ ทั้งนี้ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของสุวรรณา พรหมทอง (2548) ที่พบว่ามันสำปะหลังสามารถเพิ่มประชากรจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* ได้มากกว่าไก่เนื้อที่ได้รับข้าวโพด ($P<0.05$) ซึ่งจากการรวบรวมเอกสารพบว่าเยื่อใยชนิดละลายน้ำประเภทเบต้ากลูแคนและเพกตินจากข้าวบาร์เลย์และข้าวโอ๊ต มีบทบาทในการเพิ่มประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ชนิด *Lactobacillus spp.* และชนิด *Bifidobacterium spp.* ในระบบทางเดินอาหารของสุกรและสัตว์ปีกได้ (O' Connella, Sweeneya, Callana and O' Doherty, 2005) และยังมีบทบาทในการส่งเสริมการสร้างภูมิคุ้มกันของสัตว์ (An, Cho, You, Paik, Chang, Kim, Yun and Kang, 2008) นอกจากนี้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีส่วนของ NSP ที่ละลายน้ำได้เป็นส่วนประกอบจะเพิ่มการหมักย่อยและเพิ่มความหนืดในลำไส้เล็กของไก่เนื้อ (Branton, Lott, Deaton, Maslin, Austin, Pote, Keirs, Latour and Day, 1997) กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงโดยมีสัดส่วนของเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำอยู่ที่ประมาณ 13.1% และมีเยื่อใยประเภทละลายน้ำชนิดเพคตินอยู่ที่ประมาณ 7% (Djuma’ali et al., 2011) โดยเยื่อใยประเภทที่ละลายน้ำได้นั้นจะมีลักษณะเหนียว สามารถกระจายตัว อุ้มน้ำได้ดี และจะมีการพองตัวเมื่ออยู่ในทางเดินอาหาร (Sarikhan, Shahryari, Nazer – Adl, Gholizadeh and Behesht, 2009) เมื่อเยื่อใยดังกล่าวผ่านไปยังลำไส้ใหญ่จะเกิดการหมักย่อยได้มากกว่าเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ (Wu, Dwyer, Fan, Shircore, Fan and Dwyer, 2003)

และอาจจะมีผลเพิ่มปริมาณประชากรจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* และชนิด *Bifidobacterium spp.* ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมได้

การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีผลต่อการผลิตแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูล ซึ่งการผลิตแอมโมเนียในลำไส้และในมูลของสัตว์นั้นเกิดจากการสลายมูลของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Salmonella spp. Clostridia spp.* และ *E. coli* (Cole, Wiseman and Varley, 1994) โดยกลไกการเกิดแอมโมเนียในมูล และ digesta เกิดจากการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค โดยอาศัยเอ็นไซม์ยูรีเอส (urease) ที่หลั่งจากจุลินทรีย์ออกมาย่อยสารประกอบไนโตรเจนในอาหารประเภทโปรตีนที่ไม่ถูกย่อย เนื้อเยื่อบุผนังของลำไส้ที่หลุดลอกรวมถึงจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ดังนั้นการผลิตแอมโมเนียในมูลหรือในระบบทางเดินอาหารของสัตว์จึงมีผลเชื่อมโยงกับจุลินทรีย์ที่เป็นโทษในระบบทางเดินอาหาร ดังรายงานของ Vince and Burridge (1980) พบว่าจุลินทรีย์ชนิด *Clostridia spp.* และ *E. coli* มีการผลิตแอมโมเนียในปริมาณที่สูงบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม สอดคล้องกับการทดลองครั้งนี้ที่พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ทุกระดับไม่พบความแตกต่างของปริมาณประชากรจุลินทรีย์ชนิด *E. coli* ดังนั้นเมื่อไม่พบความแตกต่างของจุลินทรีย์ให้โทษดังกล่าว จึงอาจเป็นผลทำให้ปริมาณแอมโมเนียในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูลไม่พบความแตกต่างด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.5 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตแอมโมเนียบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมและในมูล

		Dried cassava pulp (%)						
	Control	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**SEM**[1/]	**Trend**[2/]
Microbial population (log CFU/g)								
E. coli	3.92	3.55	3.76	4.62	5.15	4.37	0.33	NS[3/]
Lactobacillus spp.	7.69^{b}	7.75^{ab}	7.83^{ab}	7.71^{ab}	8.11^{a}	8.12^{a}	0.05	NS
Bifidobacterium spp.	7.34^{b}	7.74^{ab}	7.71^{ab}	7.72^{ab}	7.83^{ab}	7.86^{a}	0.06	NS
Ammonia								
Digesta (g/100g)	0.13	0.14	0.15	0.14	0.15	0.16	0.04	NS
Excreta (g/100g of DM)	5.12	4.87	4.71	4.82	4.32	4.61	0.07	NS

หมายเหตุ : $^{a-b}$ ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

[1/] SEM = Standard error of the mean

[2/] Refer to polynomial trend analysis

[3/] NS = Not significant

4.2.6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม

จากการศึกษาปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 โดยพบว่ากากมันสำปะหลังไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดบิวทิริค ($P>0.05$) ในขณะที่ไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25% และ 25% สามารถเพิ่มปริมาณของกรดโพรไพโอนิค และกรดอะซิติกได้ ($P<0.05$) ตามลำดับ โดยปริมาณของกรดบิวทิริคมีค่าเท่ากับ 5.33 5.77 5.77 5.92 5.67 และ 5.49 μmol/g ตามลำดับ; ปริมาณของกรดโพรไพโอนิคมีค่าเท่ากับ 2.11 2.02 2.03 1.98 2.12 และ 2.14 μmol/g ตามลำดับ และปริมาณของกรดอะซิติกมีค่าเท่ากับ 16.84 15.66 16.37 18.65 20.49 และ 21.14 μmol/g ตามลำดับ

ชนิดและสัดส่วนของกรดไขมันสายสั้นจะเปลี่ยนแปลงตามชนิดของอาหาร โดยปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ สามารถบ่งบอกถึงกระบวนการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ (Bergmam , 1990) ในสัตว์ที่กินอาหารที่มีเยื่อใยสูงจะมีปริมาณของกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกสูงกว่าสัตว์ที่กินอาหารจำพวกแป้งเป็นส่วนใหญ่ (Herd, 1997) การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 20 – 25% และ 25% สามารถเพิ่มปริมาณของกรดโพรไพโอนิค และกรดอะซิติกในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมของไก่ไข่ได้ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของกรดโพรไพโอนิคและกรดอะซิติกที่เพิ่มขึ้นนั้น อาจเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของประชากรจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* และชนิด *Bifidobacterium spp.* (ตารางที่ 4.5) โดยจุลินทรีย์ชนิดดังกล่าวจะมีการผลิตกรดไขมัน เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิคและกรดบิวทิริก รวมทั้งกรดแลคติคซึ่งสอดคล้องกับในการทดลองครั้งนี้ที่พบว่าการเสริมกากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25% และ 25% สามารถเพิ่มปริมาณประชากรจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* และชนิด *Bifidobacterium spp.* ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* และชนิด *Bifidobacterium spp.* ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม จึงส่งผลให้ปริมาณของกรดอะซิติกและกรดโพรไพโอนิคในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมนั้นเพิ่มปริมาณขึ้นได้

นอกจากผลของเยื่อใยในกากมันสำปะหลังที่สามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ เยื่อใยในกากมันสำปะหลังยังมีบทบาทในการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ ซึ่งการเพิ่มปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้นั้นมีบทบาทสำคัญต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรย์ที่มีโทษในระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อได้ เช่น *Clostidium spp. Salmonella spp.* และ *E. coli* (Fernandez – Rubio et al., 2009) ในขณะเดียวกันก็ไม่ได้มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus spp.* (Jozefiak, Rutkowski and Martin, 2004; Dunkley, Callaway, Chalova, McReynolds, Humeb, Dunkley, Kubena, Nisbet and Ricke, 2009) และการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้จากจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ยังช่วยลด pH ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมไม่ให้มี pH ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีโทษ

การเพิ่มปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ในสำไส้ส่วนท้ายนั้นยังมีบทบาทสำคัญในการเสริมสุขภาพของเจ้าบ้าน (host) ในการชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมของกลูโคสและไขมัน ทำให้น้ำตาลและไขมันในเลือดต่ำ (Roberfroid, 1993) ดังรายงานของ Remesy, Demigne and Morand (1995) กล่าวว่าเมื่อเกิดการหมักย่อยเยื่อใยที่ละลายน้ำโดยจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารส่วนท้าย กรดไขมันสายสั้นที่ได้จะถูกจะถูกดูดซึมเกือบทั้งหมดในหลอดเลือดดำ โดยจะเกิดกระบวนการเผาผลาญที่ตับ ดังนั้นกรดไขมันสายสั้นอาจมีผลกระทบต่อการเผาผลาญไขมันในตับและกรดโพรพิโอนิคยังมีความสามารถในการลดการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลได้ (Demigne, Morand, Levrat, Besson, Moundras and Remesy, 1995; Stark and Madar, 1993; Wolever, Spadafora, Cunnane and Pencharz, 1995) ดังรายงานของ Levrat, Favier, Moundras, Rkmesy, Demignt and Morand (1994) พบว่าหนูที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใยสูง ๆ เช่น โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) จะผลิตกรดโพรพิโอนิคในปริมาณที่สูง เมื่อมีปริมาณของกรดโพรพิโอนิคในปริมาณที่สูงจะเกิดการเหนี่ยวนำให้อัตราการทำงานของเอนไซม์ HMG – CoA reductase ลดลงซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในตับ และทำให้คอเลสอเตอรอลในเลือดและไตรกลีเซอไรด์ลดลง ดังนั้นกรดโพรพิโอนิคจึงอาจมีส่วนร่วมในการลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกายได้ ในการทดลองครั้งนี้พบว่ากากมันสำปะหลังสามารถเพิ่มปริมาณของกรดโพรไพโอนิค และปริมาณของกรดอะซิติกในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมได้ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้จึงอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมให้ระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลง

ตารางที่ 4.6 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณกรดไขมันที่ระเหยในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม (µmol/g)

		Dried cassava pulp (%)						
	Control	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**SEM**[1/]	**Trend**[2/]
Acetic acid	16.84^{bc}	15.66^{c}	16.37^{bc}	18.65^{abc}	20.49^{ab}	21.14^{a}	0.57	NS[3/]
Propionic acid	2.11^{ab}	2.02^{ab}	2.03^{ab}	1.98^{b}	2.12^{a}	2.14^{a}	0.01	NS
Butyric acid	5.53	5.77	5.77	5.92	5.67	5.49	0.12	NS

หมายเหตุ : $^{a-c}$ ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

[1/] SEM = Standard error of the mean; [2/] Refer to polynomial trend analysis;

[3/] NS = Not significant

4.2.7 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

จากการทดลองศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 โดยคำนวณจากกำไรจากการขายไข่ (บาท) ราคาอาหาร (บาท/กิโลกรัม) ค่าราคาอาหารทั้งหมดตลอดการทดลอง (บาท) กำไรสุทธิเบื้องต้น (บาท) และต้นทุนอาหาร/ไข่ 1 ฟอง (บาท) พบว่าต้นทุนค่าอาหารของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25% มีค่าเท่ากับ 14.14 14.18 13.97 13.76 13.55 และ 13.31 บาท ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาตลอดการทดลองพบว่าไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีต้นทุนค่าอาหารตลอดการทดลองต่ำที่สุด (6,510) เมื่อเปรียบเทียบกับไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน (6,918) สำหรับผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (กำไรเบื้องต้น) ของไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ 2,465 2,651 2,595 2,677 2,751 และ 2,760 บาท ตามลำดับ โดยไก่ไข่ที่ได้รับกากมันสำปะหลังทุกระดับมีกำไรสูงกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 ฟอง ของอาหารทั้ง 6 กลุ่ม มีค่าเท่ากับ 1.77 1.73 1.73 1.71 1.69 และ 1.68 บาท ซึ่งการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีต้นทุนค่าอาหารต่อไข่ 1 ฟองต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ ในส่วนของกำไรต่อฟองของอาหารทั้ง 6 กลุ่ม มีค่าเท่ากับ 0.63 0.67 0.67 0.69 0.70 และ 0.71 บาท โดยการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 25% มีกำไรต่อไข่สูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล

จากการทดลองพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังทุกระดับ (5 – 25%) ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงกว่ากลุ่มควบคุม เป็นผลมาจากค่าอาหารทั้งหมดตลอดการทดลองในกลุ่มควบคุมสูงกว่ากลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้ในระหว่างทำการทดลองกากมันสำปะหลังมีราคาเท่ากับ 4.50 บาทต่อกิโลกรัม และข้าวโพดมีราคาเท่ากับ 13.00 บาทต่อกิโลกรัม โดยต้นทุนค่าอาหารและ ต้นทุนในการผลิตไข่ต่อฟองจะลดลงเมื่อข้าวโพด และกากมันสำปะหลังมีส่วนต่างราคาเป็น 5 บาทต่อกิโลกรัม

แต่อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนต่ำและพลังงานปานกลาง ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่ต้องมีการปรับระดับโภชนะต่าง ๆ ในสูตรอาหารเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของไก่ไข่ โดยจำเป็นต้องมีการเพิ่มระดับไขมันและกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร แต่เนื่องจากแหล่งไขมันและกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีราคาแพงกว่าข้าวโพดมาก ด้วยเหตุนี้ควรพิจารณาถึงภาวะราคาของน้ำมันรำและกากถั่วเหลืองด้วย

นอกจากนี้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานปานกลางและโปรตีนต่ำ อีกทั้งมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นเป็นองค์ประกอบอยู่ต่ำ ดังนั้นการใช้กาก

มันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้นในสูตรอาหาร ควรพิจารณาเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ เช่น เมทไธโอนีนและไลซีน นอกจากนี้ควรเลือกใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับวัตถุดิบที่หลากหลายชนิดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารเพื่อปรับสมดุลของกรดอะมิโน และควรพิจารณาเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดอื่น ๆ ที่มีกรดอะมิโนทรีโอนีนสูง ๆ ทดแทน เช่น เปลือกกุ้ง กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วเหลือง และกากเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น เพื่อปรับสมดุลของกรดอะมิโนให้เพียงพอต่อความต้องการของไก่ไข่

จากผลการทดลองพบว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารไก่ไข่ได้ถึง 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต และคุณภาพไข่ แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองที่ 2 พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังได้ถึง 25% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต (ตลอดการทดลอง 0 – 12 สัปดาห์) แต่มีผลกระทบต่อคุณภาพไข่ (น้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่แดง มวลไข่ และสีไข่แดง) ทั้งนี้อาจเกิดจากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น คุณภาพของกากมันสำปะหลัง การใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง การกินได้ของไก่ไข่ นอกจากนี้อาจเกี่ยวข้องกับปริมาณ และสัดส่วนของปริมาณกรดอะมิโนในกากมันสำปะหลัง เป็นต้น

จากการศึกษาพบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานทดแทนในอาหารไก่ไข่ได้ เมื่อวัตถุดิบแหล่งพลังงานหลัก เช่น ข้าวโพดมีราคาแพงหรือเกิดการขาดแคลน นอกจากนี้การใช้กากมันสำปะหลังทุกระดับ (5 – 25%) ยังสามารถลดต้นทุนค่าอาหารและมีต้นทุนต่อฟองต่ำกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนาการใช้เศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์ ช่วยกำจัดของเสีย และยังช่วยลดมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

ตารางที่ 4.7 ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

		Dried cassava pulp (%)				
	Control	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**
จำนวนไก่เข้าการทดลอง, ตัว	48	48	48	48	48	48
อัตราการเลี้ยงรอด, %	97.92	100	97.92	100	100	97.92
จำนวนไข่ทั้งหมด, ฟอง	3,910	3,951	3,896	3,898	3,897	3,863
ผลผลิตตลอดการทดลอง, %	97.15	97.99	96.97	96.68	96.65	95.98
น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม/ฟอง)	63.71	64.48	64.47	64.14	63.49	61.93
รายได้จากการขายไข่, บาท (2.40 บาท/ฟอง)	9,384	9,482	9,350	9,355	9,352	9,271
ราคาอาหารทั้งหมด, บาท	6,918	6,830	6,754	6,677	6,601	6,510
ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ, (กำไรทั้งหมด, บาท)	2,465	2,651	2,595	2,677	2,751	2,760
ราคาอาหาร, บาท/กิโลกรัม	14.14	14.18	13.97	13.76	13.55	13.31
ต้นทุนอาหาร/ไข่ 1 ฟอง, บาท	1.77	1.73	1.73	1.71	1.69	1.68
กำไรต่อฟอง, บาท	0.63	0.67	0.67	0.69	0.70	0.71
ปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล, กิโลกรัม	1.42	1.40	1.44	1.44	1.43	1.44

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับต่าง ๆ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร กรดไขมันที่ระเหยได้ และการผลิตแอมโมเนีย สรุปได้ว่า

5.1.1 กากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึงระดับ 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และคุณภาพไข่ ได้แก่ น้ำหนักไข่ ความหนาเปลือกไข่ และคุณภาพไข่ขาว ยกเว้นสีของไข่แดงมีการลดลงตามระดับของกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

5.1.2 การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 – 25% สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง เพิ่มปริมาณประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ชนิด *Lactobacillus spp.* และชนิด *Bifidobacterium spp.* เพิ่มการผลิตกรดไขมันระเหยได้ชนิดกรดโพรไพโอนิคและกรดอะซิติกในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัมได้ แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของจุลินทรีย์ชนิด *E. coli* และปริมาณแอมโมเนีย

5.1.3 การใช้กากมันสำปะหลังทุกระดับในอาหารไก่ไข่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนต่ำและพลังงานปานกลางจำเป็นต้องใช้น้ำมันรำและกากถั่วเหลืองสูงขึ้น เพื่อให้มีปริมาณโปรตีนและพลังงานเพียงพอกับความต้องการของไก่ไข่ ด้วยเหตุนี้หากต้องการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ควรพิจารณาถึงภาวะราคาของน้ำมันรำและกากถั่วเหลืองด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ มีผลทำให้ระดับสีของไข่แดงลดลง ดังนั้นควรพิจารณาการเสริมสารสีเพิ่มในสูตรอาหาร หรือการใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับวัตถุดิบที่มีสารสี อาทิเช่น กลีบดอกดาวเรืองแห้ง ใบกระถิน หรือเสริมสารสีสังเคราะห์ในสูตรอาหารเพื่อเพิ่มความเข้มของสีไข่แดง

5.2.2 กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นเป็นองค์ประกอบอยู่ต่ำ ดังนั้นควรเลือกใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับวัตถุดิบที่หลากหลายชนิดเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารเพื่อปรับสมดุลของกรดอะมิโนในสูตรอาหาร และควรพิจารณาเลือกใช้วัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ที่มีกรดอะมิโนทรีโอนีนสูง ๆ ทดแทน เช่น เปลือกกุ้ง กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วเหลือง และกากเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น

5.2.3 การเลือกใช้กากมันสำปะหลังที่ได้มาจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ต่างกันรวมถึงกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของคุณภาพของกากมันสำปะหลัง ได้แก่ ระดับเยื่อใย และระดับโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของกากมันสำปะหลัง และควรคำนึงถึงระดับเยื่อใยในสูตรอาหาร นอกจากนี้ควรพิจารณาเลือกใช้กากมันสำปะหลังที่ไม่มีสิ่งปลอมปน เช่น กรวด หิน หรือปูน เป็นต้น เนื่องจากอาจมีผลต่อการใช้ย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้โภชนะของไก่ไข่

รายการอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). **เทคโนโลยีของแป้ง.** ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกศสุชา พูลคำ. (2536). การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. **จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**

ไกรวุฒิ พ่วงเพชร. (2550). ผลการบำบัดขั้นต้นด้วยเอนไซม์ต่อการย่อยสลายกากมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งแบบไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.**

จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา และอัจฉรา ลิ่มศิลา. (2547). **มันสำปะหลัง. เอกสารวิชาการ**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์.

จารุวรรณ์ ศิริพรรณพร. (2554). **บทบาทของอาหารต่อการควบคุมไขมันในเลือด.** สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/84/chemistry/choles1.htm.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. (2532). **มันสำปะหลัง การปลูก อุตสาหกรรมแปรรูปและการใช้ประโยชน์.** ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐชนก อมรเทวภัทร. (2548). **เอกสารประกอบวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์.** โครงการจัดตั้งภาควิชาเทคโนโลยีทางกระบวนการเคมีและฟิสิกส์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธันวา ไวยบท. (2547). การใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารไก่พื้นเมืองลูกผสม ไก่เนื้อและไก่ไข่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. **สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.**

นิลุบล บุตรโพธิ์ศรี. (2543). ผลของการใช้มันเส้นดัดแปลง (โดยการเสริมโปรตีนจากพืชชนิดต่าง ๆ และสารสีจากดอกดาวเรือง) ทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. **สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.**

บุญล้อม ชีวอิสระกุล. (2545). **ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุญล้อม ชีวอิสระกุล. (2541). **โภชนศาสตร์สัตว์**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

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

ปรีดา คำศรี, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และณัฐชนก อมรเทวภัทร. (2552). ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อ. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** หน้า 132 – 140.

พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และวิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2550). กากมันสำปะหลังกับการใช้ประโยชน์ในอาหารโคนม. **วารสารเกษตรสุรนารี ปี 2550.** หน้า 43 – 50.

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

ยุวเรศ สังวราภรณ์. (2538). ผลการเสริมน้ำมันปลาซาร์ดีนในอาหารไก่ไข่ต่อองค์ประกอบของไขมันในไข่แดงและสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** หน้า 106 – 112.

รุ่งเรือง กิจผาติ, ขวัญยืน ศรีเปารยะ และสุมล ปวิตรานนท์. (2547). **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารพิษ.** ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.healthnet.in.th/text/forum1/toxic/.

วิจิตร บุณยะโหตระ. (2536). ความเสื่อมจากการบริโภคอาหารกากใยต่ำ. ***ภัยจากอาหาร.*** สยามบรรณาการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

วิภาสิริ เสภารัตนานันท์. (2549). การใช้มันเส้นและใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพและปริมาณโปรตีนในไก่ไข่. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** หน้า 43 – 52.

วิยดา เทพหัตถี, ศศิวิมล แสวงผล, เชฎฐ์ สาทรกิจ และทยา เจนจิตติกุล. (2554). **สารานุกรมผลิตผลและผลิตภัณฑ์จากพืชในซุปเปอร์มาร์เก็ต ฉบับคอมพิวเตอร์ (2546).** โดยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

วิรชัย พลโรม, อุษา กลิ่นหอม และชูศรี ตลับมุข. (2536). การใช้กากมันสำปะหลังจากการผลิตแอลกอฮอล์ในอาหารไก่ไข่. **ว. เกษตรศาสตร์.** 27: 177 – 185.

ศูนย์ข้อมูลสุขภาพกรุงเทพ. (2554). [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.bangkokhealth.com.

สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย. (2556). **เปรียบเทียบราคาของข้าวโพดและมันสำปะหลังในประเทศไทยปี 2552 – 2556 .** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.thaifeedmill.com/ราคา/tabid/78 tabid/78/Default.aspx.

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

สาโรช ค้าเจริญ และเยาวมาลย์ ค้าเจริญ. (2531). การใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์ สุกร เป็ดและไก่. **วารสารเผยแพร่ชุมนุมสหกรณ์ผู้เลี้ยงสุกรจำกัด**. 1(1): 15 – 20.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงการเกษตรและสหกรณ์. (2554). **สัดส่วนการส่งออกมันสำปะหลัง และผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังของประเทศไทยในปีพ.ศ. 2554.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.oae.go.th.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร. (2555). **ปริมาณและมูลค่าการส่งออกแป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังปี 2551 – 2555.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร. (2555). **ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย จำแนกตามภูมิภาค และจังหวัดที่มีการผลิตสูงสุดปี 2554 – 2555.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/cassava53-55.pdf.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร. (2555). **ปริมาณส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังปี 2551 – 2555.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.oae.go.th/oae_report/ export_import.

สุเมธ ไตรพฤกษชาติ, ยุวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และสุกัญญา รัตนทับทิมทอง. (2552). ผลของระดับกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่. **การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** หน้า 165 – 173.

สุวรรณา พรหมทอง. (2548). การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางสรีรวิทยา จุลกายวิภาค และจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารไก่กระทงที่ได้รับอาหารสูตรมันสำปะหลังกับอาหารสูตรข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต. **มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**

เสกสม อาตมางกูร.(2545). เอนไซม์ในระบบย่อยอาหารและการเสริมเอนไซม์เพื่อช่วยในการย่อยอาหาร. **สุกรสาส์น.** 29(114): 11 – 18.

องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO). (2554). **ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของโลกจำแนกตามภูมิภาคและประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ปี 2550 – 2554**. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://tisccm.moc.go.th/tisc/content.aspx?file_upload_id=4093&page_num=1

อุทัย คันโท และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์. (2547). **การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์: ผลการใช้และวิจัยในประเทศไทย.** ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจ. ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุทัย คันโท, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และไพฑูรย์ มูลจิตร. (2545). **การส่งเสริมพัฒนาการผลิตและการตลาด มันเส้นสะอาด.** ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจ. ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุทัย คันโท. (2529). **อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก.** ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Allain, C. C., Poon, L. S., Chan, C. S. G., Richmond, W., and Fu, P. C. (1974). Enzymatic determination of total serum cholesterol. **Clin. Chem.** 20: 470 – 475.

An, B. K., Cho, B. L., You, S. J., Paik, H. D., Chang, H. I., Kim, S. W., Yun, C. W., and Kang, C. W. (2008). Growth performance and antibody response of broiler chicks fed yeast derived β – glucan and single – strain probiotics. **J. Anim. Sci.** 21(7): 1027 – 1032.

Anino, J. S., and Giese, R. W. (1976). **Clinical chemistry: principles and procedures.** 4th ed. Boston, Little Brown and company.

AOAC. (2000). **Official methodsof analysis of the association of official analytical chemist.** 17th ed. Assoc. Anal. Chem., Arlington, VA.

Audiso, M. C., Oliver, G., and Apella, M. C. (1999). Antagonistic effect of *Enterococus feacium* against human and poultry pathogenic *Salmonella spp*. **J. Food Prot.** 62(7): 751 – 755.

Barrow, P. A., Brolleker, B. E., Fuller, R., and Newport, M. J. (1980). The attachment of bacteria to the gastric epithelium of the pig and its importance in the microecology of intestine. **Appl. Bacteriol.** 48: 147 – 154.

Bate, C., Rumbold, L., and Williams, A. (2007). Cholesterol synthesis inhibitors protect against platelet – activating factor – induced neuronal damage. **Neuroinflammation.** 4: 5.

Bedford, M. R., and Summers, J. D. (1985). Influence of the ratio of essential to nonessential amino acids on performance and carcase composition of the broiler chick. **Br. Poult. Sci.** 26: 483 – 491.

Bergman, E. N. (1990). Energy contribution of volatile fatty acid from the gastrointestinal tract in various species. **Physiol. Rev.** 70: 567 – 590.

Bird, A. R., Brown, I. L., and Topping, D. L. (2000). Starch, resistant starches, the gut microflora and human health. **Curr. Issues. Intest. Microbiol.** 1(1): 25 – 37.

Bowland, J. P. (1972). *Unprocessed* rapeseed treated with propionic acid in diets of growing pigs: performance, energy and protein digestibility, and nitrogen retention, carcass measurement, and fatty acid composition of backfat. **Can. J. Anim. Sci.** 52(3): 553 – 562.

Branton, S. L., Lott, B. D., Deaton, J. W., Maslin, W. R., Austin, F. W., Pote, L. M., Keirs, R. W., Latour, M. A., and Day, E. J. (1997). The effect of added complex carbohydrates or added dietary fiber on necrotic enteritis lesions in broiler chickens. **Poult. Sci.** 76: 24 – 28.

Charina, A. (2010). **Camote, cassava, peanuts may lower blood cholesterol level**. (cited 18 October 2013): [On – line]. Available. http://www.fnri.dost.gov.ph.

Cheeke, P. R., and Shull, L. R. (1985). **Natural toxicants in feed and poisonous plant.** AVI Publishing Company Inc., Westport, Connecticut.

Choct, M. (1997). Feed non – starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. **Feed Milling Intern.** 13 – 26.

Cole, D. J., Wiseman, A. J., and Varley, M. A. (1994). **Principle of pig science**. Nottingham University Press, London.

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

Cook, S. I., and Sellin, J. H. (1998). Review article: short chain fatty acids in health and disease. **Aliment Pharmacol Ther.** 12(6): 499 – 507.

Cooke, R. D. (1978). An enzymatic assay for the total cyanide content of cassava (*manihot esculenta* crantz). **J. Sci. Food Agric.** 29: 345 – 352.

Cummings, J. H., Pomare, E. W., Branch, W. J., Naylor, C. P. E., and Macfarlane, G. T. (1987). Short chain fatty acids in human large intestine, portal hepatic and venous blood. **Gut**. 28: 1221 – 1227.

Defloor, I., Dehenj, I., and Delcour, J. A. (1998). Physico – chemical properties of cassava starch. **Starch/Starke.** 50: 58 – 64.

Demigne, C., Morand, C., Levrat, M. – A., Besson, C., Moundras, C., and Remesy, C. (1995). Effect of propionate on fatty acid and cholesterol synthesis and on acetate metabolism in isolated rat hepatocytes. **Br. J. Nutr.** 74: 209 – 219.

Djuma' ali, Soewarno, N., Sumarno, Primarini, D., and Sumaryono, W. (2011). Cassava pulp as a biofull feedstock of an enzymatic hydrolysis process. **Makara. Seri. Teknologi.** 15: 183 – 192.

Dunkley, K. D., Callaway, T. R., Chalova, V. I., McReynolds, J. L., Humeb, M. E., Dunkley, C. S., Kubena, L. F., Nisbet, D. J., and Ricke, S. C. (2009). Foodborne Salmonella ecology in the avian gastrointestinal tract. **Anaerobe.** 15: 26 – 35.

Eastwood, M. A., and Boyd, C. S. (1967). The distribution of bile salts along the small intestine of rats. **Biochim. Biophys. Acta.** 137: 393 – 396.

Evans, M. A., and Shronts, E. P. (1992). Intestinal fuels: glutamine, short – chain fatty acids and dietary fiber. **J. Am Diet Assoc.** 92(10): 1239 – 1246.

Enzymatic food analysis. (2013). **Carbohydrate assay kits.** (cited 4 September 2013): [On – line]. Available.http://**www.sigmaaldrich.com/technical/articles/analytix/enzymatic-food-analysis.html**.

Eriksson, K. E. L., Blanchette R. A., and Ander, P. (1990). **Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components**. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

Faria, D. E., Harms, R. H., and Russel, G. B. (2002). Threonine requirement of commercial laying hens fed corn – soybean meal diet. **Poult. Sci.** 81: 809 – 814.

Fernandez – Rubio, C., Ordonez, C., Abad – Gonzalez, J., Garcia – Gallego, A., Honrubia, M. P., Mallo, J. J., and Balana – Fouce, R. (2009). Butyric acid – based feed additives help protect broiler chickens from *Salmonella Enteritidis* infection. **Poult. Sci.** 88: 943 – 948.

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

Gibson, G. R., and Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of human colonic microflora: Introducing the concept of prebiotic. **J. Nutr.** 125: 1404 – 1412.

Gibson, G. R., Rastall, R. A., and Roberfroid, M. B. (1999). **Prebiotics, in colonic microbiota, nutrition and health**. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands. 304p.

Gonzalez – Alvarado, J. M., Jimenez – Moreno, E., Valencia, D. G., Lazaro, R., and Mateos, G. G. (2008). Effect of fiber source and heat processing of the cereal on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers fed diets based on corn or rice. **Poult. Sci.** 87: 1779 – 1795.

Hargis, P. S. (1988). Modifying egg yolk cholesterol in the domestic fowl – a review. **Poult. Sci.** 44: 17 – 29

Harms, R. H., McGhee, G. C., and Goff, O. E. (1957). **The effect of dietary energy level on the performance of laying hens.** (cited 19 September 2013): [On – line]. Available. http://trace.tennessee.edu/utk_agbulletin.

Herd, T. (1997). Digestion: The fermentative process. In. Cunningham G. (ed). **Veterinary physiology.** Pennsylvania.

Hetland, H., and Choct, M. (2003). Role of insoluble non – starch polysaccharides in poultry nutrition. **Poult. Sci.** 14: 38 – 46.

Hetland, H., and Svihus, A. (2001). Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. **Br. Poult. Sci.** 42: 354 – 361.

Hur, S. U., Kang, G. H., Jeong, J. Y., Yang, H. S., Ha, Y. L., Park, G. B., and Joo, S. T. (2003). Effect of conjugated linoleic acid on lipid characteristics of egg yolk. **Asian – Aust. J. Anim. Sci.** 16: 1165 – 1170.

Ichikawa, H., and Sakata, T. (1998). Stimulation of epithelial cell proliferation of isolated distal colon of rats by continuous colonic infusion of ammonia or short – chain fatty acids is nonadditive. **J. Nutr.** 128: 843 – 847.

Jacobasch, G., Schmiedl, D., Kruschewski, M., and Schmehl, K. (1999). Dietary resistant starch and chronic inflammatory bowel diseases. **Int. J. Colorectal Dis.** 14: 201 – 211.

James, L. (1978). Effect of dietary fiber on egg yolk, lipid and plasma cholesterol concentrations of the laying hen. **J. Nutr.** 1842 – 1848.

Jimenez – Moreno, E., Gonzalez – Alvarado, J. M., de Coca – Sinova, A., Lazaro, R., and Mateos, G. G. (2009). Effects of source of fibre on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers. **Anim. Feed Sci. Technol.** 154: 93 – 101.

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

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

Jozefiak, D., Rutkowski, A., and Martin, S. A. (2004). Carbohydrate fermentation in the avian ceca: a review. **Anim. Feed Sci. Tech.** 113: 1 – 15.

Khajarern, J., Khajarern, S., Sivapraphagon, A., and Nandhapipat, L. (1982). A survey on the changes in chemical composition of cassava root products in Khon Kean region in 1980, pp. 22 – 29. **In KKu – IDRC cassava/Nutrition Project 1975/76. mAnnual Report.** Khon Kean University, Khon Kean, Thailand.

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. Poult. Sci. Res.** 18: 487 – 493.

Kim, J. H., Hong, S, T., Lee, H, S., and Kim, H. J. (2004). Oral administration of pravastatin reduces egg cholesterol but not plasma cholesterol in laying hens. **Poult. Sci.** 83: 1539 – 1543.

Kritchevsky, D. (1978). Fiber, lipids and atherosclerosis. **Am. J. Clin. Nutr.** 31: S65 – S74.

Kritchevsky, D., and Story, I. A. (1974). Binding of bile salts in vitro by nonnutritive fiber. **J. Nutr.** 104: 458 – 462.

Kritchevsky, S. B., and Kritchevsky, D. (2000). Egg consumption and coronary heart disease: an epidemiologic overview. **J. Am. Coll. Nutr.** 19: 549 – 555.

Kumta, U. S., and Harper, A. E. (1961). Amino acid imbalance. VII. Effects of dietary additions of amino acid on food intake and blood urea concentration of rats fed low protein diet containing fibrin. **J. Nutr.** 73: 139 – 147.

Leeson, S., and Summers, J. D. (1997). **Commercial poultry nutrition**. 2nd ed. Ontario, Canada. 356p.

Levrat, M. A., Favier, M. L., Moundras, C., Rkmesy, C., Demignt, C., and Morand, C. (1994). Role of dietary propionic acid and bile acid excretion in the hypocholesterolemic effects of oligosaccharides in rats. **J. Nutr.** 124: 531 – 538.

Lirette, A., Robinson, A. R., Crober, D. C., Lawson, P. D., and Firth, N. L. (1993). Effect of oat bran, cottonseed hulls and guar gum on chicken egg and blood lipids during the early laying period. **Can. J. Anim. Sci.** 73: 673 – 677.

Michael, J. L., and Burtor, E. P. (1995). **A photographic atlas for the micobiology laboratory.** Mortor Publishing, New York.

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.

Nartey, F. (1973). Biosynthesis of cyanogenic glucosides in cassava (*Manihot spp*), pp. 73 – 87. *In* Chronic Cassava Toxicity. **Proceeding of an Interdisciplinary Workshop, London, England, 29 – 30 January 1973.** International Development Research Centre, IDRC. Ottawa, Canada.

National Research Council. (1994). **Nutrient requirements of poultry.** 9th ed. National Academy of Science, Washington, DC**.**

National Research Council. (1998). **Nutrient requirements of swine.** 10th ed. National Academy of Science, Washington, DC.

Nesheim, M. C., Austic, R. E., and Card, L. E. (1979). **Poultry production.** 12th ed. Philadephia: Lea&Febiges.

North, M. O., and Bell, D. D. (1990). **Commercial chicken production manual**. AVI Publishing Company Inc. Westport Connecticut. 913p.

Oates, C. G. (1997). Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Food Sci. Tech.** 8: 375 – 382.

O' Connella, J. M., Sweeneya, T., Callana, J. J., and O' Doherty, J. V. (2005). The effect of cereal type and exogenous enzyme supplementation in pig diets on nutrient digestibility, intestinal microflora, volatile fatty acid concentration and manure ammonia emissions from finisher pigs. **Anim. Sci.** 81: 357 – 364.

Pond, W. G., Pond, K. R., Church, D. C., and Schoknecht, P. A. (2005). **Basic animal nutrition and feeding**. 5th ed. United States of America, USA. 580p.

Pryde, S. E., Duncan, S. H., Hold, G, L., Stewart, C, S., and Flint, H, J. (2002). The microbiology of butyrate formation in the human colon. **FEMS Microbiol Lett.** 217: 133 – 139.

Rabassa, A. A., and Roges, A. I. (1992). The role of short – chain fatty acid metabolism in colonic disorders. **Am. J. Gastroen.** 87(4): 419 – 423.

Rangilal, D. S., Dinorkar, C. V., and Kaikani, A. S. (1995). Studies on the partial replacement of maize by tapioca meal in broiler ration. **Poultry – adviser.** 28(4): 49 – 52.

Ranjihan, S. K. (1980). **Animal nutrition in topics.** 2nd ed. Vikas Publishing House.

Remesy C., Demigne C., and Morand C. (1995). **Metabolism of short – chain fatty acids in the liver.** Quoted in: Cummings J. H., Rombeau J. L., and Sakata T. (ed.). **Physiological and clinical aspects of short – chain fatty acids**. Cambridge University Press, U.K.

Roberfroid, M. (1993). Dietary fiber, inulin and oligofructose: a review comparing their physiological effects. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 33(2): 103 – 148.

Roberts, S. A., Xin, H., Kerr, B. J., Russell, J. R., and Bregendahl, K. (2007). Effects of dietary fiber and reduced crude protein on ammonia emission from laying – hen manure. **Poult. Sci.** 86: 1625 – 1632.

Rowe, A., Macedo, F. A. F., Visentainer, J. V., Souza, N. E., and Matsushita, M. (1999). Muscle composition and fatty acid profile in lambs fattened in dry lot or pasture. **Meat Sci.** 51: 283 – 288.

Sakata, T. (1987). Stimulatory effect of short – chain fatty acids on epithelial cell proliferation in the rat intestine: a possible explanation for trophic effects of fermentable fiber, gut microbes and luminal trophic factors. **Br. J. Nutr.** 58: 95 – 103.

Sarikhan, M., Shahryari, H. A., Nazer – Adl, K., Gholizadeh, B., and Behesht, B. (2009). Effects of insoluble fiber on serum biochemical characteristics in broiler. **J. Agric. Biol.** 11: 73 – 76.

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

Scheppach, W. (1994). Effect of short chain fatty acids on gut morphology and function. **Gut.** 35: S35 – S38.

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

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

Stark, A. H., and Madar, Z. (1993). In vitro production of short – chain fatty acids by bacterial fermentation of dietary fiber compared with effects of these fibers on hepatic sterol synthesis in rats. **J. Nutr.** 123: 2166 – 2173.

Sucharita, S., Harinder, P. S. M., and Klaus, B. (1998). Alfalfa saponins and their implication in animal nutrition. **J. Agric. Food Chem.** 46: 131 – 140.

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.

Sutton, C, D., Muir, W. M., and Begin, J. J. (1981). Effect of fiber on cholesterol metabolism in the *Coturnix* quail. **Poult. Sci.** 60: 812 – 817.

Teerapatr, S., Lerdluk, K., and La – aied, S. (2006). Approach of cassava waste pretreatments for fuel ethanol production in Thailand**. J. Sci. Res. Chula. Univ.** 31: 78 – 84.

Valenzuela, A., Sanhueza, J., and Nieto, S. (2003). Cholestreol oxidation: health hazard and role of antioxidants in prevention. **Biol. Res.** 36: 291 – 302.

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.

Velazquez, O. C., Lederer, H. M., and Rombeau, J. L. (1996). Butyrate and the colonocyte, implications for neoplasia. **Dig. Dis. Sci.** 41: 727 – 739.

Vince, A. J., and Burridge, S. M. (1980). Ammonia production by intestinal bacteria: the effects of lactose, lactulose and glucose. **J. Med. Microbiol**. 13: 177 – 191.

Wegner, M. S., Kelley, J. L., Nelson, E. C., Alaupovic P., and Thayer, R. H. (1978). Lipid metabolism in laying hen: the relationship of plasma lipid and liver fatty acid synthetase activity to changes in liver composition. **Poult. Sci.** 57: 959 – 967.

Weiss, F. G., and Scott, M. L. (1978). Effect of dietary fiber, fat and total energy upon plasma cholesterol and other parameters in chicken. **J. Nutr.** 109: 693 – 701.

Wells, R. G., and Belyavin, C. G. (1985). **Egg quality: current problems and recent advances, Poultry science symposium series.** 20th ed. Butterworths London, England. 302p.

Weurding, R. E., Veldman, A., Veen, W. A. G., van der Aar, P. J., and Verstegen, M. W. A. (2001). Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs. **J. Nutr.** 131: 2329 – 2335.

Wijnands, M. V. W., Appel, M. J., Hollanders, V. M. H, and Woutersen, R. A. (1999). A comparison of the effects of dietary cellulose and fermentable galacto – oligosaccharides, in brat model of colorectal carcinogenesis: fibre in both high and low fat backgrounds. **Carcinogenesis.** 20(4): 651 – 656.

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.

Wolever, T. M., Spadafora, P. J., Cunnane, S. C., and Pencharz, B. (1995). Propionate inhibits incorporation of colonic [1, 2 $^{-13}$C] acetate into plasma lipids in humans. **Am. J. Clin. Nutr.** 61: 1241 – 1247.

Wu, H., Dwyer, K. M., Fan, Z., Shircore, A., Fan, J., and Dwyer, J. H. (2003). Dietary fiber and progression of atherosclerosis: The Los Angeles Atherosclerosis Study. **Am. J. Clin. Nutr.** 78: 1085 – 1091.

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 mannan oligosaccharide. **Poult. Sci.** 84: 903 – 909.

ภาคผนวก

วิธีการดำเนินงานทางห้องปฏิบัติการ

1. การเก็บตัวอย่างเลือดจากสัตว์ทดลอง

การเจาะเลือดไก่

ทำการเจาะเลือดไก่บริเวณใต้ปีก โดยใช้เข็มเบอร์ 23 แทงลงไปที่เส้นเลือด wing vein เริ่มดูดเลือดอย่างช้า ๆ จนได้ประมาณ 3 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยา และทางชีวเคมีต่อไป

การเตรียมเลือดเพื่อวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยา

เก็บเลือดไก่ใส่หลอดที่บรรจุสารป้องกันเลือดแข็งตัว(ethylene diamine tetra acetic acid; EDTA) เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ค่ายูเรียไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen) และการศึกษาระดับคอเลสเตอรอลในพลาสมา (total blood cholesterol)

2. การวิเคราะห์พลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงของวัตถุดิบอาหารสัตว์ (True metabolizable energy, TME) (Sibbald, 1976)

วัสดุและอุปกรณ์

1. ไก่ไข่เพศเมีย อายุ 30 สัปดาห์
2. กรงขังเดี่ยว (metabolic cage)
3. เครื่องชั่ง
4. กรวยสำหรับ force feeding

วิธีการ

1. ไก่ไข่เพศเมีย อายุ 30 สัปดาห์ น้ำหนักประมาณ 1.8 – 1.9 กิโลกรัม ขังแยกในกรงขังเดี่ยว (metabolic cage) ทำการอดอาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ไม่อดน้ำ)

2. แบ่งไก่ไข่ออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 5 ซ้ำ กลุ่มแรกให้อดอาหารต่อจนเสร็จสิ้นการทดลอง (24 ชั่วโมง) กลุ่มที่สองทำการป้อน (forced feed) กากมันสำปะหลัง 20 กรัม โดยทำการสอดกรวยไปยังกระเพาะพัก และเทวัตถุดิบอาหารเข้าไปให้หมด

3. เมื่อครบระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังการป้อนอาหาร ทำการเก็บมูล นำมูลทั้งหมดไปอบให้แห้ง และบดเพื่อนำไปวัดค่าพลังงานโดยใช้เครื่อง Bomb calorimeter

วิธีการคำนวณ

$$\text{TME (kcal/g)} = [(\text{G.E.f} \times X) - (\text{Yef} - \text{Yec})]/X$$

G.E.f = ค่าพลังงาน Gross energy ของวัตถุดิบอาหาร (kcal/g)

Yef = ค่าพลังงาน Gross energy ของมูลในไก่ที่ได้รับการ forced feed

Yec = ค่าพลังงาน Gross energy ของมูลในไก่ที่ไม่ได้รับการ forced feed

X = น้ำหนักวัตถุดิบอาหารที่ใช้ forced feed

3. การวิเคราะห์ค่ายูเรียไนโตรเจนในเลือด (Blood urea nitrogen, BUN) (Annino and Giese, 1976)

ทำการวัดค่ายูเรียไนโตรเจนในเลือดด้วยวิธี Direct conensation method ยูเรียในซีรัมทำปฏิกิริยากับ diacetylmonoxime ในสารละลายที่เป็นกรด ได้แก่ diazine derivative ซึ่งมีสีชมพูให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

วัสดุและอุปกรณ์

1. ไมโครปิเปตต์ขนาด 20 100 และ 1,000 ไมโครลิตร
2. หลอดทดลองฝาเกลียว (screw cap tube)
3. เครื่องให้ความร้อน (hot plate)
4. คิวเวท
5. เครื่อง Spectrophotometer

สารเคมี

1. Stock ferric chloride – phosphoric acid reagent

ละลาย $FeCl_3 6H_2O$ จำนวน 15 กรัม ในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร เติม H_3PO_4 (85%) จำนวน 300 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปรับปริมาตรให้ครบ 450 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีน้ำตาล

2. Acid reagent

ผสม conc. H_2SO_4 จำนวน 150 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติม stock ferric chloridephosphoric acid reagent จำนวน 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

3. Acid reagent

ผสม conc. H_2SO_4 จำนวน 150 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติม stock ferric chloridephosphoric acid reagent จำนวน 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

4. Color reagent

ละลาย diacetyl monoxime จำนวน 1.7 กรัม และ thiosemicarbazide จำนวน 0.3 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิกรัม ผสมให้เข้ากัน ปรับปริมาตรจนครบ 1,000 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง เก็บในขวดสีน้ำตาล

5. Stock BUN standard ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์

ละลาย urea จำนวน 214.2 มิลลิกรัม ใน 0.1 N HCl ปรับให้ได้ 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C

6. Working BUN standard

ละลาย stock BUN standard ด้วย 0.1 N HCl ให้มีความเข้มข้น 10 20 30 และ 40 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C

วิธีการ

1. ดูดซีรัม หรือ BUN standard (10, 20, 30 และ 40 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ หรือดูดน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร) ลงในหลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 16 × 125 มิลลิเมตร
2. เติมสาร color reagent ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
3. เติมสาร acid reagent ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปิดฝาให้สนิท
4. ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาแช่ในน้ำแข็งเป็นเวลา 5 นาที
5. วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่อง spectrophotometerที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยใช้ tube blank ปรับให้ค่าดูดกลืนแสงเป็น 0

ตารางที่ ก.1 วิธีการวิเคราะห์ยูเรียไนโตรเจนในเลือด

สารที่เติม	**Blank**	**Standard**	**Unknown**
น้ำกลั่น (ไมโครลิตร)	20	–	–
standard (ไมโครลิตร)	–	20	–
unknown (ไมโครลิตร)	–	–	20
color reagent (มิลลิลิตร)	3.0	3.0	3.0
acid reagent (มิลลิลิตร)	2.0	2.0	2.0

วิธีการคำนวณ

การหาความเข้มข้นโดยการอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

หมายเหตุ

1. สารประกอบที่มีสูตรโครงสร้างเป็น R1– NH – CO – NH – R2 โดย R1 เป็น H หรือ Single aliphatic redical และ R2 ไม่ใช่ acylredical สามารถเกิดปฏิกิริยากับ diacetyl monoxime
2. Ferric chloride เป็น oxidizing agent หน้าที่กำจัด hydroxylamine และจะสามารถใช้ potassium persulfate, arsenic acid, perchloric acid, cations (Cu_2+, Sb_3+, Mn_2+, Cd_2+) แทนได้
3. Thiosemicarbazide ทำให้สี Diazine derivative เข้มขึ้น และจะสามารถใช้สาร phenyl anthranilic acid หรือ glucuronolactone แทนได้
4. สีของ diazine derivative มีความคงตัวประมาณ 10 – 15 นาที
5. ยูเรียในซีรัมมีความคงตัวที่อุณหภูมิห้องได้นานอย่างน้อย 1 วัน ถ้าไว้ที่อุณหภูมิ 4°C จะอยู่ได้หลายวัน และถ้าต่ำกว่า 0°C จะอยู่ได้นาน 5 เดือน
6. ซีรัมที่มีฮีโมโกลบิน และบิลิรูบินปนอยู่เล็กน้อย จะไม่รบกวนการตรวจวัดการคำนวณ stock BUN standard solution จากสูตรของยูเรียมีดังนี้ คือ NH_2– CO – NH_2 โดยที่น้ำหนักอะตอมของ

N = 14, C = 12, O = 16 และ H = 1 เมื่อต้องการยูเรียจำนวน 28 มิลลิกรัม ต้องชั่งยูเรีย 60 มิลลิกรัม ดังนั้นถ้าต้องการยูเรีย 100 มิลลิกรัม ต้องชั่งยูเรียเท่ากับ (60 × 100) × (1/28) = 214.2 มิลลิกรัม

4. การวิเคราะห์คอเลสเตอรอลในเลือด (Allain et al., 1974)

คอเลสเตอรอล และ esterified ในตัวอย่าง จะทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการของการเกิดปฏิกิริยาโดยการจับคู่ซึ่งอธิบายไว้ด้านล่าง และวัดได้โดยเครื่อง spectrophotometer

หลักการตรวจวิเคราะห์ Enzyme colorimetric method

Cholesterol ester -------------- CE --------------> Cholesterol + Fatty acid

Cholesterol + O_2 + H_2O -------------- CO----------------> Cholestenone + H_2O_2

$2H_2O_2$ + DEA.HCE/AAP -------------HPO---------> $4H_2O$ + Oxidized DEA – HCL/AAP

อธิบายหลักการเกิดปฏิกิริยา

1. Enzyme cholesterol esterase (CE) จะเป็นตัว catalyze ในปฏิกิริยา Hydrolysis ของ cholesterol esters เกิด free cholesterol และ fatty acid

2. Free cholesterol จะถูก oxidize โดย Cholestero oxidase (CO) เพื่อสร้าง Cholest – 4 – ENE – 3 – ONE + H_2O_2 และ Hydrogen peroxide (H_2O_2)

3. ในภาวะที่มี Horseradish peroxidase (HPO) H_2O_2 ที่เกิดขึ้นจะถูกใช้ในการ Oxidize N Diethylanine – HCE/4 – aminoantipyrine (DEA – HCE/AAP) เกิดสาร Chromophore ที่ดูดกลืนแสงที่ 500 nm การดูดกลืนแสงเนื่องจากการ Oxidize DEA – HCE/AAP เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข็มข้นของ Total cholesterol ในตัวอย่าง

สารเคมี

สารประกอบ reagent ประกอบด้วยสารดังต่อไปนี้

– Sodium cholate	3 mmol/liiter
– 4 – Aminoantipyrine	0.82 mmol/liiter
– Phenol	10 mmol/liiter
– Na_2HP0_4	50 mmol/liiter
– NaH_2PO_4	50 mmol/liiter
– Carbowax – 6000	0.17 mmol/liiter
– Cholesterol ester hydrolase	33 U/liter
– Cholesterol oxidase	117 U/liter
– Peroxidase	67000 U/liter (pH 6.70 ± 0.10, 25°C)

ตารางที่ ก.2 ค่าของระดับคอเลสเตอรอลในเลือด

ระดับคอเลสเตอรอลโดยรวม	ผลประเมินเบื้องต้น
น้อยกว่า 200 mg/dl	เหมาะสม
ระหว่าง 200 – 239 mg/dl	ไขมันเริ่มจะสูง
มากกว่า 240 mg/dl	ไขมันสูง

วิธีการ

1. เก็บตัวอย่างพลาสมาหรือซีรัมไว้ที่อุณหภูมิ 2 – 8°C
2. นำตัวอย่างซีรัมหรือพลาสมาปริมาณ 30 มิลลิโมลต่อลิตร บ่มร่วมกับสารประกอบ reagent จำนวน 3 มิลลิลิตรเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 37°C
3. วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร โดยใช้ tube blank ปรับให้ค่าดูดกลืนแสงเป็น 0
4. เปรียบเทียบความเข้มของสีในตัวอย่างซีรัมกับสารประกอบ reagent โดยจะมีความเสถียรภาพที่ประมาณ 90 นาที

วิธีการคำนวณ

การหาความเข้มข้นโดยการอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

หมายเหตุ ข้อจำกัดของการตรวจ และ Interfering substance

1. Bilirubin ที่สูงจำทำให้ค่าคอเลสเตอรอลลดลง
2. Potassium Oxalate หรือ Sodium Fluoride สามารถทำให้ค่าของคอเลสเตอรอลลดลง
3. Li – Heparin สามารถทำให้ค่าคอเลสเตอรอลที่ 200 mg/dl ลดลงโดยเฉลี่ย 4 mg/dl

5. 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

   – Sodium salicylate (Anhydrous) จำนวน 32 กรัม

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

   – 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 standard (1,000 ppm)

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

ตารางที่ ก.3 วิธีการเตรียมสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน

ความเข้มข้น (ppm)	**ปริมาณ Ammonium standard (มิลลิลิตร)**	**Li_2CO_3 (มิลลิลิตร)**
0	0.00	50.00
5	0.25	49.75
10	0.50	49.50
20	1.00	49.00
40	2.00	48.00

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 ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียวพยายาม อย่าให้สารละลายติดบริเวณขอบหลอดทดลอง

3. เติมสาร Salicylate reagent จำนวน 4 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง vortex
4. เติมสาร Hypochlorite จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง vortex วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
5. วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 68 นาโนเมตร โดยใช้ tube blank ปรับให้ค่าดูดกลืนแสงเป็น 0

วิธีการคำนวณ

การหาความเข้มข้นโดยการอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

6. 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 200 ไมโครลิตร ลงในไมโครทิว
2. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex
3. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 × g เป็นระยะเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C
4. ดูดส่วนใสด้านบนมาใส่ในขวดแก้วขนาดเล็กสีชา (vial)
5. นำไปฉีดด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (gas chromatography)

7. การตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ *E. coli, Bifidobacterium spp* และ *Lactobacillus spp.* (Michael and Burtor, 1995) เพาะเลี้ยงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง

เป็นวิธีการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์เฉพาะที่มีชีวิตอยู่จริง และสามารถเพิ่มจำนวนเป็นจุดโคโลนีได้ในอาหารวุ้น 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 (ten – fold serial dilution) ทุกขั้นตอนต้องดำเนินภายใต้สภาพปลอดเชื้อ

วัสดุและอุปกรณ์

1. จานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ (MCK agar, Reinforced Clostridial 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 ชนิดผง โดยชั่งน้ำหนักอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 50.00 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร ปิดผา และนึ่งในหม้อนึ่งที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลานาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ความร้อนลดลงจนมือจับได้ จึงนำมาเทลงในจานเพาะเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

2. Reinforced Clostridial Agar เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะสำหรับที่ใช้ในการทดสอบหาจุลินทรีย์ *Bifidobacterium spp.* สามารถเตรียมได้จาก Reinforced Clostridial agar ชนิดผง โดยชั่งน้ำหนักอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 51.00 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร ปิดผา และนึ่งในหม้อนึ่งที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที จนกระทั่งละลายเป็นเนื้อเดียวกันหมด สังเกตจากอาหารมีลักษณะ

ใสไม่มีเม็ดอาหารติดอยู่ข้างขวด ตั้งทิ้งไว้ให้ความร้อนลดลงจนมือจับได้ จึงนำมาเทลงในจานเพาะเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

3. Lactobacillus MRS Broth (MRS Broth) เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะสำหรับที่ใช้ในการทดสอบหาจุลินทรีย์ *Lactobacillus spp.* สามารถเตรียมได้จาก MRS Broth ชนิดผง โดยชั่งน้ำหนักอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 55.15 กรัม และผงวุ้น 15.0 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร ปิดผา และนึ่งในหม้อนึ่งที่อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ความร้อนลดลงจนมือจับได้ จึงนำมาเทลงในจานเพาะเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

การเพาะเชื้อ

1. เจือจางตัวอย่างโดยชั่งตัวอย่างซึ่งในการทดลองนี้ คือ 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) บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม (cecum) ที่เหมาะสมของเชื้อ *E. coli* คือ ที่ระดับความเข้มข้น 10^{-2} และ 10^{-3} เชื้อ *Lactobacillus spp.* คือ ที่ระดับความเข้มข้น 10^{-6} และ 10^{-7} เท่าตามลำดับ และเชื้อ *Bifidobacterium spp.* คือ ที่ระดับความเข้มข้น 10^{-5} และ 10^{-6} เท่าตามลำดับ

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

3. ทำการบ่มเชื้อ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

– เชื้อ *E. coli* นำจานเลี้ยงเชื้อ (plate) บรรจุในถุงพลาสติกและบ่มในตู้บ่มเชื้ออุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

– เชื้อ *Lactobacillus spp.* นำจานเลี้ยงเชื้อ (plate) บรรจุในถุงพลาสติกและทำการใส่ anaerobic gas pack เพื่อรักษาสภาพไร้ออกซิเจน จากนั้นบ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

– เชื้อ *Bifidobacterium spp.* นำจานเลี้ยงเชื้อ (plate) บรรจุในถุงพลาสติกและทำการใส่ anaerobic gas pack เพื่อรักษาสภาพไร้ออกซิเจน จากนั้นบ่มในตู้บ่มเชื้ออุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

การนับโคโลนี

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

วิธีการคำนวณ

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (cfu/มิลลิลิตร) = [(จำนวนโคโลนีที่นับได้ × ระดับความเจือจาง)] × (1/ปริมาณตัวอย่าง)

การกำจัดเชื้อ

เป็นการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์หลังจากเลี้ยงเชื้อหรือกำจัดวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยนึ่งในหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที

8. การวิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงทำตามวิธีของ (Rowe et al., 1999)

วัสดุและอุปกรณ์

1. ขวดก้นกลม (round bottom flask)
2. เครื่องสกัดแบบไหลกลับ (reflux)
3. ขวดรูปกรวย (erlenmeyer flask)
4. กรวย (funnel)
5. ปิเปตต์ ขนาด 0.1 และ 1.0 มิลลิลิตร
6. Glass beat
7. หลอดทดลองฝาเกลียว
8. ขวดแก้วขนาดเล็กสีชา (vial)

สารเคมี

1. เติม chloroform – methanol – isopropanal (90 : 5 : 5)
2. 60% KOH
3. Hexane
4. cholestane ใน hexane (0.1mg/ml)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัมใส่ลงในขวดก้นกลม (round bottom flask)
2. เติมสารผสม ethanol – methanol – isopropanol (90 : 5 : 5) ปริมาณ 4 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 กรัม
3. เติม 60% KOH ปริมาณ 1 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 กรัม
4. ทำการสกัดแบบไหลกลับ (reflux) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
5. เติม hexane ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เขย่า 10 นาที และเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร เขย่าอีก 15 นาที แล้วทิ้งไว้ จนสังเกตเห็นการแยกชั้นของสารละลายอย่างชัดเจน
6. รอให้แยกชั้นไขมันชั้นล่างออก ให้เหลือชั้น hexane (ชั้นบน) ใส่ใน flask
7. ดูดส่วนดังกล่าวปริมาณ 15 มิลลิลิตร มาทำให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน
8. นำสารส่วนที่แห้งมาละลายด้วยสารมาตรฐานภายใน (internal standard) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นสาร hexane ที่ประกอบด้วย 5α – cholestane เข้มข้น 0.1 mg/ml
9. ดูดสารใส่ขวดแก้วขนาดเล็ก (vial) นำไปวิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลด้วยก๊าซโครมาโตกราฟี (gas chromatography) (Hewlett Packard, HP 6890 series GC)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวลัดดาวัลย์ หอกกิ่ง เกิดเมื่อวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2530 ที่อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย 2 อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตรในปีการศึกษา 2552 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา หลังจากนั้นในปีการศึกษา 2553 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี