



## รายงานการวิจัย

การสกัดและการประเมินใยอาหารที่ได้จากกากมันสำปะหลังและ  
กากมันเอทานอลเป็นสารเสริมสำหรับไก่เนื้อและไก่ไข่  
(Extraction and evaluation dietary fiber from cassava pulp and  
dried cassava distillers as feed additive  
for broilers and laying hens)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

การสกัดและการประเมินใยอาหารที่ได้จากกากมันสำปะหลังและ  
กากมันเอทานอลเป็นสารเสริมสำหรับไก่เนื้อและไก่ไข่  
(Extraction and evaluation dietary fiber from cassava pulp and  
dried cassava distillers as feed additive  
for broilers and laying hens)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผศ. ดร. สุธิตา เข้มผะกา

สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผศ. ดร. วิทวัช โมฬี

นายเพลิน เมินกระโทก

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มกราคม 2563

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2560 ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อใช้ในงานทดลอง ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณ คุณสุภัตรา โอกระโทก คุณเมริษา ศิริโสภาพงษ์ และคุณพชรพล พระศรี ที่ได้ทำหน้าที่ผู้ช่วยวิจัย และจัดทำรายงานฉบับนี้ด้วย

สุทิสรา เข้มพะกา

2 มกราคม 2563



## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะการสกัดและการดัดแปลงโยอาอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม การประเมินผลของการเสริมโยอาอาหารดัดแปลงในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่

การทดลองที่ 1 ศึกษาสภาวะการสกัดและการดัดแปลงโยอาอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอล โดยศึกษาสภาวะการสกัดโยอาอาหารใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (2, 4, 6 และ 8%) และประเมินองค์ประกอบของโยอาอาหารที่สกัดได้โดยใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared; FTIR) ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโยอาอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลคือการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 6% และ 4% ตามลำดับ โดยสภาวะดังกล่าวสามารถสกัดปริมาณโยอาอาหารทั้งหมด และโยอาอาหารที่ไม่ละลายน้ำได้ผลผลิตสูงสุด ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณโยอาอาหารด้วย FTIR และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principle component analysis; PCA) ที่พบการกระจายของสเปกตรัมแยกจากกันอย่างชัดเจน สำหรับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปลงโยอาอาหารที่ได้จากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลสและไซลานเนสที่อัตราส่วน 0:0, 9:3, 36:12 และ 72:24 U/g substrate พบว่าโยอาอาหารจากกากมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพดีกว่ากากมันเอทานอล อัตราส่วนเอนไซม์ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงโยอาอาหารจากกากมันสำปะหลัง คือ 36:12 U/g substrate โดยสภาวะการย่อยดังกล่าวพบว่ามีปริมาณน้ำตาลรีดิซ (D-glucose) น้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลไมรีดิซ (D-xylose) สูงที่สุด นอกจากนี้เมื่อทำการทดสอบการหมักในหลอดทดลองพบว่าสามารถเพิ่มประชากรจุลินทรีย์ *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* เพิ่มความเข้มข้นของกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก และลดค่าความเป็น pH หลังการบ่มที่ 24 ชั่วโมง

การทดลองที่ 2 ศึกษาหาระดับที่เหมาะสมในการเสริมโยอาอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ ใช้ไก่เนื้อเพศผู้อายุ 21 วัน จำนวน 84 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 7 ซ้ำ (3 ตัวต่อกรง) เลี้ยงบนกรงการย่อยได้ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ อาหารทดลองมี 4 กลุ่ม (กลุ่มควบคุม และกลุ่มเสริมโยอาอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง 0.5, 1.0 และ 1.5%) ซึ่งอาหารทดลองทุกสูตรถูกผสมด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ 0.3% เพื่อเป็นสารดัชนีบ่งชี้ ไก่จะได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ตลอดการทดลอง จากนั้นสุ่มเก็บมูลเป็นระยะเวลา 3 วัน (ที่ไก่อายุ 26–28 วัน) ผลการทดลองพบว่า การเสริมโยอาอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 1.0% ส่งผลให้การย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ และไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการสะสมไนโตรเจน

การทดลองที่ 3 ศึกษาการตอบสนองของไก่เนื้อต่อโยอาอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง ใช้ไก่เนื้อเพศผู้ (Ross 308) อายุ 1 วัน จำนวน 336 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 7 ซ้ำ ๆ ละ 12 ตัว ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ อาหารทดลองมี 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม และกลุ่มเสริมโยอาอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง 3 ระดับ คือ 0.5 1.0 และ 1.5% ไก่จะได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ตลอดการทดลองเป็นเวลา 42 วัน โดยพบว่าโยอาอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นแหล่งโยอาอาหารในอาหารไก่เนื้อได้ โดย

ไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการผลิต การเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง 1.0% ในอาหารไก่เนื้อสามารถส่งเสริมการทำงานของกระเพาะปัสสาวะ ลดไขมันในช่องท้อง เพิ่มจำนวนประชากร Lactic acid bacteria (LAB) และ *Bifidobacterium* spp. ในซีกัม เพิ่มความเข้มข้นของกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก ลดการผลิตแอมโมเนีย อย่างไรก็ตามใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังไม่มีผลต่อการทำงานของอิมมูโนโกลบูลินและไลโซไซม์ในซีรัม นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการลดคอเลสเตอรอลในซีรัม เนื้อไก่ และตับของไก่เนื้อ โดยสรุปการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อที่ 1.0% มีความเหมาะสมที่สุด

การทดลองที่ 4 ศึกษาการตอบสนองของไก่ไข่ต่อการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังใช้ไก่ไข่สายพันธุ์การค้ำ (ISA brown) จำนวน 32 ตัว เลี้ยงบนกรงขังเดี่ยวและสุ่มไก่ไข่ออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 8 ตัว ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ อาหารทดลองมี 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม และกลุ่มเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง 3 ระดับ คือ 0.5 1.0 และ 1.5% ไก่จะได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ตลอดการทดลองเป็นเวลา 20 วัน ทำการเก็บมูลในช่วงวันที่ 8–10 ของการทดลองเพื่อนำไปประเมินการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนา ผลการทดลองพบว่าการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 1.0% ไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ และการสะสมไนโตรเจน อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้น (1.5%) ส่งผลให้การย่อยได้ของสิ่งแห้งลดลง นอกจากนี้การเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1.0–1.5% ในอาหารไก่ไข่สามารถลดค่า pH ในกระเพาะปัสสาวะ และส่งเสริมการผลิตกรดไขมันสายสั้นในซีกัม อย่างไรก็ตามใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังไม่มีผลต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตแอมโมเนียในซีกัม โดยสรุปการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ที่ 1.0% มีความเหมาะสมที่สุด



## ABSTRACT

This study aimed to investigate the optimal conditions for extraction and modification of dietary fiber from dried cassava pulp (DCP) and cassava distiller's dried grains (CDG), and to evaluate the effects of modified-dietary fiber supplementation in broiler diets.

Experiment 1: Study on the conditions for extraction and modification of dietary fiber from DCP and CDG. The extraction conditions of dietary fiber treated with NaOH solution (2, 4, 6 and 8%) were studied. Fourier Transform Infrared (FTIR) was used to determine dietary fiber components. The results showed that the optimal condition for extracting fiber from DCP and CDG were under treated with 6% and 4% NaOH solution, respectively. These conditions yielded the highest contents of total dietary fiber (TDF) and insoluble dietary fiber (IDF). The results were associated with the semi-quantitative analysis of FTIR spectra integration and principal component analysis (PCA), with clearly separated spectral distribution. Study on the optimal conditions for modifying dietary fiber derived from DCP and CDG treated with cellulase and xylanase ratio at 0:0, 9:3, 36:12 and 72:24 U/g substrate. It revealed that dietary fiber from DCP was more efficient than CDG. The cellulase : xylanase ratio at 36:12 U/g substrate possessed an optimum level of modification dietary fiber from DCP. This condition generated the highest reducing sugar (D-glucose), total sugar and non-reducing sugar (D-xylose) contents. In addition, it also enhanced the *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* populations, SCFA and lactic acid concentrations and reduced the pH value after 24 hours of incubation.

Experiment 2: Study on the optimal supplementation level of modified-dietary fiber from DCP (M-DFCP) in diets on nutrient digestibility and utilization of broilers. A total of 84 twenty-one-day-old, male broiler chickens were allotted into 4 groups, with 7 replicates of 3 birds per metabolic cages in a Completely Randomized Design (CRD). Four dietary treatments consisted of control and 0.5, 1.0 and 1.5% of M-DFCP with mixed 0.3% titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) as indicator in all diets. Feed and water were provided ad libitum throughout the experimental period. The excreta were collected in the last three days of the experimental period (at 26–28 days of age). The results showed that the inclusion of 1.0% M-DFCP in broiler diets can enhance dry matter, organic matter and fat digestibilities, but showed no effect on nitrogen retention.

Experiment 3: The responses of broilers to M-DFCP were studied. A total of 336, one-day-old male broiler chickens (Ross 308) were allocated to 4 groups in 7 replicate pens with 12 chicks each in a CRD. Four dietary treatments composed of control and 3 M-DFCP inclusion levels: 0.5, 1.0 and 1.5%. Feed and water were provided ad libitum for 42 days. It indicated

that the M-DFCP can be used as dietary fiber in broiler diets without reducing productive performances. The inclusion of 1.0% M-DFCP in broiler diet possessed positive effects of enhancing gizzard function, reducing abdominal fat, increasing cecal LAB and *Bifidobacterium* spp. populations, enhancing SCFA and lactic acid concentrations, and reducing ammonia production. However, the M-DFCP showed no effects on serum total immunoglobulin and lysozyme activity. Moreover, the M-DFCP showed the potential effects of lowering cholesterol in serum, meat, and liver of broilers. In conclusion, the optimal inclusion level of M-DFCP in broiler diets should be 1.0%.

Experiment 4: The responses of laying hens to M-DFCP were studied. A total of 32 laying hens (ISA brown) were placed in individual cages and randomly allocated to 4 groups with 8 replicates in a CRD. Four dietary treatments composed of control and 3 M-DFCP inclusion levels: 0.5, 1.0 and 1.5%. Feed and water were provided ad libitum for 20 days. The excreta were collected on days 8 to 10 of the experimental period and then were measured for nutrient digestibility and retention. The results showed that the inclusion level of 1.0% M-DFCP in laying hen diets showed no negative effects on dry matter digestibility, organic matter digestibility and nitrogen retention. However, when M-DFCP was used at higher level (1.5%) resulted in decreased dry matter digestibility. In addition, the inclusion of M-DFCP at 1.0–1.5% in laying hen diets had positive effects on gizzard pH reduction and SCFA concentrations enhancement, while it showed no effects on cecal microbial populations and ammonia production. In conclusion, the optimal inclusion level of M-DFCP in laying hen diets suggested to be 1.0%.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ .....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ง
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ณ
สารบัญภาพ .....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	3
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย .....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย .....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โยอาหาร หรือ dietary fiber .....	4
2.2 บทบาทและความสำคัญของโยอาหารในสัตว์ปีก .....	5
2.3 องค์ประกอบของโยอาหารในกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล .....	7
2.4 การสกัดและการตัดแปลงโยอาหาร .....	9
2.5 ผลของการเสริมโยอาหารต่อการผลิตสัตว์ปีก .....	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาหาวิธีสกัดและตัดแปลงโยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล .....	16
3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของโยอาหารตัดแปลงในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ .....	22
3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของโยอาหารตัดแปลงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะสัณฐานวิทยาของทางเดินอาหาร ประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร ส่วนท้าย การผลิตกรดไขมันสายสั้น การผลิตแอมโมเนีย ค่าทางชีวเคมีของโลหิต และปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อไก่ .....	26
3.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาผลของโยอาหารตัดแปลงในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนท้าย การผลิตกรดไขมันสายสั้นและการผลิตแอมโมเนีย .....	33



บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของการสกัดและการดัดแปลงโยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลเพื่อผลิตโยอาหารที่มีความเหมาะสมสำหรับเป็นสารเสริมในอาหารสัตว์ปีก .....	37
4.1.1 องค์ประกอบของโยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ .....	37
4.1.2 FTIR spectra ของโยอาหารที่สกัดจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล ...	38
4.1.3 การวิเคราะห์ PCA .....	40
4.1.4 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของโยอาหารและโยอาหารดัดแปลง .....	42
4.1.5 ผลของการหมักโยอาหารและโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลในหลอดทดลอง ( <i>in vitro</i> fermentation) .....	44
4.2 ผลของโยอาหารดัดแปลงในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ .....	48
4.2.1 ผลของโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ .....	48
4.3 ผลของโยอาหารดัดแปลงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะสัญญาณวิทยาของทางเดินอาหาร ประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนท้าย การผลิตกรดไขมันสายสั้น การผลิตแอมโมเนีย ค่าทางชีวเคมีของโลหิต และปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อไก่ ....	49
4.3.1 ผลของโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต น้ำหนักอวัยวะของทางเดินอาหาร และลักษณะทางจุลกายวิภาคในลำไส้เล็ก .....	49
4.3.2 ผลของโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตกรดไขมันสายสั้น กรดแลคติกและแอมโมเนียในซีกัม ....	52
4.3.3 ผลของการเสริมโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อค่าทางโลหิตวิทยาและการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน .....	55
4.3.4 ผลของโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อและตับ .....	55
4.4 ผลของโยอาหารดัดแปลงในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ จำนวนประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันสายสั้น และการผลิตแอมโมเนีย .....	57
4.4.1 ผลของโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ .....	57
4.4.2 ผลของโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อค่า pH และน้ำหนักของกระเพาะบด .....	58

	หน้า
4.4.3 ผลของใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อจำนวน ประชากรจุลินทรีย์ ปริมาณกรดไขมันสายสั้น และแอมโมเนียในซีกัม .....	59
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	61
บรรณานุกรม .....	62
ประวัติผู้วิจัย .....	71



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แหล่งของใยอาหารและโครงสร้างทางเคมีของใยอาหารชนิดต่าง ๆ .....	6
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล .....	8
ตารางที่ 2.3 วิธีการสกัดใยอาหาร .....	9
ตารางที่ 2.4 วิธีการดัดแปลงใยอาหาร .....	10
ตารางที่ 2.5 ผลของการเสริมใยอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต .....	12
ตารางที่ 2.6 ผลของการเสริมใยอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะ .....	13
ตารางที่ 2.7 ผลของการเสริมใยอาหารต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม .....	14
ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลที่ใช้ในการทดลอง .....	16
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของเอนไซม์ที่ใช้ในการปรับปรุงโครงสร้างหรือดัดแปลงใยอาหารจากกากมัน สำปะหลังและกากมันเอทานอล .....	17
ตารางที่ 3.3 การกำหนดช่วงความยาวคลื่นในการจำแนกสเปกตรัมอินฟราเรดของใยอาหาร .....	19
ตารางที่ 3.4 ใยอาหารและอัตราส่วนของเอนไซม์ของตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาการหมักในหลอด ทดลอง .....	21
ตารางที่ 3.5 องค์ประกอบทางเคมีของใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง ...	23
ตารางที่ 3.6 ส่วนประกอบของสูตรอาหารในการทดลองที่ 3.2 (as-fed basis) .....	25
ตารางที่ 3.7 ส่วนประกอบของสูตรอาหารในการทดลองที่ 3.3 (as-fed basis) .....	28
ตารางที่ 3.8 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารในการทดลองที่ 3.3 (as-fed basis) .....	29
ตารางที่ 3.9 ไพรมเมอร์สำหรับการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์จากซีกัมของไก่เนื้อโดยเทคนิค qPCR .....	32
ตารางที่ 3.10 ส่วนประกอบของสูตรอาหารในการทดลองที่ 3.4 (as-fed basis) .....	35
ตารางที่ 4.1 ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของ ใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลที่สกัดด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ .....	38
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ FTIR spectra ของใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอธา นอลในรูปของสัดส่วนของกลุ่มฟังก์ชัน (FTIR spectra integration) .....	40
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมัน เอทานอลที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเอนไซม์ .....	46
ตารางที่ 4.4 ประชากรจุลินทรีย์ <i>Lactobacillus Bifidobacterium</i> และ <i>E. coil</i> (log CFU/ml) ความเข้มข้นของกรดไขมันสายสั้นและกรดแลคติก (mM/ml) และค่า pH หลังการ หมักใยอาหารในหลอดทดลอง .....	47

	หน้า
ตารางที่ 4.5 ผลของใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ .....	48
ตารางที่ 4.6 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต .....	50
ตารางที่ 4.7 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อค่า pH ของกระเพาะบด น้ำหนักอวัยวะของทางเดินอาหาร และการสะสมไขมันช่องท้อง .....	51
ตารางที่ 4.8 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อลักษณะทางจุลกายวิภาคในลำไส้เล็กส่วนเจริญ .....	52
ตารางที่ 4.9 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อปริมาณกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติกจากสิ่งย่อยในซีกัม .....	54
ตารางที่ 4.10 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อค่าทางโลหิตวิทยา และการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน .....	56
ตารางที่ 4.11 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ .....	58
ตารางที่ 4.12 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อค่า pH และน้ำหนักของกระเพาะบด .....	59
ตารางที่ 4.13 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในซีกัม ปริมาณของกรดไขมันสายสั้นและแอมโมเนียจากสิ่งย่อยในซีกัมของไก่ไข่ .....	60

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 การจำแนกองค์ประกอบของใยอาหาร .....	4
ภาพที่ 2.2 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหาร .....	7
ภาพที่ 2.3 บทบาทของเยื่อใยต่อการลดคอเลสเตอรอล .....	7
ภาพที่ 2.4 ผลของใยอาหารไม่ละลายน้ำต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร .....	15
ภาพที่ 2.5 ปริมาณกรดไขมันสายสั้นจากการหมักอาหารเยื่อใย .....	15
ภาพที่ 4.1 FTIR spectra ของใยอาหารจากกากมันสำปะหลังที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8% .....	39
ภาพที่ 4.2 FTIR spectra ของใยอาหารจากกากมันเอทานอลที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8% .....	39
ภาพที่ 4.3 ค่า PCA จากการวิเคราะห์ FTIR spectra ของใยอาหารจากกากมันสำปะหลังที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8% .....	42
ภาพที่ 4.4 ค่า PCA จากการวิเคราะห์ FTIR spectra ของใยอาหารจากกากมันเอทานอลที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8% .....	42
ภาพที่ 4.5 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ .....	53
ภาพที่ 4.6 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อปริมาณแอมโมเนียจากสิ่งย่อยในซีกัมและมูล .....	55
ภาพที่ 4.7 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้ออก เนื้อสะโพก และตับของไก่เนื้อ .....	57

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

อุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ปีกเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย และมีแนวโน้มการผลิตที่ปรับตัวเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งผู้ผลิตได้มีการนำองค์ความรู้ใหม่ในด้านต่าง ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยให้ความสำคัญที่ผลผลิตต้องมีคุณภาพตรงตามความต้องการของผู้บริโภค และได้มาตรฐานตามข้อกำหนดต่าง ๆ และมีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งจากมาตรการการห้ามใช้ยาปฏิชีวนะเสริมในอาหารสัตว์เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต (antibiotic growth promoter, AGPs) ส่งผลให้สัตว์ปีกเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคหรือการอักเสบของลำไส้เพิ่มขึ้น และลดประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (Yang et al., 2009; Mateos et al., 2012; Kheravii et al., 2018a) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาหรือการสร้างสูตรอาหารสัตว์ปีกที่มุ่งเน้นต่อการส่งเสริมสุขภาพลำไส้ (gut health) และการพัฒนาของระบบทางเดินอาหาร (gastrointestinal tract, GIT) เพื่อช่วยให้การผลิตสัตว์ปีกมีประสิทธิภาพการผลิตที่ดี (Kheravii et al., 2018a; Jacquier et al., 2019) ดังนั้นสารเสริมอาหารสัตว์ (feed additive) ทางเลือกหลายชนิด เช่น โพรไบโอติก (probiotics) พรีไบโอติก (prebiotics) และกรดอินทรีย์ (organic acids) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อส่งเสริมและพัฒนาสุขภาพลำไส้ของสัตว์ปีก ซึ่งใยอาหาร (dietary fiber) เป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ越来越多的ความสนใจมากขึ้นและเป็นอาหารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (functional feed) ทำหน้าที่ในการส่งเสริมสุขภาพ และปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ของสัตว์ปีกให้ดีขึ้น

ใยอาหารเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้างที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharides, NSPs) ซึ่งทนต่อการย่อยของเอนไซม์ในทางเดินอาหารของสัตว์ปีก NSPs เหล่านี้พบได้ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ประกอบด้วย เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เพคติน (pectin) และลิกนิน (lignin) เป็นต้น (Dhingra et al., 2012; Knudsen, 2014; Choct, 2015) ใยอาหารสามารถจำแนกออกเป็นสองชนิด คือ ใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber, SDF) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber, IDF) ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้แตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยโครงสร้างคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพที่ต่างกันของใยอาหารทั้งสองชนิด จึงทำให้มีบทบาทต่อตัวสัตว์ที่ต่างกัน (Michard, 2011) จากการรวบรวมเอกสารพบว่าใยอาหารมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบทางเดินอาหาร เพิ่มการทำงานของกระเพาะบด (gizzard) กระตุ้นการผลิตเอนไซม์ย่อยอาหาร และปรับปรุงการย่อยได้ของสารอาหาร ปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ซึ่งท้ายที่สุดจะส่งผลดีต่อสุขภาพสัตว์ และประสิทธิภาพการผลิต (Sarikhani et al., 2010; Kalmendal et al., 2011a; Mateos et al., 2012; Walugembe et al., 2015) ใยอาหารจะถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในทางเดินอาหารส่วนท้ายได้ผลิตเป็นกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acids, SCFA) และกรดแลคติก (lactic acid) ซึ่งมีผลในการช่วยปรับสมดุลของประชากรจุลินทรีย์ ส่งเสริมสุขภาพลำไส้ และการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน (van der Wielen et al., 2000; Józefiak et al., 2004; Dunkley et al.,

2007; Krás et al., 2013; Sabour et al., 2018) นอกจากนี้ยังพบว่าใยอาหารมีบทบาทต่อการลดการสะสมไขมันช่องท้องและคอเลสเตอรอลในเนื้อสัตว์ และลดการผลิตแอมโมเนียในมูลของสัตว์ปีก (Saki et al., 2011; Roberts et al., 2007) ใยอาหารจัดเป็นสารเสริมอาหารสัตว์ชนิดที่ไม่ได้จัดอยู่ในพวกอาหารหลัก แต่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะอย่างคือ ส่งเสริมสุขภาพลำไส้และการพัฒนาของระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก

ปัจจุบันมีแนวโน้มการใช้ใยอาหารที่สกัดได้จากพืชธรรมชาติเพื่อเป็นสารเสริมอาหารสัตว์ โดยแหล่งของใยอาหารสำหรับอาหารสัตว์ที่น่าสนใจคือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร เช่นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมมันสำปะหลังในรูปของกากมันสำปะหลัง (cassava pulp) และกากมันเอทานอล (cassava distiller's dried grains) ซึ่งในแต่ละปีจะมีปริมาณกากมันสำปะหลังประมาณ 2-3 ล้านตัน และกากมันเอทานอลประมาณ 1 ล้านตัน ดังนั้นการสกัดใยอาหารจากวัตถุดิบทั้งสองชนิดนี้จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากผลพลอยได้เหล่านี้มี NSPs เป็นองค์ประกอบที่สูงซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลส และไซลแลน (Kosugi et al., 2009; Jorjong et al., 2013; Choct, 2015; Wan et al., 2015) คุณสมบัติของใยอาหารที่ใช้ในอาหารสัตว์จะขึ้นอยู่กับชนิดของใยอาหาร โครงสร้าง องค์ประกอบของสายพอลิเมอร์ (polymer chain) และระดับของการเสริม Choct (2015) รายงานว่า NSPs จะถูกย่อยด้วยการหมักของจุลินทรีย์ โดย NSPs ที่มีสายพอลิเมอร์สั้นหรือมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ได้ดีกว่าพอลิเมอร์สายยาว แต่อย่างไรก็ตามจากการรวบรวมข้อมูลเพื่อหาความเป็นไปได้ในการใช้เอนไซม์ย่อยสลายพันธะ NSPs เพื่อปรับปรุงคุณภาพใยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลนั้นไม่มีการทดสอบก่อนหน้าจึงได้ทำการค้นคว้าเอกสารงานวิจัยในวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดอื่นที่ โดย Ravn et al. (2017) รายงานว่าการย่อยใยอาหารในลำไส้สาลีให้มีความยาวของสายพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) ที่สั้นลงจากอะราบีโนไซลแลน (arabinoxylan) เป็นอะราบีโนไซโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ (arabinoxylto-oligosaccharides) พบว่าจุลินทรีย์จากซีกัม (caecum) ของไก่สามารถหมักย่อยและใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้นส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์และมีการผลิตกรดไขมันสายสั้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าการย่อยสลายพันธะ NSPs ในกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลด้วยเอนไซม์จะเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มคุณภาพของใยอาหารได้

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาวิธีการสกัดและการปรับปรุงคุณภาพหรือดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลที่ได้จากโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง และโรงงานผลิตเอทานอล เพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเสริมในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่ โดยมีการศึกษาผลของใยอาหารที่สกัดได้ ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต การพัฒนาของระบบทางเดินอาหาร การสะสมคอเลสเตอรอล การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในซีกัม การผลิตกรดไขมันสายสั้น กรดแลคติก และแอมโมเนีย ค่าทางชีวเคมีในเลือด และการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อให้ทราบถึงวิธีการสกัด และการดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเสริมในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมใยอาหารที่สกัดได้ในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และการพัฒนาของระบบทางเดินอาหาร

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการเสริมใยอาหารที่สกัดได้ในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกระเพาะบด

1.2.4 เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติของใยอาหารต่อปริมาณคอเลสเตอรอล

1.2.4 เพื่อให้ทราบถึงผลของใยอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันสายสั้น กรดแลคติก และการขับออกของแอมโมเนียในไก่เนื้อและไก่ไข่

1.2.5 เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติของใยอาหารต่อค่าทางชีวเคมีของโลหิต และภูมิคุ้มกัน

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับสกัด และดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล เพื่อใช้เป็นใยอาหารเสริมในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่ โดยศึกษาผลต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต ลักษณะสัณฐานวิทยาของทางเดินอาหาร การสะสมคอเลสเตอรอล การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันสายสั้น กรดแลคติก และแอมโมเนีย ค่าทางชีวเคมีของโลหิต และการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน โดยคาดหวังว่าความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ปีกได้

### 1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

ใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลด้วยวิธีการที่เหมาะสมน่าจะสามารถใช้เป็นสารเสริมในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่ได้ โดยการใช้ใยอาหารในระดับที่เหมาะสมจะไม่ส่งผลกระทบต่อ การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต เพิ่มคุณภาพผลผลิต (ลดการสะสมคอเลสเตอรอล) เพิ่มประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และลดจุลินทรีย์ก่อโรคในซีกัม เพิ่มการผลิตกรดไขมันสายสั้นและกรดแลคติก ลดการผลิตแอมโมเนีย อีกทั้งน่าจะส่งเสริมการทำงานของภูมิคุ้มกันได้

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 ได้องค์ความรู้ในการสกัดเพื่อให้ได้มาซึ่งใยอาหารที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเสริมในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่ นอกจากนี้ยังความรู้ที่ได้ยังสามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการวิจัย เพื่อพัฒนาการสกัดใยอาหารที่มีความจำเพาะต่อไป

1.5.2 เพิ่มการใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้หรือผลผลิตร่วมจากอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง และเป็น การสร้างมูลค่าเพิ่มของกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล



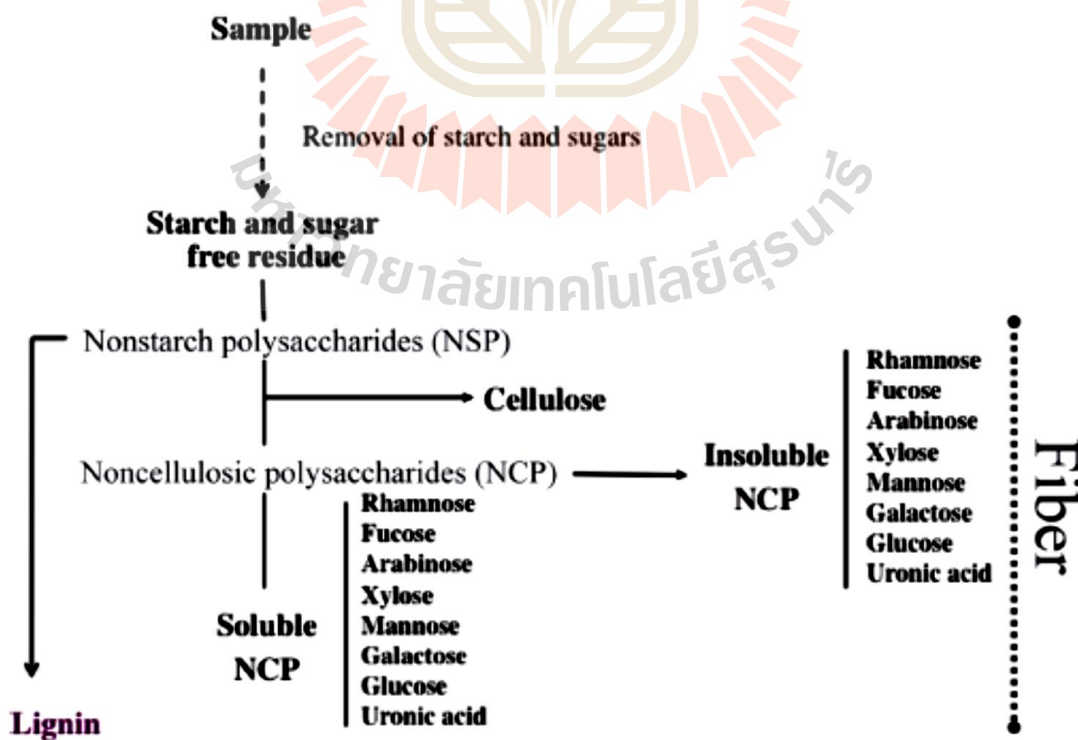
## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 โยอาหาร หรือ dietary fiber

คำนิยามของ “โยอาหาร หรือ dietary fiber” คือคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้างที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชซึ่งมีองค์ประกอบเป็น NSPs และลิกนิน โดยส่วนประกอบหลักของ NSPs ที่มีอยู่ในผนังเซลล์พืชส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลส และพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส (non-cellulosic polysaccharides) ชนิดต่าง ๆ (Choct, 1997; Dhingra et al., 2012; Knudsen, 2014) โยอาหารคือคาร์โบไฮเดรตที่ทนต่อการย่อยของเอนไซม์ในทางเดินอาหารของสัตว์ปีก (AACC, 2001; Józefiak et al., 2004)

ระบบการจำแนกประเภทของโยอาหารมีหลายแบบ แต่วิธีการจำแนกที่เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางคือการจำแนกประเภทของโยอาหารตามความสามารถในการละลายน้ำ ทั้งนี้โยอาหารสามารถจำแนกออกได้เป็นสองชนิด ได้แก่ โยอาหารที่ละลายน้ำ เช่น เบต้า-กลูแคน ( $\beta$ -glucans) เพคติน (pectin) กาแลคโตแมนแนน (galactomannan) และกัม (gums) และโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสบางชนิด และลิกนิน นอกจากนี้พอลิแซ็กคาไรด์แต่ละชนิดยังมีลักษณะเฉพาะที่สามารถใช้จำแนกองค์ประกอบของโยอาหารคือองค์ประกอบของมอนอเมอร์ (monomer) และประเภทของพันธะ (bond linkage) (Dhingra et al., 2012; Staffolo et al., 2012) การจำแนกประเภทของโยอาหารโดยเทคนิคการสกัดด้วยเอนไซม์และสารเคมีดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การจำแนกองค์ประกอบของโยอาหาร (Choct, 1997; Knudsen, 2014)

แหล่งใยอาหารพบได้ในวัตถุดิบอาหารสัตว์หลายชนิด เช่น ธัญพืช พืชตระกูลถั่ว ชูการ์บีท ผงเซลลูโลส พืชและผงเซลลูโลส เป็นต้น ทั้งนี้ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตหลายชนิด ได้แก่ มอโนแซ็กคาไรด์ (monosaccharides) ไดแซ็กคาไรด์ (disaccharides) โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharides) และพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) ซึ่งสัตว์กระเพาะเดี่ยวสามารถย่อยมอโนแซ็กคาไรด์ และไดแซ็กคาไรด์ได้ (Choct, 2015) ในขณะที่โอลิโกแซ็กคาไรด์ และพอลิแซ็กคาไรด์จะถูกย่อยโดยการหมักของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารส่วนส่วนท้ายหรือในซีกัมของสัตว์ปีก (den Besten et al., 2013; Regassa and Nyachoti, 2018) โดยแหล่งของใยอาหารและโครงสร้างทางเคมีของใยอาหารดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

## 2.2 บทบาทและความสำคัญของใยอาหารในสัตว์ปีก

ในอดีตใยอาหารในวัตถุดิบอาหารสัตว์ถูกจัดเป็นสารต้านหรือปัจจัยที่ขัดขวางการย่อยได้ของโภชนะ (anti-nutritional factor) แต่ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับการเสริมใยอาหารในอาหารสัตว์ปีกได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารและบทบาทที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของสัตว์ ซึ่งการใช้ใยอาหารในระดับที่เหมาะสมจะช่วยส่งเสริมพัฒนาการของอวัยวะในทางเดินอาหาร การผลิตเอนไซม์ และการย่อยได้ของโภชนะในสัตว์ปีก (Mateos et al., 2012; Jha and Berrocso, 2015) โดย Kheravii et al. (2018a) รายงานว่าการกำหนดขนาดอนุภาคของอาหาร และองค์ประกอบของใยอาหารในสูตรอาหารสัตว์ปีกจะสามารถปรับปรุงสุขภาพลำไส้ การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และประสิทธิภาพการผลิต

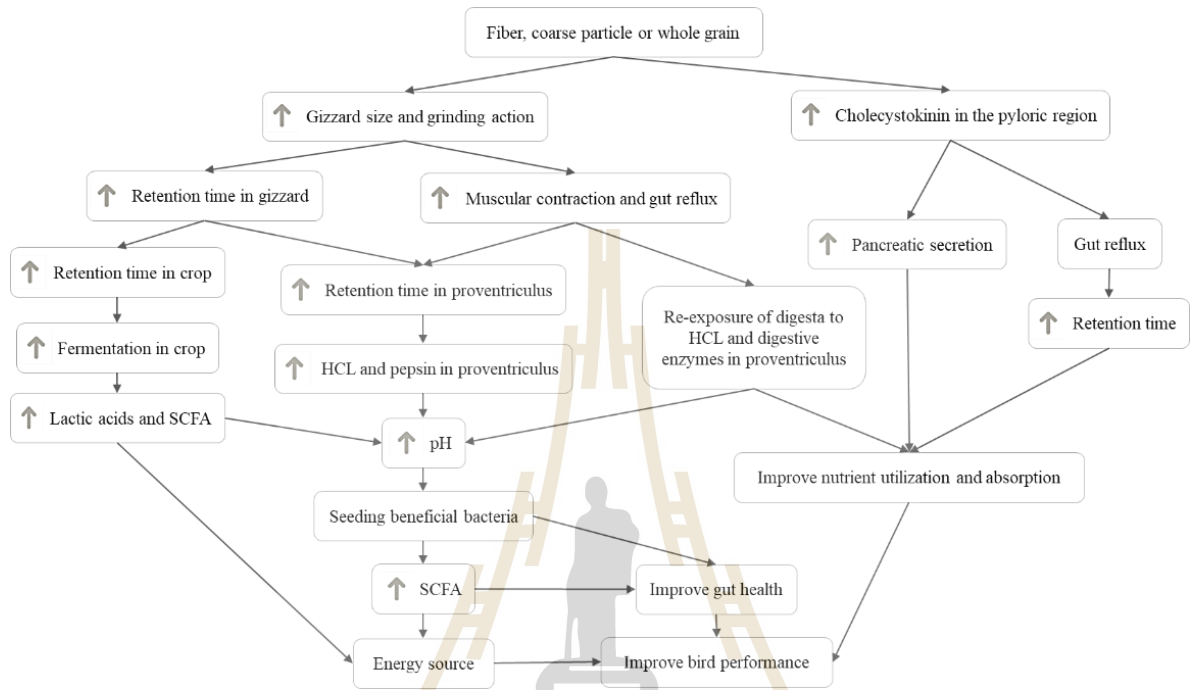
จากคุณสมบัติที่ต่างกันของใยอาหารทำให้มีบทบาทต่อตัวสัตว์ที่แตกต่างกัน โดยใยอาหารที่ละลายน้ำมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำไว้ และมีผลต่อการเพิ่มความหนืด (viscosity) ของสิ่งย่อย (digesta) ในทางเดินอาหาร ซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลผ่านของอาหารช้าลง อีกทั้งทำให้การย่อยได้และการดูดซึมสารอาหารลดลง เพราะความหนืดของอาหาร แต่อย่างไรก็ตามใยอาหารที่ละลายน้ำจะเกิดการหมักย่อยได้ดีโดยจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนท้าย สำหรับใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเมื่อดูดซับน้ำไว้จะมีคุณสมบัติพองตัวเหมือนฟองน้ำ (sponge) ทำให้ไม่มีความหนืดช่วยเพิ่มอัตราการไหลผ่านของอาหาร และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนากระเพาะช่วยเพิ่มความสามารถในการบด และลดขนาดอนุภาคของอาหารก่อนเข้าไปในลำไส้เล็กจึงเอื้อต่อการใช้ประโยชน์ของโภชนะ โดยกระเพาะที่ได้รับการพัฒนาให้แข็งแรงขึ้นจะมีผลต่อการควบคุมสรีรวิทยาของระบบทางเดินอาหาร เช่น การหดตัวและการบีบตัวของกระเพาะ การควบคุมการเคลื่อนที่หรือการไหลย้อนกลับ (refluxes) ของอาหาร เพิ่มประสิทธิภาพการหลั่งสารในทางเดินอาหารทั้งกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และเอนไซม์เพปซิน (pepsin) ซึ่งจะเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร (Svihus, 2011; Mateos et al., 2012; Kheravii et al., 2018a) ใยอาหารมีคุณสมบัติคล้ายกับพรีไบโอติกเนื่องจากจะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารของสัตว์ปีกจะถูกส่งผ่านไปยังซีกัม เพื่อเป็นแหล่งสารอาหารที่จำเพาะสำหรับจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacteria* spp. ส่งผลให้มีการผลิตกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติกเพิ่มขึ้นซึ่งอาจนำไปสู่การปรับปรุงสภาพแวดล้อม (ค่า pH ลดลง) ของทางเดินอาหารส่วนท้าย และปรับสมดุลการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารได้ ซึ่งท้ายที่สุดจะช่วยส่งเสริมสุขภาพของลำไส้ในสัตว์ปีกได้ (Montagne et al., 2003; Jha and Berrocso, 2015) โดยกลไกที่เป็นไปได้ของคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 แหล่งของใยอาหารและโครงสร้างทางเคมีของใยอาหารชนิดต่าง ๆ

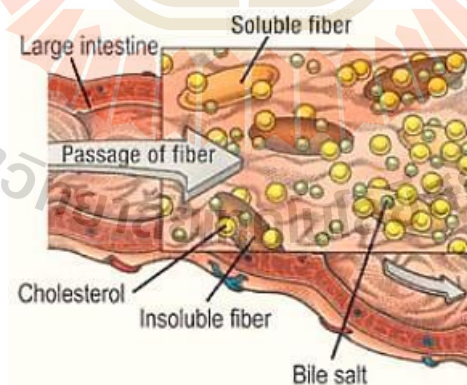
Category	Monomeric residue	Linkage	Sources
Cellulose	Glucose	$\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)	Cereals, legumes, oat hull, sunflower seeds, sugarcane bagasse, plant cell walls
Arabinoxylans	Arabinose, xylose	$\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-linked xylose units	Wheat, rye, barley, oat, rice, sorghum, corn
Xylan	Xylose	$\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-xylose	Wheat, wheat brand
Mixed-linked $\beta$ -glucans	Glucose	$\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3) and (1 $\rightarrow$ 4)	Barley, oat, rye, rice
$\beta$ -glucans	Glucose	$\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3) and (1 $\rightarrow$ 6)	<i>S. cerevisiae</i> , <i>C. albicans</i> , seaweed
Mannans	Mannose	$\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)	Coffee seed
Galactomannans	Galactose, mannans	$\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-linking mannan chains with $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6)-linked galactosyl side groups	Locust bean gum, guar gum
Glucomannans	Glucose, mannans	$\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-linked mannan chain with interspersed glucose residues in the main chain	Sugar beet pulp, lilies, irises
Arabinans	Arabinose	$\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 5)	Cereal co-products such as wheat bran
Galactans	Galactose	$\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)	Sugar bean meal, sugar beet pulp
Pectin	D-galacturonic acid, L-rhamnose, L-arabinose, D-xylose, L-fucose	$\alpha$ -(1,4) D-galactomannans	Fruits, chicory, sugar beet pulp
Inulin	Fructose, glucose	$\beta$ -(2,1) D-fructosyl fructose	Yam, rye, Jerusalem artichoke, chicory

ที่มา: ดัดแปลงจาก Choct (1997); Sinha et al. (2011); Staffolo et al. (2012); Lam and Cheung (2013)

.นอกจากนี้ใยอาหารยังมีบทบาทสำคัญในการลดการสะสมไขมัน และคอเลสเตอรอลในเนื้อไก่ (Saki et al., 2011) เนื่องจากเยื่อใยจะขัดขวางการย่อยและการดูดซึมของไขมันหรือคอเลสเตอรอลบริเวณลำไส้เล็ก (ภาพที่ 2.3) อีกทั้งยังขัดขวางการดูดกลับของน้ำดี ส่งผลให้ร่างกายต้องผลิตน้ำดีทดแทนขึ้นมาใหม่ โดยใช้คอเลสเตอรอลเป็นสารตั้งต้น (Menge et al., 1974; St-Onge et al., 2000)



ภาพที่ 2.2 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหาร (Kheravii et al., 2018a)



ภาพที่ 2.3 บทบาทของเยื่อใยต่อการลดคอเลสเตอรอล

ที่มา: <https://images.app.goo.gl/BtNYhxMSty91P8Ve9>

### 2.3 องค์ประกอบของใยอาหารในกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล

มันสำปะหลัง cassava หรือ tapioca (*Manihot esculenta Crantz*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และเป็นพืชที่มีความสำคัญในเอเชียอีกด้วย ซึ่งประเทศไทยนั้นเป็นผู้นำของการผลิตมันสำปะหลังในภูมิภาคเอเชีย ในแต่ละปีสามารถผลิตมันสำปะหลังได้ประมาณ 21–30 ล้านตัน ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด

จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ มันเส้น มันอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลัง และการผลิตพลังงานทดแทนหรือเอทานอล ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่อไป แต่อย่างไรก็ตามหลังจากการแปรรูปมันสำปะหลังเป็นแป้งมันสำปะหลังและเอทานอลจะมีกากเหลือหรือผลพลอยได้เป็นกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล (ประมาณ 2.0–3.0 และ 0.74–0.95 ล้านตันต่อปี) ดังนั้นจึงมีแนวความคิดในการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้เหล่านี้จากคุณสมบัติของใยอาหาร โดยการนำกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับสกัดใยอาหาร

จากการรวบรวมเอกสารพบว่ากากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลยังมีโภชนะหลงเหลืออยู่ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลจะมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น กระบวนการสกัด สายพันธุ์ของมันสำปะหลัง และวิธีการเพาะปลูกของเกษตรกร (Chávez et al., 2005; Jorjong et al., 2013) ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ของ NSPs ในกากมันสำปะหลังคือใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และประกอบด้วยน้ำตาลหลัก ได้แก่ ไซโลส (xylose) กาแล็กโทส (galactose) และแมนโนส (mannose) (Chauynarong et al., 2015) จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าทั้งกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลนั้นมีปริมาณเยื่อใยที่สูงซึ่งน่าจะสมารถนำมาใช้เป็นแหล่งของวัตถุดิบที่ดีในการสกัดใยอาหารได้

**ตารางที่ 2.2** องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล

Components (%)	Cassava pulp			Cassava distiller's dried grains	
	Kosugi et al. (2009)	Rattanachomsri et al. (2009)	Chauynarong et al. (2015)	Jorjong et al. (2013)	Wan et al. (2015)
Starch	60.60	61.19	-	-	15.79
Crude protein	2.50	-	1.87	7.94	3.70
Fat	-	-	0.33	1.29	-
Ash	-	-	-	10.22	24.08
Crude fiber	-	-	13.85	28.69	-
Non-starch polysaccharides	28.10	23.00	-	-	-
Glucan	19.10	-	-	-	-
Xylan	4.20	-	2.38	-	-
Arabinan	1.40	-	1.29	-	-
Galactan	0.50	-	4.06	-	-
Mannan	0.70	-	0.45	-	-
Cellulose	-	15.60	-	31.81	25.75
Hemicellulose	-	4.60	-	13.69	5.01
Lignin	2.20	2.80	-	11.30	8.69

ปัจจุบันการใช้แหล่งใยอาหารจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งทางเลือกที่ได้รับความนิยมสูงอย่างมากสำหรับนำมาใช้ในอาหารสัตว์ ดังนั้นผลพลอยได้จากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลอาจเป็นแหล่งใยอาหารที่มีประโยชน์ในอนาคตได้หากมีกระบวนการสกัด และดัดแปลงใยอาหารให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมหรือได้เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ จากกระบวนการสกัดนี้ไม่เพียงแต่เป็นการลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมเท่านั้นยังไปการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

## 2.4 การสกัดและการดัดแปลงใยอาหาร

วิธีการสกัดใยอาหารมีหลายวิธี ได้แก่ วิธีทางเคมี (chemistry methods) วิธีทางกายภาพ (physical methods) วิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ (enzymatic methods) วิธีการใช้จุลินทรีย์ (microbial methods) และ การใช้วิธีต่าง ๆ ร่วมกัน (mixed methods) ซึ่งการสกัดแต่ละวิธีจะมีผลต่อองค์ประกอบ และโครงสร้างของใยอาหารที่แตกต่างกัน อีกทั้งการดัดแปลงใยอาหารหรือการปรับโครงสร้างของใยอาหารสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของใยอาหารได้ โดยตัวอย่างวิธีการสกัดและการดัดแปลงใยอาหารดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 วิธีการสกัดใยอาหาร

Extraction methods	Examples
Chemistry methods	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NaOH was used to extract dietary fiber from cereals.</li> <li>- Alkalis was used to extract arabinoxylan from wheat bran and rice bran.</li> </ul>
Physical methods	<ul style="list-style-type: none"> <li>- High temperature, high pressure, ultrasonic treatment increased the extraction rate of arabinoxylan.</li> <li>- Micronization, ultrasonic, microwave, and extrusion cooking treatments had reduction effect on glucose breakdown rate and adsorption and avoid increased in postprandial blood glucose level.</li> </ul>
Enzymatic methods	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dietary fiber extracted from defatted rice bran using thermal-stable <math>\alpha</math>-amylase, and alcalase had glucose dialysis retardation index.</li> </ul>
Microbial methods	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wheat bran soluble dietary fiber extracted by solid fermentation with fungi.</li> </ul>
Mixed methods	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dietary fiber extracted by shear emulsifying assisted enzymatic hydrolysis had excellent physicochemical and functional properties.</li> <li>- Ultrasound-assisted solvent method was used to obtain dietary fiber from corn pericarp.</li> </ul>

ที่มา: Zhang et al. (2018)

## ตารางที่ 2.4 วิธีการดัดแปลงใยอาหาร

Modification methods	Effects
Micronization	- Micronization processed dietary fiber enhanced the soluble dietary fiber content.
Multidimensional swing high-energy nanoball-milling	- Ultrafine bran dietary fiber increased the content of soluble dietary fiber and decreased the total phenolic content.
Enzyme	- Cellulase and xylanase increased the extractable arabinoxylan and soluble dietary fiber content of dietary fiber.
Enzyme-micronization	- Enzyme-micronization reduced the water and oil holding capacity, but increased the swelling capacity, cholesterol and sodium taurocholate absorption capacity of dietary fiber.
Chemical methods	- Chemical reagents increased glucose adsorption capacity and $\alpha$ -amylase inhibitory activity of dietary fiber as a result improving the ability of insoluble fiber.

ที่มา: Zhang et al. (2018)

## 2.5 ผลของการเสริมใยอาหารต่อการผลิตสัตว์ปีก

### 2.5.1 ผลของใยอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต

จากการรวบรวมเอกสารพบว่าการใช้ใยอาหารในระดับที่เหมาะสมจะกระตุ้นการพัฒนาระบบทางเดินอาหาร ส่งเสริมการทำงานของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเอ็นไซม์ และการย่อยอาหาร ซึ่งท้ายที่สุดจะช่วยส่งเสริมสมรรถนะการเจริญเติบโตของสัตว์ปีกได้ (González-Alvarado et al., 2008; Sarikhan et al., 2010; Mateos et al., 2012; Krás et al., 2013) โดยผลของการเสริมใยอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5 ผลการศึกษาแหล่งของใยอาหารที่เสริมในระดับ 3.0% ในไก่เนื้อที่อายุ 21 และ 42 วัน แบ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำจากกากชูการ์บีท และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากเปลือกถั่วเหลือง และเปลือกข้าวโอ๊ต พบว่าการเสริมใยอาหารทั้งที่ละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของไก่เนื้อได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม ( $p < 0.05$ ) ซึ่งการเสริมใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากเปลือกข้าวโอ๊ต และเปลือกถั่วเหลืองในไก่เนื้อที่อายุ 21 วัน (อาหารกลุ่มควบคุมมีปริมาณเยื่อใย 2.5%) สามารถปรับปรุงอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารได้ ( $p < 0.05$ ) โดยไม่มีผลกระทบต่อการกินได้เฉลี่ยของไก่เนื้อ (González-Alvarado et al., 2007, 2010) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jiménez-Moreno et al. (2009) และ Sacranie et al. (2012) พบว่าการให้อาหารไก่เนื้อที่ผสมใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากเปลือกข้าวโอ๊ต 3.0% สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อได้ นอกจากนี้ Jiménez-Moreno et al. (2011) รายงานว่าการเสริมเปลือกถั่ว 2.5–5.0% (อาหารกลุ่มควบคุมมีปริมาณ

เยื่อใย 1.6%) ทำให้ไก่เนื้อมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยการเสริมเปลือกถั่วที่ระดับ 5.0% ส่งผลให้ไก่เนื้อที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด ( $p < 0.05$ ) สอดคล้องกับการเสริมใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากผลพลอยได้ของผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลี พบว่าอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีขึ้นแบบเส้นตรง ( $p < 0.01$ ) ในไก่เนื้ออายุ 42 วัน (Rezaei et al., 2011)

นอกจากนี้การเสริมใยอาหารที่ละลายน้ำจากกากชูการ์บีท และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากเปลือกข้าวโอ๊ตที่ระดับต่าง ๆ พบว่าการเสริมใยอาหารจากกากชูการ์บีท 2.5% ส่งผลให้ไก่เนื้อที่อายุ 18 วันมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามการเสริมใยอาหารทั้งสองชนิดนั้นไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย และการกินได้เฉลี่ยของไก่เนื้อ (Jiménez-Moreno et al., 2013) โดยการทดลองของ Incharoen (2013) รายงานว่าการให้อาหารไก่เนื้อรวมกับการเสริมใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตมากกว่ากลุ่มควบคุม ( $p < 0.05$ ) จากการทดลองการเสริมเปลือกข้าวที่ระดับ 1.0% (อาหารมีปริมาณเยื่อใย 5.1%) ส่งผลให้ไก่เนื้อมีน้ำหนักตัว และอัตราการแลกเนื้อดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตาม Krás et al. (2013) ได้ทำการศึกษาสูตรอาหารไก่เนื้อที่มีระดับเยื่อใยต่ำ และระดับเยื่อใยสูง (สูตรอาหารมีเยื่อใย 7.7%) พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับเยื่อใยสูงมีผลทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารลดลงแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารระดับเยื่อใยต่ำ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากเยื่อใยที่สูงเกินไปมีผลทำให้การกินได้ลดลง โดย Jiménez-Moreno et al. (2010) รายงานว่าสูตรอาหารที่มีปริมาณของเยื่อใยที่สูงมีผลต่อการลดประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ ผลิตขวางการย่อยได้ และการดูดซึมโภชนะในทางเดินอาหาร

### 2.5.2 ผลของใยอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะ

ผลของใยอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะในไก่เนื้อแสดงไว้ในตารางที่ 2.6 การเสริมใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากเปลือกข้าวโอ๊ต 2.5–5.0% ไม่มีผลกระทบต่อการย่อยได้ของสิ่งแห้ง และสารอินทรีย์ ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้ยังส่งผลให้การย่อยได้ของสิ่งแห้งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเสริมใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของแป้งและโปรตีน ( $p < 0.05$ ) (González-Alvarado et al., 2010; Jiménez-Moreno et al., 2011, 2013) ทั้งนี้จากการทดลองของ Jiménez-Moreno et al. (2011) ได้ทำการศึกษากการเสริมเปลือกถั่วเพื่อเป็นแหล่งของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในอาหารไก่เนื้อ พบว่าการเสริมที่ระดับ 2.5–5.0% ส่งผลให้การย่อยได้ของโปรตีนดีขึ้น ( $p < 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตาม Kluth and Rodehutsord. (2009) พบว่าระดับของเซลลูโลส (ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ) ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารไก่เนื้อ (อาหารมีเยื่อใย 3 และ 8%) มีผลกระทบต่อการสูญเสียโปรตีน และกรดอะมิโนในลำไส้เล็กส่วนปลายได้ ทั้งนี้การเสริมเซลลูโลสในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อการสูญเสียโปรตีนของไก่เนื้อเพิ่มขึ้นได้



ตารางที่ 2.5 ผลของการเสริมใยอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต

Treatment	Age (day)	BW (g)	ADG (g)	ADFI (g)	FCR	References
Control	21	-	31.7 <sup>b</sup>	43.2	1.37 <sup>a</sup>	González-
3.0% oat hulls <sup>1</sup>		-	33.4 <sup>a</sup>	44.3	1.33 <sup>b</sup>	Alvarado et al.
3.0% soybean hulls <sup>1</sup>		-	33.4 <sup>a</sup>	44.6	1.34 <sup>b</sup>	(2007)
Control	42	-	55.0 <sup>b</sup>	88.0 <sup>ab</sup>	1.59 <sup>a</sup>	González-
3.0% oat hulls		-	60.0 <sup>a</sup>	90.0 <sup>a</sup>	1.49 <sup>b</sup>	Alvarado et al.
3.0% sugar beet pulp <sup>2</sup>		-	56.0 <sup>b</sup>	85.0 <sup>b</sup>	1.53 <sup>b</sup>	(2010)
Control	42	1,915 <sup>b</sup>	-	-	2.10 <sup>a</sup>	Sacranie et al.
0.25% insoluble fiber		2,084 <sup>a</sup>	-	-	1.96 <sup>b</sup>	(2012)
0.50% insoluble fiber		2,073 <sup>a</sup>	-	-	1.94 <sup>b</sup>	
0.75% insoluble fiber		2,147 <sup>a</sup>	-	-	1.93 <sup>b</sup>	
Control	18	-	30.0 <sup>b</sup>	41.2	1.37 <sup>a</sup>	Jiménez-Moreno
2.5% pea hulls <sup>1</sup>		-	31.2 <sup>b</sup>	41.2	1.32 <sup>b</sup>	et al. (2011)
5.0% pea hulls		-	34.5 <sup>a</sup>	45.9	1.33 <sup>b</sup>	
7.5% pea hulls		-	31.1 <sup>b</sup>	39.6	1.38 <sup>a</sup>	
Control	42	-	62.4 <sup>*</sup>	-	1.86 <sup>*</sup>	Rezaei et al.
0.3% MIF <sup>3</sup>		-	64.1 <sup>*</sup>	-	1.85 <sup>*</sup>	(2011)
0.4% MIF		-	64.3 <sup>*</sup>	-	1.85 <sup>*</sup>	
0.5% MIF		-	65.3 <sup>*</sup>	-	1.79 <sup>*</sup>	
Control	18	-	31.0	43.2	1.40 <sup>a</sup>	Jiménez-Moreno
2.5% oat hulls		-	31.0	42.3	1.37 <sup>ab</sup>	et al. (2013)
5.0% oat hulls		-	30.5	41.6	1.36 <sup>ab</sup>	
7.5% oat hulls		-	30.0	41.9	1.40 <sup>a</sup>	
2.5% sugar beet pulp		-	31.1	41.7	1.34 <sup>b</sup>	
5.0% sugar beet pulp		-	30.6	41.6	1.36 <sup>ab</sup>	
7.5% sugar beet pulp		-	28.6	39.8	1.39 <sup>a</sup>	
Control	42	1,964 <sup>b</sup>	-	85.05	2.14 <sup>b</sup>	Incharoen (2013)
0.5% rice hull meal <sup>1</sup>		2,009 <sup>b</sup>	-	85.25	2.12 <sup>b</sup>	
1.0% rice hull meal		2,120 <sup>a</sup>	-	85.38	2.02 <sup>a</sup>	

<sup>a, b</sup> Means within columns with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ )

\* Linear ( $p < 0.01$ )

<sup>1</sup> insoluble dietary fiber

<sup>2</sup> soluble dietary fiber

<sup>3</sup> MIF = micronized insoluble fiber (by-product of wheat)

ตารางที่ 2.6 ผลของการเสริมใยอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะ (apparent digestibility, %)

Treatment	Dry matter	Organic matter	Starch	Crude protein	References
Control	73.6 <sup>ab</sup>	78.3 <sup>a</sup>	96.6	73.9 <sup>ab</sup>	González-
3.0% oat hull <sup>1</sup>	75.0 <sup>a</sup>	78.0 <sup>a</sup>	97.1	76.3 <sup>a</sup>	Alvarado et al.
3.0% sugar beet pulp <sup>2</sup>	72.8 <sup>b</sup>	75.8 <sup>b</sup>	96.3	72.7 <sup>b</sup>	(2010)
Control	-	-	90.2	75.9 <sup>c</sup>	Jiménez-Moreno
2.5% pea hull <sup>1</sup>	-	-	94.2	82.1 <sup>a</sup>	et al. (2011)
5.0% pea hull	-	-	93.9	79.3 <sup>b</sup>	
7.5% pea hull	-	-	93.6	76.2 <sup>c</sup>	
Control	71.4 <sup>ab</sup>	75.0 <sup>abc</sup>	90.7 <sup>b</sup>	74.9	Jiménez-Moreno
2.5% oat hull	73.4 <sup>a</sup>	77.3 <sup>a</sup>	96.6 <sup>a</sup>	76.1	et al. (2013)
5.0% oat hull	73.1 <sup>a</sup>	76.6 <sup>ab</sup>	96.1 <sup>a</sup>	76.7	
7.5% oat hull	68.9 <sup>bc</sup>	72.5 <sup>cd</sup>	97.3 <sup>a</sup>	78.9	
2.5% sugar beet pulp	69.3 <sup>bc</sup>	72.9 <sup>bcd</sup>	90.6 <sup>b</sup>	77.5	
5.0% sugar beet pulp	66.9 <sup>c</sup>	70.7 <sup>d</sup>	91.4 <sup>b</sup>	76.3	
7.5% sugar beet pulp	67.5 <sup>c</sup>	70.9 <sup>d</sup>	92.5 <sup>b</sup>	76.2	

a, b, c Means within columns with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ )

<sup>1</sup> insoluble dietary fiber

<sup>2</sup> soluble dietary fiber

### 2.5.3 ผลของใยอาหารต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตกรดไขมันสายสั้นในซีกัม

ผลของการเสริมใยอาหารในไก่เนื้อต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในซีกัม แสดงไว้ในตารางที่ 2.7 การเสริมใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากเปลือกข้าวโอ๊ต 5.0% มีผลต่อการลดจำนวน *Clostridium* spp. และ *Enterobacteriaceae* ( $p < 0.05$ ) (Jiménez-Moreno et al., 2011) สอดคล้องกับการทดลองของ Shakouri et al. (2006) พบว่าการเสริมเซลลูโลส 3.0% ในอาหารมีผลทำให้ *Enterobacteriaceae* ลดลง ( $p < 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตามใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากเปลือกข้าวโอ๊ต และเซลลูโลสไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนของ *Lactobacillus* spp. ในซีกัม โดย Kalmendal et al. (2011b) รายงานว่าใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากกากทานตะวันมีความสัมพันธ์กับการลดจำนวนของ *Clostridium* spp. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Montagne et al. (2003) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการหมัก และลดอุบัติการณ์ของการเกิดโรคลำไส้อักเสบได้ นอกจากนี้มีผลทำให้จำนวนของ *Coliform* และ *E. coli* ในลำไส้ใหญ่ส่วนต้นลดลง แต่ไม่มีผลกระทบต่อจำนวนของ *Lactobacillus* spp. การหมักย่อยเยื่อใยของจุลินทรีย์ในซีกัมได้ผลผลิตที่สำคัญคือกรดไขมันสายสั้น ซึ่งสารเหล่านี้จะขัดขวางการ

ตั้งรกรากของเชื้อ *Salmonella* และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* (Hetland and Svihus, 2001; Lopes-Lutz et al., 2008)

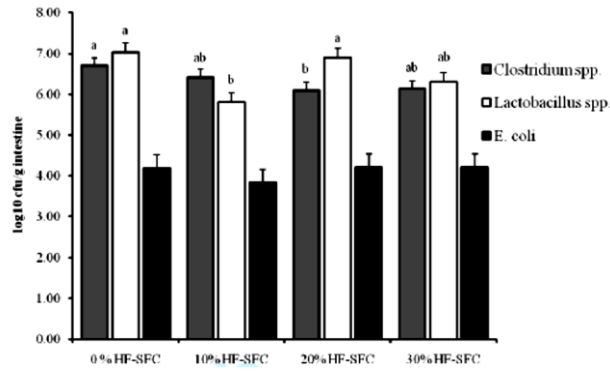
จากการทดลองของ Dunkley et al. (2007) การหมักโยอาหารชนิดต่าง ๆ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ในซีกัมต่อการผลิตกรดไขมันสายสั้น พบว่าการหมักโยอาหารชนิดต่าง ๆ สามารถผลิตกรดไขมันสายสั้นได้แตกต่างกันดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.5 ซึ่งการผลิตกรดไขมันสายสั้นจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมการหมักของจุลินทรีย์ในซีกัมและแหล่งของโยอาหาร โดยโยอาหารจากกากถั่วเหลือง เปลือกถั่วเหลือง และอัลฟัลฟา ซึ่งจำแนกเป็นโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสามารถผลิตเป็นกรดไขมันสายสั้นได้สูงที่สุด คือ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และกรดไอโซบิวทีริก ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) โดย van der Wielen et al. (2000) รายงานว่าโยอาหารจะถูกใช้ประโยชน์โดย *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacteria* spp. ซึ่งนำไปสู่การผลิตกรดแลคติก และกรดไขมันสายสั้น ซึ่งสอดคล้องกับ Donalson et al. (2008) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของกรดอะซิติกเป็นผลมาจากการหมักย่อยเซลลูโลสโดยเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Bifidobacterium* และ *Lactobacillus* spp. ในซีกัม อย่างไรก็ตามโยอาหารชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์แต่มีผลต่อการยับยั้งหรือขัดขวางการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค เนื่องจากความสามารถในการย่อยสลายโยอาหารของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และผลิตกรดไขมันสายสั้นขึ้น ทำให้บริเวณลำไส้ใหญ่มี pH ต่ำส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคไม่สามารถขยายตัวหรือตั้งถิ่นฐานได้ ดังนั้นไก่เนื้อที่มีสมดุลประชากรจุลินทรีย์จึงน่าจะช่วยส่งเสริมให้สัตว์มีสุขภาพที่ดีได้ เนื่องจากการผลิตกรดไขมันสายสั้นจะช่วยกระตุ้นการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกันในไก่ได้ (Huang et al., 2004; Dalloul et al., 2005)

ตารางที่ 2.7 ผลของการเสริมโยอาหารต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม ( $\log_{10}$  cfu/g)

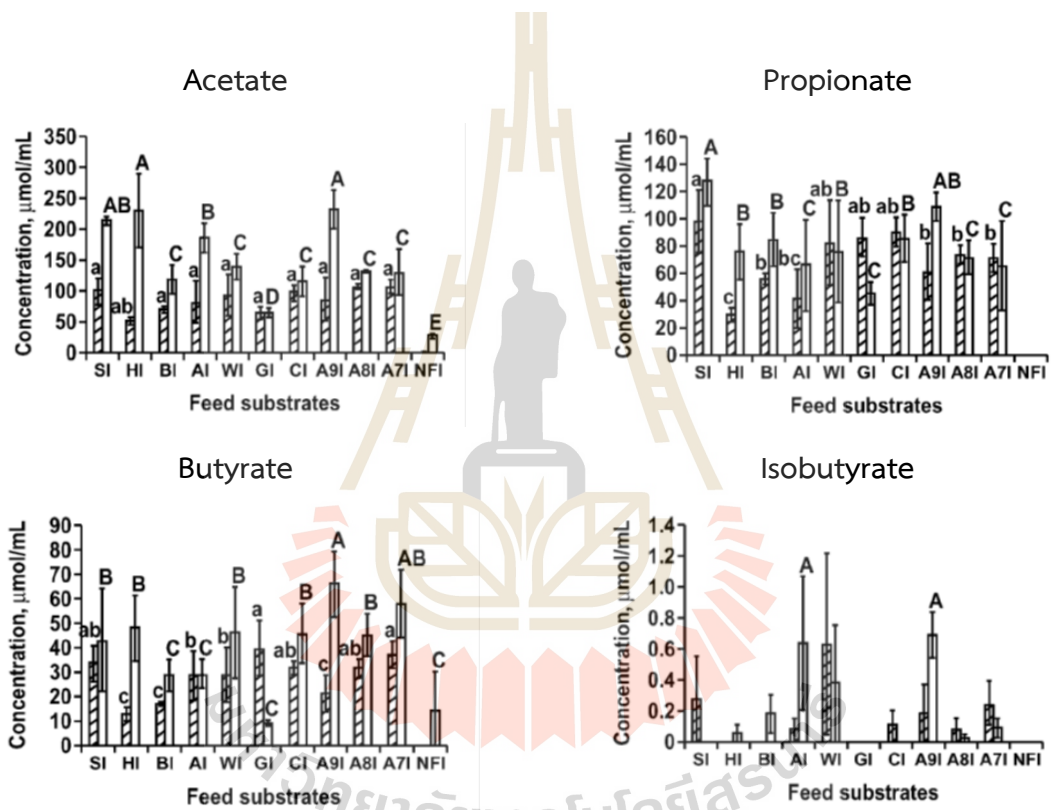
Treatment	<i>Lactobacillus</i>	<i>Clostridium</i>	<i>Enterobacteriaceae</i>	References
	spp.	spp.		
Control	9.8	5.9 <sup>a</sup>	8.4 <sup>a</sup>	Jiménez-
5.0% oat hulls	8.6	1.2 <sup>b</sup>	5.9 <sup>b</sup>	Moreno et
5.0% sugar beet pulp	10.0	6.2 <sup>a</sup>	8.4 <sup>a</sup>	al. (2011)
Control	10.10	-	5.74 <sup>b</sup>	Shakouri et
3.0% pectin	9.21	-	7.58 <sup>a</sup>	al. (2006)
3.0% CMC	9.08	-	8.25 <sup>a</sup>	
3.0% cellulose	9.39	-	5.96 <sup>b</sup>	

<sup>a, b</sup> Means within columns with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ )

CMC = cellulose, pectin and carboxymethyl cellulose.



ภาพที่ 2.4 ผลของใยอาหารไม่ละลายน้ำต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร  
ที่มา: Kalmendal et al. (2011b)



**Feed substrates:** SI = soybean meal, HI = soybean hull, BI = beet pulp, WI = wheat middlings, GI = ground sorghum, CI = cottonseed meal, AI = 100% alfalfa meal, A9I = 90% alfalfa + 10% commercial layer ration, A8I = 80% alfalfa + 20% commercial layer ration, A7I = 70% alfalfa + 30% commercial layer ration, and NFI = no feed + inoculum

ภาพที่ 2.5 ปริมาณกรดไขมันสายสั้นจากการหมักอาหารเยื่อ  
ที่มา: Dunkley et al. (2007)

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะในการสกัด และตัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอล เพื่อนำผลิตภัณฑ์ใยอาหารที่ได้ไปใช้เป็นสารเสริมในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่ โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ดังนี้

#### 3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาหาวิธีสกัดและตัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาวิธีการสกัด และการตัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอล เพื่อผลิตใยอาหารที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์ไก่เนื้อและไก่ไข่ จากการค้นคว้าเอกสารพบว่าใยอาหารที่ละลายน้ำและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่างก็มีคุณสมบัติที่จะส่งเสริมการทำงานในร่างกายสัตว์ได้ดีขึ้น ดังนั้นใยอาหารที่สกัดได้ในครั้งนี้จะยังคงมีใยอาหารทั้งสองชนิดอยู่ สำหรับกระบวนการปรับปรุงหรือตัดแปลงใยอาหารนั้นจะทำให้ใยอาหารมีสายพอลิเมอร์ที่สั้นลง เพื่อให้มีโครงสร้างที่เหมาะสม และง่ายต่อการหมักย่อยโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในทางเดินอาหารของสัตว์ปีก

##### 3.1.1 การเตรียมกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล

นำกากมันสำปะหลังสดจากบริษัทอุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด จังหวัดนครราชสีมา และกากมันเอทานอลจากบริษัทไทยเอทานอล พาวเวอร์ จำกัด (มหาชน) จังหวัดขอนแก่น มาทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55–60 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นทำการบดให้ละเอียดขนาด 1.0 มิลลิเมตร และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีของ AOAC (1990) ทำการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยใช้ชุดทดสอบใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber kit, K-TDFR-100A, Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland) องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลที่ใช้ในการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลที่ใช้ในการทดลอง

Compositions (%)	Cassava pulp	Cassava distiller's dried grains
Dry matter	93.79	92.26
Crude protein	2.30	10.14
Crude ash	1.87	16.58
Ether extract	0.22	1.02
Total dietary fiber	17.36	21.47
Soluble dietary fiber	2.29	3.09
Insoluble dietary fiber	15.07	18.38

### 3.1.2 การสกัดและการดัดแปลงใยอาหาร

การออกแบบการทดลองสำหรับศึกษาหาสภาวะในการสกัด และการดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) การทดลองแต่ละกลุ่มมี 4 ซ้ำ การสกัดใยอาหารเป็นการศึกษาหาระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ระดับ 2, 4, 6 และ 8% สำหรับการดัดแปลงใยอาหารเป็นการศึกษาหาอัตราส่วนของเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) : ไซลานเนส (xylanase) ที่อัตราส่วน 0:0, 9:3, 36:12 และ 72:24 หน่วย/กรัมของสารตั้งต้น (แสดงไว้ในตารางที่ 3.2) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารสำหรับใช้ในการทดลองต่อไป

**ตารางที่ 3.2** อัตราส่วนของเอนไซม์ที่ใช้ในการปรับปรุงโครงสร้างหรือดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล

Enzyme	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Cellulase <sup>1</sup> , U/g substrate	0	9	36	72
Xylanase <sup>2</sup> , U/g substrate	0	3	12	24

<sup>1</sup> Cellulase, activity: 1,200 U/ml.

<sup>2</sup> Xylanase, activity: 1,000 U/ml.

การสกัดใยอาหารดัดแปลงจากวิธีการของ Daou and Zhang (2013) โดยนำตัวอย่างกากมันสำปะหลังหรือกากมันเอทานอลไปสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่าง ๆ (2, 4, 6 และ 8%) และกำจัดแบ่งออกจากตัวอย่างด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase, EC 3.2.1.1, Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland) จากนั้นตกตะกอนใยอาหารด้วยเอทานอล (ethanol) 95% (v/v) และกรองแยกตัวอย่างออกจากสารละลาย ทำการชะล้างใยอาหารด้วยเอทานอล 75% (v/v) เอทานอล 95% (v/v) และอะซิโตน (acetone) ตามลำดับ นำตัวอย่างที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55–60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น “ใยอาหาร หรือ dietary fiber” จากนั้นบดตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร และทำการประเมินใยอาหารด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared Spectroscopy; FTIR Spectroscopy) และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis; PCA) เพื่อทำการคัดเลือกระดับของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการสกัด

การดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล โดยนำตัวอย่างไปสกัดใยอาหาร (เลือกระดับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการสกัด) หลังขั้นตอนการกำจัดแบ่งออกด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จึงทำการดัดแปลงใยอาหารที่ได้โดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส (cellulase; EC 3.2.1.4, Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland) และไซลานเนส (xylanase; EC 3.2.1.8, Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน (0:0, 9:3, 36:12 และ 72:24 หน่วย/กรัม

ของสารตั้งต้น) ทำการย่อยด้วยเอนไซม์เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นตกตะกอนด้วยเอทานอล 95% (v/v) และกรองแยกตัวอย่างออกจากสารละลาย โดยล้างตะกอนของตัวอย่างด้วยเอทานอล 78% (v/v) เอทานอล 95% (v/v) และอะซิโตน ตามลำดับ นำตัวอย่างที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55–60 °C ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น “ใยอาหารดัดแปลง หรือ modified-dietary fiber” จากนั้นบดตัวอย่างนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และประเมินผลของใยอาหารดัดแปลงที่ได้ด้วยการจำลองกระบวนการหมักย่อยในหลอดทดลอง (*in vitro* fermentation) เพื่อทำการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในปรับปรุงคุณภาพของใยอาหาร

### 3.1.3 การวิเคราะห์ใยอาหารและใยอาหารดัดแปลง

#### 3.1.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร

นำตัวอย่างใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8% มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยใช้ชุดทดสอบใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber kit, K-TDFR-100A, Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland)

#### 3.1.3.2 การวิเคราะห์ใยอาหารด้วยเทคนิค FTIR Spectroscopy และการวิเคราะห์ PCA

นำตัวอย่างใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8% มาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer; Tensor 27, Bruker, Germany) สเปกตรัมจะถูกตรวจวัดโดย Attenuated total reflectance (ATR) - FTIR spectroscopy และตรวจจับด้วย DTGS detector ทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 4000–400  $\text{cm}^{-1}$ , resolution = 4  $\text{cm}^{-1}$ , scan time = 64 ครั้ง ซึ่งก่อนการวิเคราะห์ตัวอย่างต้องทำการสแกน background ก่อนเพื่อหักลบสิ่งรบกวนที่อยู่ในอากาศระหว่างการวิเคราะห์ ใช้ซอฟต์แวร์ OPUS เวอร์ชัน 7.2 (Bruker Optics Ltd, Ettlingen, Germany) ในการเก็บข้อมูล และการประเมินผลของสเปกตรัมอินฟราเรด (FTIR spectra) นำสเปกตรัมที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการจำแนก และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มสเปกตรัมของใยอาหารจากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่าง ๆ (2, 4, 6 และ 8%) โดยทำการเฉลี่ยสเปกตรัมอินฟราเรดของใยอาหารแต่ละชนิด (4 กลุ่มตามสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง ในแต่ละกลุ่มมี 4 ซ้ำ) จากนั้นทำการหาพื้นที่ใต้พีค (integrate) ของสเปกตรัมอินฟราเรด และคำนวณเป็นอัตราส่วนของพื้นที่ที่วัดของแต่ละพีคซึ่งพื้นที่รวมทั้งหมดคิดเป็น 100% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยช่วงความยาวคลื่นในการจำแนกสเปกตรัมอินฟราเรดของใยอาหารดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3

การวิเคราะห์ PCA โดยสเปกตรัมอินฟราเรดของใยอาหารจะถูกประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X เวอร์ชัน 10.5 (CAMO Oslo, Norway) ซึ่งก่อนการประมวลผลสเปกตรัมอินฟราเรดจะถูกปรับด้วยวิธีการแปลงค่าอนุพันธ์อันดับที่สอง ( $2^{\text{nd}}$  derivative) โดยใช้วิธีการปรับเรียบแบบซาวิตซ์กีโกลีย์ (Savitzky-Golay method) และปรับให้ปกติด้วยด้วยเทคนิคการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (Extended Multiplicative Signal Correction; EMSC) จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ PCA โดยผลของ PCA

จะประเมินความสัมพันธ์บนแกนองค์ประกอบหลัก (Principal component; PC) ซึ่งแสดงถึงความคล้ายหรือความแตกต่างของตัวอย่าง

**ตารางที่ 3.3** การกำหนดช่วงความยาวคลื่นในการจำแนกสเปกตรัมอินฟราเรดของใยอาหาร

Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Assignments	Reference
3000 - 2800	C–H stretching (aliphatic compounds)	Oh et al. (2005); Lammers et al. (2008); Abidi et al. (2014); Pouzet et al. (2017)
1680 - 1600	O–H bending of adsorbed water	Oh et al. (2005); Abidi et al. (2014); Pouzet et al. (2017)
1595, 1514	C–H deformation of lignin	Lammers et al. (2008)
1500 - 1300	C–H bending (crystalline versus amorphous structure of cellulose)	Oh et al. (2005); Marques et al. (2006); Abidi et al. (2014); Ying et al. (2017)
1260 - 1200	C–O stretching of hemicellulose	Corredor et al. (2009); Abidi et al. (2014); Cheikh Rouhou et al. (2018)
1160 - 1035	C–O–C glycoside in cellulose, C–O vibration of crystalline cellulose, C–O stretching and C–C stretching of cellulose	Corredor et al. (2009); Abidi et al. (2014); Ying et al. (2017); Cheikh Rouhou et al. (2018)
1000 - 980	C–O and ring stretching modes, C–O stretching of starch	Lammers et al. (2008); Abidi et al. (2014)
960 - 800	Vibration of the pyranose ring, glucose ring stretch	Lammers et al. (2008); Corredor et al. (2009)

### 3.1.3.3 วิเคราะห์ใยอาหารดัดแปลง

นำตัวอย่างใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลที่ผ่านปรับปรุงด้วยเอนไซม์เซลลูเลส : ไซลานเนส (0:0, 9:3, 36:12 และ 72:24 หน่วย/กรัมของสารตั้งต้น) มาทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) โดยวิธี Phenol sulfuric acid method (Dubois et al., 1956)



วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) โดยวิธี DNS method (Miller, 1995) โดยเปรียบเทียบกับสารละลายกลูโคส และสารละลายไซโลสมาตรฐาน (D-(+)-Glucose  $\geq 99.5\%$ , และ D-(+)-Xylose  $\geq 99\%$ , Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA) จากนั้นคำนวณหาปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์ (non-reducing sugar) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่จับอยู่ในกลุ่มโอลิโกแซ็กคาไรด์ และพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งคาดว่าจะมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก โดยสามารถคำนวณได้จากผลต่างของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตามสมการดังนี้

$$\text{Non-reducing sugar} = \text{total sugar} - \text{reducing sugar}$$

นำตัวอย่างโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลมาทำการวิเคราะห์ปริมาณโยอาหารทั้งหมด โยอาหารที่ละลายน้ำ และโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยใช้ชุดทดสอบโยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber kit, K-TDFR-100A, Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland) รวมถึงทำการทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity; WHC) และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (oil holding capacity; OHC) ตามวิธีของ Yaich et al. (2015) ตามสมการดังนี้

$$\text{WHC (g/g)} = \frac{\text{weights of water adsorbed (g)}}{\text{weights of sample (g)}}$$

$$\text{OHC (g/g)} = \frac{\text{weights of oil adsorbed (g)}}{\text{weights of sample (g)}}$$

#### 3.1.3.4 การหมักในหลอดทดลอง

การจำลองกระบวนการหมักย่อยโยอาหาร และโยอาหารดัดแปลงในหลอดทดลองมีทั้งหมด 9 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 4 ซ้ำ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.4

การศึกษาการหมักในหลอดทดลองดัดแปลงจากวิธีการของ Dunkley et al. (2007) และ Donalson et al. (2008) โดยเก็บตัวอย่างสิ่งย่อย (digesta) จากซีกัมของไก่ไข่สายพันธุ์ทางการค้า อายุ 50–60 สัปดาห์ ใส่ในหลอดเก็บตัวอย่างที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อโรค (autoclave) ขนาด 50 มิลลิลิตร (ใช้สิ่งย่อยภายในระยะเวลา 15 นาทีหลังจากการเก็บตัวอย่าง) จากนั้นนำสิ่งย่อยจากซีกัมมาผสมให้เข้ากัน และนำไปเจือจางกับสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟตแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic phosphate buffer) ที่ความเข้มข้น 1:3,000 (w/v) เพื่อเตรียมเป็นหัวเชื้อ (cecal inoculum) โดยระหว่างการเตรียมต้องเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ลงในสารละลายหัวเชื้อตลอดเวลาเพื่อควบคุมให้อยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic) การทดสอบการหมักในหลอดทดลองโดยชั่งตัวอย่าง 250 มิลลิกรัม ใส่ในขวดแก้ว (vial) ขนาด 10 มิลลิลิตร ที่ปราศจากเชื้อ จากนั้นเติมหัวเชื้อที่เตรียมไว้ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้ว และมีการเปรียบเทียบผลกับกลุ่มควบคุม (control) ที่ไม่มีการใส่โยอาหารลงในหัวเชื้อด้วย ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดผล 2 ช่วง คือ ที่ 0 และ 24 ชั่วโมง

หลังการบ่ม ซึ่งในการบ่มตัวอย่างต้องทำให้สภาวะภายในขวดแก้วไร้ออกซิเจนโดยการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วทำการปิดฝาขวดให้แน่น และนำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การเก็บข้อมูล โดยสุ่มเก็บตัวอย่างจำนวน 1 มิลลิลิตร ในแต่ละกลุ่มการทดลองที่ 0 และ 24 ชั่วโมงหลังการบ่ม นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 10,000x g ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 10 นาที เก็บเฉพาะส่วนใสด้านบน (supernatant) ไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อรอวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติกต่อไป นอกจากนี้ทำการวัดค่า pH ของตัวอย่างหลังการบ่มที่ 24 ชั่วโมง และทำการเก็บตัวอย่างอีก 1 มิลลิลิตร มาตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (*Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp. และ *E. coli*) ด้วยเทคนิคการเจือจางตัวอย่าง (dilution plate count) โดยเลี้ยงเชื้อบนอาหารที่คัดเลือกเฉพาะ (selective medium)

**ตารางที่ 3.4** โยอาหารและอัตราส่วนของเอนไซม์ของตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาการหมักในหลอดทดลอง

Treatment	Dietary fiber source	
	DCP <sup>1</sup>	CDG <sup>2</sup>
Cellulase : xylanase (U/g substrate)	0:0	0:0
	9:3	9:3
	36:12	36:12
	72:24	72:24
Control (cecal inoculum)	-	-

<sup>1</sup> Dried cassava pulp

<sup>2</sup> Cassava distiller's dried grains

#### 3.1.3.4.1 การวิเคราะห์กรดไขมันสายสั้นและกรดแลคติก

วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันสายสั้น ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และบิวทีริก (butyric acid) และวิเคราะห์หาปริมาณกรดแลคติกตามวิธีการของ Mookiah et al. (2014) การเตรียมตัวอย่างโดยนำไปกรองด้วยตัวกรองเข็มฉีดยาซึ่งวัสดุกรองเป็นไนลอนขนาดรูพรุน 0.2 ไมโครเมตร (nylon syringe filter) แยกตัวอย่างออกเป็นสองส่วนทำการเติมสารมาตรฐานภายใน (internal standard) ลงในแต่ละตัวอย่าง คือ 4-methylvaleric acid (Alfa Aesar, United Kingdom) สำหรับการวิเคราะห์กรดไขมันสายสั้น และ fumaric acid (Alfa Aesar, United Kingdom) สำหรับการวิเคราะห์กรดแลคติก ตามลำดับ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (gas chromatography; GC, Agilent 7890B, Agilent Technologies, USA) โดยใช้คอลัมน์ CP-Sil 5 CB (0.32 mm x 25 m fused silica capillary column) และใช้ flame-ionization detector (FID) เป็นตัวตรวจวัด โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานภายนอก (external standard) คือ กรดไขมันสายสั้นผสม (mix Volatile fatty acid C2-C7, Supelco, USA) และลิเทียมแลคเตท (lithium lactate, Alfa Aesar, United Kingdom) สำหรับการวิเคราะห์กรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก ตามลำดับ

การคำนวณความเข้มข้นสุดท้ายของกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก  
 ดัดแปลงตามวิธีการของ Donalson et al. (2008) โดยคำนวณจากผลต่างระหว่างความเข้มข้นที่ 24 ชั่วโมง  
 และ 0 ชั่วโมง จากการหมักในหลอดทดลองตามสมการดังนี้

$$\text{Net short-chain fatty acid production} = S_{(t 24)} - S_{(t 0)}$$

$$\text{Net lactic acid production} = L_{(t 24)} - L_{(t 0)}$$

เมื่อ,  $S_{(t 24)}$  และ  $S_{(t 0)}$  คือ ปริมาณกรดไขมันสายสั้น (mM/ml) ที่ 24 ชั่วโมง และ 0 ชั่วโมง ตามลำดับ

$L_{(t 24)}$  และ  $L_{(t 0)}$  คือ ปริมาณกรดแลคติก (mM/ml) ที่ 24 ชั่วโมง และ 0 ชั่วโมง ตามลำดับ

### 3.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ตาม  
 แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มการทดลองโดยวิธี  
 Tukey's post hoc test โดยใช้โปรแกรมสถิติ SPSS เวอร์ชัน 18.0 (SPSS, Inc., 2010)

การวิเคราะห์ข้อมูลในหัวข้อที่ 3.1.3.3 มีการวิเคราะห์ Orthogonal contrasts เพิ่มเติมเพื่อ  
 เปรียบเทียบดังนี้ 1) โยอาหารจากกากมันสำปะหลัง vs. โยอาหารจากกากมันเอทานอล 2) โยอาหารที่สกัดได้  
 จากกากมันสำปะหลัง vs. โยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังด้วยการใช้เอนไซม์เซลลูเลส : ไชลานเนส  
 และ 3) โยอาหารที่สกัดได้จากกากมันเอทานอล vs. โยอาหารดัดแปลงจากกากมันเอทานอลด้วยการใช้  
 เอนไซม์เซลลูเลส : ไชลานเนส

การวิเคราะห์ข้อมูลการหมักในหลอดทดลอง (หัวข้อที่ 3.1.3.4) มีการวิเคราะห์  
 Orthogonal contrasts เพื่อเปรียบเทียบดังนี้ 1) กลุ่มควบคุม (cecal inoculum) vs. โยอาหารจากกากมัน  
 สำปะหลังและกากมันเอทานอล 2) โยอาหารจากกากมันสำปะหลัง vs. โยอาหารจากกากมันเอทานอล 3)  
 โยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลัง vs. โยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังด้วยการใช้เอนไซม์  
 เซลลูเลส : ไชลานเนส และ 4) โยอาหารที่สกัดได้จากกากมันเอทานอล vs. โยอาหารดัดแปลงจากกากมันเอทานอล  
 ด้วยการใช้อินไซม์เซลลูเลส : ไชลานเนส

## 3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของโยอาหารดัดแปลงในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ ได้ของโภชนะ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาระดับที่เหมาะสมของโยอาหารดัดแปลงต่อการย่อยได้และ  
 การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ

### 3.2.1 การเตรียมโยอาหารดัดแปลง

การเตรียมโยอาหารโดยเลือกใช้สภาวะการสกัด และการดัดแปลงโยอาหารที่เหมาะสมที่สุด  
 จากการทดลองที่ 1 คือ การสกัดโยอาหารจากกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความ

เข้มข้น 6% และผ่านการดัดแปลงด้วยเอนไซม์เซลลูเลส : ไชลาเนส ที่อัตราส่วน 36:12 หน่วย/กรัมของสารตั้งต้น ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์เป็น “ใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง หรือ modified-dietary fiber from cassava pulp (M-DFCP)” โดยการเตรียมใยอาหารครั้งนี้มีการปรับขนาดของการสกัดให้ใหญ่ขึ้น และใช้เอนไซม์เกรดอุตสาหกรรม (industrial grade) ได้แก่ แอลฟา-อะไมเลส (ผลิตจาก *Bacillus subtilis*, SinoBios, China) เซลลูเลส (ผลิตจาก *Trichoderma reesei*, SinoBios, China) และไชลาเนส (ผลิตจาก *Trichoderma reesei*, SinoBios, China)

โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง ได้แก่ ความชื้น และไขมัน ตามวิธีของ AOAC (1990) และการวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธี Dumas combustion technique ตามวิธีของ AOAC (2006) รวมถึงวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยใช้ชุดทดสอบใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber kit, K-TDFR-100A, Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland) และการวิเคราะห์ปริมาณเซลโลโอลิโกแซคคาไรด์ (cello-oligosaccharides; COS) และไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ (xylo-oligosaccharides; XOS) โดยใช้เครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (ion chromatography, Dionex ICS-5000, Thermo Scientific, Waltham, USA) ดัดแปลงจากวิธีการของ Yong et al. (2013) องค์ประกอบทางเคมีของใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และไชลาเนสที่อัตราส่วน 36:12 หน่วย/กรัมของสารตั้งต้น ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.5

**ตารางที่ 3.5** องค์ประกอบทางเคมีของใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง

Composition (%)	Modified-dietary fiber from cassava pulp
Dry matter	94.14
Crude protein	1.70
Ether extract	0.19
Total dietary fiber	28.07
Soluble dietary fiber	2.22
Insoluble dietary fiber	25.85
Cello-oligosaccharides	2.47
Xylo-oligosaccharides	16.26

### 3.2.2 สัตว์ทดลองและอาหารทดลอง

ใช้ไก่เนื้อเพศผู้ สายพันธุ์รอส 308 (ross 308) อายุ 1 วัน น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 40 กรัม เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 4 กลุ่ม ได้แก่ อาหารสูตรควบคุม (control) และอาหารเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง 3 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.0 และ 1.5% ทำการเลี้ยงไก่จนถึงอายุ 21 วัน จากนั้นทำการสุ่มไก่เนื้อจำนวน 3 ตัวต่อซ้ำ ขึ้นเลี้ยงบนกรงการย่อยได้ (metabolic cage) และให้อาหารผสมโททาเนียมไดออกไซด์

0.3% (titanium dioxide;  $\text{TiO}_2$ , Sigma Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA) เพื่อใช้เป็นสารดัชนีบ่งชี้ (indicator marker) ในการศึกษาการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 7 ซ้ำ ระยะเวลาในการทดลอง 7 วัน ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ซึ่งไก่เนื้อจะได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ตลอดการทดลอง

โดยอาหารทดลองแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย

- กลุ่มที่ 1 อาหารสูตรควบคุม
- กลุ่มที่ 2 M-DFCP ที่ระดับ 0.5%
- กลุ่มที่ 3 M-DFCP ที่ระดับ 1.0%
- กลุ่มที่ 4 M-DFCP ที่ระดับ 1.5%

อาหารทดลองทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีน พลังงาน และโภชนะที่เพียงพอกับความ ต้องการของไก่เนื้อ ตามคำแนะนำของ NRC (1994) และ Ross 308: broiler nutrition specification (2014) รายละเอียดสูตรอาหารทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.6

### 3.2.3 การเก็บมูล

การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะโดยวิธีใช้สารบ่งชี้ (indigestible marker method) ทำการ สุ่มไก่เนื้อที่อายุ 21 วัน ขึ้นเลี้ยงบนกรงการย่อยได้ ซึ่งไก่จะได้ปรับตัวบนกรง 4 วัน จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างมูล ประมาณ 200 กรัมต่อซำ เป็นระยะเวลา 3 วัน (ไก่เนื้ออายุ 26–28 วัน) นำตัวอย่างมูลไก่ที่เก็บได้ในแต่ละครั้ง มาแช่เย็นทันที จากนั้นนำมูลที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55–60 °C และรวมตัวอย่างมูลของทั้ง 3 วันเข้าด้วยกัน ทำการบดมูลแห้งให้ละเอียดขนาดประมาณ 1.0 มิลลิเมตร และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อรอ วิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี นำข้อมูลมาใช้คำนวณค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และการย่อยได้ของ โภชนะต่อไป

### 3.2.4 การวิเคราะห์ทางเคมี

1. วิเคราะห์หาพลังงานรวม (gross energy; GE) ในอาหารทดลองและมูล ตามวิธีของ AOAC (1990) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงาน (bomb calorimeter, IKA รุ่น C6000, GmbH, Germany)
2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหารทดลอง และมูล ได้แก่ ความชื้น เถ้า และไขมัน ตาม วิธีของ AOAC (1990) และการวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธี Dumas combustion technique ตามวิธีของ AOAC (2006) โดยใช้เครื่อง rapid MAX N exceed, N/protein analyzer (Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany) และใช้กรดแอสพาร์ติก (L-aspartic acid, Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA) เป็นตัวเปรียบเทียบมาตรฐาน
3. วิเคราะห์ปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ในอาหารทดลอง และมูลตามวิธีของ Short et al. (1996)

ตารางที่ 3.6 ส่วนประกอบของสูตรอาหารในการทดลองที่ 3.2 (as-fed basis)

Ingredients	Control	M-DFCP <sup>1</sup>		
		0.5%	1.0%	1.5%
Corn	54.76	54.76	54.76	54.76
Soybean meal, 44% CP	24.82	24.82	24.82	24.82
Full-fat soybean	8.50	8.50	8.50	8.50
Meat meal, 58% CP	1.05	1.08	1.12	1.16
Cassava starch	2.55	1.70	0.85	0.00
Rice bran oil	4.82	5.14	5.45	5.76
M-DFCP <sup>1</sup>	0.00	0.50	1.00	1.50
Calcium carbonate (CaCO <sub>3</sub> )	1.06	1.06	1.06	1.06
Monocalcium phosphate (P21)	1.12	1.12	1.12	1.12
Sodium chloride (NaCl)	0.44	0.44	0.44	0.44
L-lysine	0.08	0.08	0.08	0.08
DL-methionine	0.26	0.26	0.26	0.26
L-threonine	0.04	0.04	0.04	0.04
Premix <sup>2</sup>	0.50	0.50	0.50	0.50
<b><i>Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>)</i></b>	<b>0.30</b>	<b>0.30</b>	<b>0.30</b>	<b>0.30</b>
<b>Calculated composition (%)</b>				
Metabolizable energy (kcal/kg)	3,200	3,200	3,200	3,200
Calcium	0.79	0.79	0.79	0.79
Available phosphorus	0.39	0.39	0.39	0.39
Digestible lysine	1.03	1.03	1.03	1.03
Digestible methionine	0.53	0.53	0.53	0.53
Digestible methionine + cystine	0.80	0.80	0.80	0.80
Digestible threonine	0.69	0.69	0.69	0.69
<b>Analyzed composition (%)</b>				
AMEn <sup>3</sup> (kcal/kg)	3,276	3,279	3,369	3,272
Dry matter	91.27	90.50	90.93	90.90
Crude protein	19.88	19.90	19.44	19.90
Ether extract	9.05	9.30	9.45	9.56
Crude fiber	2.81	3.29	3.73	4.29
Ash	5.63	5.93	5.89	5.83

<sup>1</sup> Modified-dietary fiber from cassava pulp.

<sup>2</sup> Premix (0.5%) provided the following (per kg of diet): vitamin A (trans-retinyl acetate), 15,000 IU; vitamin D3 (cholecalciferol), 3,000 IU; vitamin E (DL- $\alpha$ -tocopherol), 25 IU; vitamin K3 (menadione nicotinamide bisulphite), 5 mg; thiamine (thiamine-mononitrate), 2 mg; riboflavin, 7 mg; pyridoxine (pyridoxine. HCl), 4 mg; vitamin B12 (cyanocobalamin), 25  $\mu$ g; pantothenic acid (D-Ca pantothenate), 11.04 mg; niacin (nicotinic acid), 35 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 15  $\mu$ g; choline chloride, 250 mg; Cu (copper sulfate), 6.4 mg; Mn (manganese oxide), 100 mg; Zn (zinc oxide), 75 mg; Fe (iron sulfate), 0.40 g; I (calcium iodate), 0.40 mg; Se (sodium selenite), 0.36 mg.

<sup>3</sup> AMEn = apparent metabolizable energy corrected for nitrogen.

### 3.2.5 การคำนวณการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

การคำนวณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (apparent metabolizable energy corrected for nitrogen; AMEn) และการคำนวณการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ คำนวณตามวิธีการของ Kong and Adeola (2014) ตามสมการดังนี้

$$\text{AMEn (kcal/kg)} = \left( \text{GE}_{\text{diet}} - \left[ \frac{\text{GE}_{\text{excreta}} \times \text{CI input}}{\text{CI output}} \right] \right) - (\text{NR} \times 8.22)$$

เมื่อ,  $\text{GE}_{\text{diet}}$  และ  $\text{GE}_{\text{excreta}}$  คือ ค่าพลังงานรวม (kcal/kg) ของอาหาร และมูล ตามลำดับ  
 $\text{CI input}$  และ  $\text{CI output}$  คือ ปริมาณสารบ่งชี้ (marker, %) ในอาหาร และมูล ตามลำดับ  
 $\text{NR}$  คือ ปริมาณไนโตรเจนที่เก็บสะสม (N retention) (g/kg)  
 8.22 คือ ค่าคงที่ของพลังงานรวมของไนโตรเจนในกรดยูริกสำหรับสัตว์ปีก (kcal/g)

$$\text{Digestibility (\%)} = 100 - \left( \left[ \frac{\text{CI input} \times \text{CC output}}{\text{CI output} \times \text{CC input}} \right] \times 100 \right)$$

เมื่อ,  $\text{CI input}$  และ  $\text{CI output}$  คือ ปริมาณสารบ่งชี้ (marker, %) ในอาหาร และมูล ตามลำดับ  
 $\text{CC input}$  และ  $\text{CC output}$  คือ ปริมาณองค์ประกอบทางโภชนะ (%) ในอาหาร และมูล ตามลำดับ

### 3.2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Tukey's post hoc test โดยใช้โปรแกรมสถิติ SPSS เวอร์ชัน 18.0 (SPSS, Inc., 2010)

## 3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของใยอาหารดัดแปลงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะพื้นฐาน วิทยาของทางเดินอาหาร ประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนท้าย การผลิตกรดไขมันสายสั้น การผลิตแอมโมเนีย ค่าทางชีวเคมีของโลหิต และปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อไก่

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ใยอาหารดัดแปลงในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต การพัฒนาของระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ น้ำหนักกระเพาะบด (empty gizzard) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้ การศึกษาจำนวนประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และก่อโรคในซีกัม การผลิตกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติกในซีกัม การผลิตแอมโมเนีย การศึกษาค่าทางชีวเคมีของโลหิต และการตอบสนองของภูมิคุ้มกันในไก่เนื้อ นอกจากนี้มีการศึกษาปริมาณการสะสมคอเลสเตอรอลในเนื้อไก่

### 3.3.1 การเตรียมใยอาหารดัดแปลง

ใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังมีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมใยอาหารในหัวข้อที่ 3.2.1

### 3.3.2 สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่เนื้อเพศผู้ สายพันธุ์รอส 308 (ross 308) อายุ 1 วัน น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น  $40 \pm 0.2$  กรัม จำนวน 336 ตัว ทำการสุ่มไก่แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 7 ซ้ำ ๆ ละ 12 ตัว โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ไก่แต่ละซ้าเลี้ยงในคอกแบบปล่อยพื้นขนาด  $1.0 \times 2.0$  เมตร ซึ่งมีแกลบเป็นวัสดุรองพื้น มีถาดให้อาหาร และมีระบบการให้น้ำอัตโนมัติแบบหัวหยด (nipple) ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 42 วัน ทำการกักลูกไก่เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ไก่ทุกตัวได้รับวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิล และโรคหลอดลมอักเสบติดต่อกันที่อายุ 7 วัน และวัคซีนป้องกันโรคกัมโปโรที่อายุ 14 วัน ไก่ได้รับน้ำ และอาหารอย่างเต็มที่ตลอดการทดลอง

### 3.3.3 อาหารทดลอง

อาหารทดลองทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีน พลังงาน และโภชนาที่เพียงพอกับความ ต้องการของไก่เนื้อ ตามคำแนะนำของ NRC (1994) และ Ross 308: broiler nutrition specification (2014) ซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่วงอายุ คือ ที่ 0–10 วัน (starter) ที่ 11–21 วัน (grower) และที่ 22–42 วัน (finisher)

โดยอาหารทดลองที่ใช้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย

- กลุ่มที่ 1 อาหารสูตรควบคุม
- กลุ่มที่ 2 M-DFCP ที่ระดับ 0.5%
- กลุ่มที่ 3 M-DFCP ที่ระดับ 1.0%
- กลุ่มที่ 4 M-DFCP ที่ระดับ 1.5%

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหาร (ความชื้น เถ้า ไขมัน และเยื่อใย) ตามวิธีของ AOAC (1990) และวิเคราะห์โปรตีนโดยการวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธี Dumas combustion technique ตามวิธีของ AOAC (2006) ใช้เครื่อง rapid MAX N exceed, N/protein analyzer (Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany) ใช้กรดแอสพาร์ติก (L-aspartic acid, Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA) เป็นตัวเปรียบเทียบมาตรฐาน และคำนวณปริมาณโปรตีนจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดคูณแฟกเตอร์ 6.25 วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยใช้ชุดทดสอบ ใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber kit, K-TDFR-100A, Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland) ส่วนประกอบของอาหารทดลอง และองค์ประกอบทางโภชนาที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.7 และ 3.8



ตารางที่ 3.7 ส่วนประกอบของสูตรอาหารในการทดลองที่ 3.3 (as-fed basis)

Ingredients	Starter diets				Grower diets				Finisher diets			
	Control	M-DFCP <sup>1</sup>			Control	M-DFCP <sup>1</sup>			Control	M-DFCP <sup>1</sup>		
		0.5%	1.0%	1.5%		0.5%	1.0%	1.5%		0.5%	1.0%	1.5%
Corn	51.83	51.83	51.83	51.83	52.42	52.42	52.42	52.42	54.76	54.76	54.76	54.76
Soybean meal, 44% CP	31.55	31.55	31.55	31.55	28.05	28.05	28.05	28.05	24.82	24.82	24.82	24.82
Full-fat soybean	5.00	5.00	5.00	5.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.50	8.50	8.50	8.50
Meat meal, 58% CP	3.13	3.16	3.20	3.23	3.12	3.16	3.20	3.23	1.05	1.08	1.12	1.16
Cassava starch	2.53	1.69	0.84	0.00	2.53	1.68	0.84	0.00	2.55	1.70	0.85	0.00
Rice bran oil	2.64	2.95	3.26	3.57	3.60	3.91	4.21	4.52	4.82	5.14	5.45	5.76
M-DFCP <sup>1</sup>	0.00	0.50	1.00	1.50	0.00	0.50	1.00	1.50	0.00	0.50	1.00	1.50
Calcium carbonate	0.95	0.95	0.95	0.95	0.89	0.89	0.89	0.89	1.06	1.06	1.06	1.06
Monocalcium phosphate	1.02	1.02	1.02	1.02	0.98	0.98	0.98	0.98	1.12	1.12	1.12	1.12
Sodium chloride	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.44	0.44	0.44	0.44
L-lysine	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
DL-methionine	0.27	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.26	0.26	0.26	0.26
L-threonine	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
Premix <sup>2</sup>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
<b>Calculated composition (%)</b>												
Metabolizable energy (kcal/kg)	3,010	3,010	3,010	3,010	3,100	3,100	3,100	3,100	3,200	3,200	3,200	3,200
Calcium	0.90	0.90	0.90	0.90	0.87	0.87	0.87	0.87	0.79	0.79	0.79	0.79
Available phosphorus	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.39	0.39	0.39	0.39
Digestible lysine	1.18	1.18	1.18	1.18	1.15	1.15	1.15	1.15	1.03	1.03	1.03	1.03
Digestible methionine	0.57	0.57	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58	0.58	0.53	0.53	0.53	0.53
Digestible methionine + cysteine	0.88	0.88	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.87	0.80	0.80	0.80	0.80
Digestible threonine	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.69	0.69	0.69	0.69

<sup>1</sup> Modified-dietary fiber from cassava pulp.

<sup>2</sup> Premix (0.5%) provided the following (per kg of diet): vitamin A (trans-retinyl acetate), 15,000 IU; vitamin D3 (cholcalciferol), 3,000 IU; vitamin E (DL- $\alpha$ -tocopherol), 25 IU; vitamin K3 (menadione nicotinamide bisulphite), 5 mg; thiamine (thiamine-mononitrate), 2 mg; riboflavin, 7 mg; pyridoxine (pyridoxine. HCl), 4 mg; vitamin B12 (cyanocobalamin), 25  $\mu$ g; pantothenic acid (D-Ca pantothenate), 11.04 mg; niacin (nicotinic acid), 35 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 15  $\mu$ g; choline chloride, 250 mg; Cu (copper sulfate), 6.4 mg; Mn (manganese oxide), 100 mg; Zn (zinc oxide), 75 mg; Fe (iron sulfate), 0.40 g; I (calcium iodate), 0.40 mg; Se (sodium selenite), 0.36 mg.

ตารางที่ 3.8 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารในการทดลองที่ 3.3 (as-fed basis)

Composition (%)	Starter diets				Grower diets				Finisher diets			
	Control	M-DFCP <sup>1</sup>			Control	M-DFCP <sup>1</sup>			Control	M-DFCP <sup>1</sup>		
		0.5%	1.0%	1.5%		0.5%	1.0%	1.5%		0.5%	1.0%	1.5%
Dry matter	90.23	90.41	90.71	90.89	89.98	90.01	89.87	89.98	91.27	90.50	90.93	90.90
Crude protein	23.39	22.86	22.25	22.27	21.45	21.79	21.36	22.23	19.88	19.90	19.44	19.90
Ether extract	4.75	5.38	4.84	5.89	7.27	7.97	8.42	8.15	9.05	9.30	9.45	9.56
Ash	6.40	6.45	6.55	5.91	5.86	5.97	6.01	5.96	5.63	5.93	5.89	5.83
Crude fiber	2.64	3.42	3.78	4.17	3.11	3.15	3.76	4.06	2.81	3.26	3.51	4.23
Nitrogen free extract <sup>2</sup>	53.05	52.30	53.28	52.64	52.30	51.13	50.32	49.58	53.91	52.11	52.64	51.38
Total dietary fiber	11.23	11.52	11.81	11.86	10.47	10.52	10.57	10.66	10.28	10.33	10.72	10.94
Soluble dietary fiber	2.60	2.62	2.64	2.66	2.49	2.58	2.56	2.49	2.36	2.34	2.41	2.43
Insoluble dietary fiber	8.63	8.90	9.17	9.20	7.98	7.94	8.01	8.17	7.92	7.99	8.31	8.51
IDF : SDF <sup>3</sup>	3.32	3.40	3.47	3.46	3.21	3.08	3.13	3.28	3.36	3.41	3.45	3.50

<sup>1</sup> Modified-dietary fiber from cassava pulp.

<sup>2</sup> Nitrogen free extract (NFE), % = 100 - (%Moisture + %Ash + %Crude protein + %Ether extract + %Crude fiber).

<sup>3</sup> Ratios of insoluble and soluble dietary fiber.

### 3.3.4 การเก็บข้อมูล

#### 3.3.4.1 สมรรถนะการเจริญเติบโต

ทำการบันทึกน้ำหนักตัว (body weight; BW) ปริมาณอาหารที่กิน (feed intake; FI) ทุกสัปดาห์ของไก่ในแต่ละกลุ่มการทดลอง เพื่อคำนวณอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average dairy gain; ADG) และมีการบันทึกทุกครั้งที่มีการมีไก่ตาย เพื่อคำนวณอัตราการตาย ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการผลิต (productive index; PI)

$$\text{อัตราการตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนไก่ตาย (ตัว)} - \text{จำนวนไก่ทั้งหมด (ตัว)} \times 100}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด (ตัว)}}$$

$$\text{ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กก.)} \times \text{อัตราการเลี้ยงรอด (\%)} \times 100}{\text{อายุ (วัน)} \times \text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)}}$$

#### 3.3.4.2 การเก็บตัวอย่างเมื่อไก่เนื้ออายุ 21 และ 42 วัน

ทำการสุ่มไก่คอกละ 2 ตัว (กลุ่มการทดลองละ 14 ตัว) ที่อายุ 21 และ 42 วัน (ไม่ต้องอดอาหาร) ทำการเจาะเลือดบริเวณใต้ปีก (wing vein) โดยแบ่งเลือดออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) เก็บใส่ในหลอด Lithium heparin สำหรับศึกษาค่าทางชีวเคมีของโลหิต และ 2) เก็บใส่ในหลอด clotted blood เพื่อเก็บซีรัม โดยเก็บเลือดใส่หลอดแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เลือดแข็งตัวในเวลา 30 นาที และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,000 × g เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C สำหรับศึกษาภูมิคุ้มกัน เมื่อเก็บเลือดแล้วจึงทำให้ไก่สลบ และเชือดเพื่อเปิดช่องท้อง จากนั้นแยกส่วนเครื่องในบันทึกข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยาของทางเดินอาหาร ได้แก่ น้ำหนักของกระเพาะ (proventriculus) กระเพาะบด ตับ (liver) ไขมันช่องท้อง (abdominal fat) และลำไส้ส่วนต่าง ๆ ทำการบันทึกค่า pH ของสิ่งย่อยในกระเพาะบด และบันทึกความยาวของลำไส้ทุกส่วน ได้แก่ ดูโอดินัม (duodenum) เจจูนัม (jejunum) และอิลีียม (ileum) จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างของลำไส้ความยาวประมาณ 1.0–1.5 เซนติเมตร ไว้ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอร์มาลิน 10% (เป็นการเก็บรักษาเนื้อเยื่อ) เพื่อนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้ ทำการเก็บตัวอย่างสิ่งย่อยจากซีรัมใส่ในหลอดเก็บตัวอย่างที่ปราศจากเชื้อขนาด 15 มิลลิลิตร นำตัวอย่างสิ่งย่อยเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป นอกจากนี้เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ไก่เนื้ออายุ 42 วัน ได้ทำการเก็บตัวอย่างเนื้อหน้าอก เนื้อสะโพก และตับไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป

#### 3.3.4.3 สิ่งที่ต้องการศึกษา

##### 1. ค่าทางชีวเคมีของโลหิต

การศึกษาค่าทางชีวเคมีของโลหิต ได้แก่ ปริมาณคอเลสเตอรอลรวม (total cholesterol) และไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ในเลือด โดยใช้เครื่องตรวจเลือดอัตโนมัติ (automatic clinical chemistry, A15 analyzer) การวิเคราะห์หาปริมาณภูมิคุ้มกันรวม (total immunoglobulin; total Ig)

โดยใช้ชุดทดสอบอิมมูโนโกลบูลิน (Micro Lowry, Peterson's Modification, Sigma, Product Codes: TP0300-1KT) และการวิเคราะห์ปริมาณไลโซไซม์ (lysozyme) ในซีรัมตามวิธีการของ Kreukniet et al. (1995) โดยใช้ *Micrococcus lysodeikticus* เป็นเซลล์สับสเตรท (substrate)

## 2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้

โดยนำชิ้นเนื้อของลำไส้ที่เก็บรักษาไว้ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอร์มาลิน 10% มาผ่านกระบวนการเตรียมด้วยเครื่องเตรียมชิ้นเนื้อแบบอัตโนมัติ (automatic tissue processor) ก่อนนำตัวอย่างไปทำการฝังชิ้นเนื้อ (embedding) ลงในบล็อกพาราฟิน (embedding mold) โดยใช้เครื่องฝังชิ้นเนื้อ (embedding center) และทิ้งให้บล็อกพาราฟินที่มีชิ้นเนื้อฝังอยู่แข็งตัวบนแท่นทำความเย็น จากนั้นนำบล็อกชิ้นเนื้อมาตัด (section) ด้วยเครื่องไมโครทอม (microtome) ให้เนื้อเยื่อมีความหนาขนาด 4 ไมโครเมตร นำเนื้อเยื่อที่ตัดแล้วมาลอยในอ่างลอยเนื้อเยื่อ (tissue floating bath) ที่อุณหภูมิ 45 °C และทำการติดเนื้อเยื่อกับสไลด์ด้วยการซ้อนเนื้อเยื่อให้แปะติดลงบนสไลด์ (polysine slides) แล้วนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 45 °C ทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นนำสไลด์พร้อมเนื้อเยื่อไปย้อมสี (staining) โดยการย้อมสีสไลด์ด้วยวิธีฮีมาทอกซิลิน (hematoxylin) และอีโอซิน (eosin) (H & E stain) นำสไลด์เนื้อเยื่อไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยากล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 เท่า (Objective 10X) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคของความสูงของวิลไล (villi height) ความลึกของคริปต์ (crypt depth) และอัตราส่วนระหว่างความสูงของวิลไลกับความลึกของคริปต์ (villi height: crypt depth ratio) ในลำไส้

## 3. วิเคราะห์ประชากรจุลินทรีย์โดยเทคนิค quantitative real-time PCR (qPCR)

ทำการวิเคราะห์จำนวนประชากรจุลินทรีย์ ได้แก่ Lactic acid bacterial (LAB) *Bifidobacterium* spp. *Enterobacter* spp. และ *E. coli* ในตัวอย่างสิ่งย่อยจากซีกัม โดยตัดแปลงจากวิธีการของ Sharmila et al. (2015) นำตัวอย่างสิ่งย่อยจากซีกัมมาสกัด DNA ด้วยชุดสกัด DNA สำเร็จรูป (QIAamp Fast DNA Stool kit, Qiagen Inc., Hilden, Germany) และวัดคุณภาพของ DNA ที่ช่วงคลื่น A260/A280 ด้วยเครื่อง NanoVue Plus Nano Drop spectrophotometer (GE Healthcare, UAS) นำตัวอย่าง DNA เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -80 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

นำตัวอย่าง DNA ที่เตรียมไว้ในข้างต้นมาวิเคราะห์หาปริมาณ DNA เป้าหมายด้วยเทคนิค qPCR โดยใช้เครื่อง LightCycler 480 (Roche Diagnostics, GmbH, Mannheim, Germany) สำหรับการทดสอบใช้ไพรเมอร์ (primers) ที่มีความจำเพาะต่อแบคทีเรียที่สนใจ (ตารางที่ 3.9) และใช้ชุด SYBR green (SYBR Green PCR kit, Qiagen Inc., Valencia, USA) เป็นตัวตรวจปฏิบัติการ โดยมีความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจำนวน 10.0 ไมโครลิตร ประกอบด้วย SYBR Green Master Mix จำนวน 5.0 ไมโครลิตร forward primer และ reverse primer ที่ความเข้มข้น 10uM อย่างละ 0.4 ไมโครลิตร ตัวอย่าง DNA จำนวน 2.0 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น nuclease free water (ใส่ให้ได้ปริมาตรรวม 10.0 ไมโครลิตร) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ในการทำปฏิกิริยาจะมีตัวควบคุมลบ (negative control) โดยใช้ น้ำกลั่น nuclease free water แทน DNA ของแบคทีเรีย และตัวควบคุมบวก (positive control) ใช้ DNA จากเชื้อจุลินทรีย์มาตรฐาน (standard bacterial strains) โดยเชื้อจุลินทรีย์มาตรฐานที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่

*Lactobacillus acidophilus* (ATCC 4356) *Bifidobacterium bifidum* (ATCC 29521) *Enterobacter cloacae* (ATCC 13047) และ *Escherichia coli* (ATCC 25922) จาก American Type Culture Collection (ATCC; Manassas, USA)

**ตารางที่ 3.9** ไพรเมอร์สำหรับการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์จากซีกัมของไก่เนื้อโดยเทคนิค qPCR

Target bacteria	Primer sequences (5'-3')	Annealing temperature (°C)	Reference
LAB	F: CATCCAGTGCAAACCTAAGAG R: GATCCGCTTGCCTTCGCA	58	Rezaei et al. (2015)
Bifidobacteria	F: GGGTGGTAATGCCGGATG R: TAAGCCATGGACTTTCACACC	60	Rezaei et al. (2015)
Enterobacteria	F: CATTGACGTTACCCGCAGAAGAAGC R: CTCTACGAGACTCAAGCTTGC	60	Rezaei et al. (2015)
<i>E. coli</i>	F: GTGTGATATCTACCCGCTTCGC R: AGAACGCTTTGTGGTTAATCAGGA	50	Rezaei et al. (2015)

#### 4. วิเคราะห์กรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก

ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันสายสั้น (acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyric acid, isovaleric acid, และ valeric acid) และกรดแลคติกในตัวอย่างสิ่งย่อยจากซีกัม โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Mookiah et al. (2014) เตรียมตัวอย่างสิ่งย่อยผสมกับสารละลาย (24% metaphosphoric acid ใน 1.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ที่อัตราส่วน 1:1 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 × g เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C และเก็บตัวอย่างส่วนใสด้านบนนำไปกรองด้วยตัวกรองเข็มฉีดยาซึ่งวัสดุกรองเป็นไนลอนขนาดรูพรุน 0.2 ไมโครเมตร นำสารละลายตัวอย่างไปทำวิเคราะห์กรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติกโดยมีวิธีการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 3.1.3.4.1

#### 5. วิเคราะห์แอมโมเนียในสิ่งย่อยจากซีกัมและมูล

ทำการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในทางเดินอาหารส่วนท้าย และมูล ตามวิธีการของ Willis et al. (1996) โดยชั่งตัวอย่าง 250 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลอง และเติมสารละลายลิเทียมคาร์บอเนตร้อยละ 5 (5% Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปผสมให้เข้ากัน (vortex) และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 × g เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C จากนั้นดูดสารละลายส่วนใส 500 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองเติมสารซาลิไซเลต รีเอเจนต์ (salicylate reagent) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และสารไฮโปคลอไรต์ (hypochlorite) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 685 นาโนเมตรด้วยเครื่อง Spectrophotometer นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียโดยเปรียบเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) ของแอมโมเนีย

## 6. วิเคราะห์คอเลสเตอรอลในเนื้อไก่และตับ

ทำการวิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อหน้าอก เนื้อสะโพก และตับ ตามวิธีการของ Rowe et al. (1999) เตรียมตัวอย่างเนื้อ และตับโดยบดให้ละเอียด จากนั้นชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร (round bottom flask) เติมสารคลอโรฟอร์ม : เมทานอล : ไอโซโพรพานอล ในอัตราส่วน 90 : 5 : 5 (chloroform : methanol : isopropanol, 90 : 5 : 5) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 60 (60% KOH) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและทำการสกัดแบบไหลกลับ (reflux) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำสารละลายตัวอย่างมาวางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมเฮกเซน (hexane) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที จะเห็นการแยกชั้นของเฮกเซนซึ่งจะอยู่ชั้นบน ทำการปิเปตสารละลายชั้นบนของขวด ปริมาตร 12.5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง และทำให้แห้งโดยใช้แก๊สไนโตรเจน ( $N_2$ ) ทำการเติมสารละลาย 5-แอลฟาคอเลสเตอรอล (5- $\alpha$ -cholestane, Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA) เพื่อเป็นสารมาตรฐานภายในและนำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (GC, Agilent 7890B, Agilent Technologies, USA) โดยใช้คอลัมน์ HP-5 (0.32 mm x 0.25  $\mu$ m fused silica capillary column) และใช้ flame-ionization detector (FID) เป็นตัวตรวจวัด โดยเปรียบเทียบกับสารคอเลสเตอรอลมาตรฐาน (cholesterol, Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA)

### 3.3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Tukey's post hoc test และทำการวิเคราะห์แนวโน้มของการใช้ modified-dietary fiber จากกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ด้วยวิธี Orthogonal polynomials โดยใช้โปรแกรมสถิติ SPSS เวอร์ชัน 18.0 (SPSS, 2010)

## 3.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาผลของใยอาหารดัดแปลงในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนท้าย การผลิตกรดไขมันสายสั้นและการผลิตแอมโมเนีย

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาระดับที่เหมาะสมของใยอาหารดัดแปลงต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ การตอบสนองของน้ำหนักกระเพาะบดและค่า pH ของสิ่งย่อยในกระเพาะบด จำนวนประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และก่อโรคในซีกัม การผลิตกรดไขมันสายสั้น และแอมโมเนียในซีกัมของไก่ไข่

### 3.4.1 การเตรียมใยอาหารดัดแปลง

ใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังมีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมใยอาหารในหัวข้อที่ 3.2.1

### 3.4.2 สัตว์ทดลองและอาหารทดลอง

ใช้ไก่ไข่สายพันธุ์การค้ำ (ISA brown) อายุ 69 สัปดาห์ จำนวน 32 ตัว ทำการสุ่มไก่ไข่โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 8 ซ้ำ ๆ ละ 1 ตัว เลี้ยงบนกรงการย่อยได้ (metabolic cage) แบบขังเดี่ยว มีระยะเวลาในการทดลอง 20 วัน ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ซึ่งไก่ทุกตัวจะได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ตลอดการทดลอง

โดยอาหารทดลองแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย

- กลุ่มที่ 1 อาหารสูตรควบคุม
- กลุ่มที่ 2 M-DFCP ที่ระดับ 0.5%
- กลุ่มที่ 3 M-DFCP ที่ระดับ 1.0%
- กลุ่มที่ 4 M-DFCP ที่ระดับ 1.5%

อาหารทดลองทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีน พลังงาน และโภชนาที่เพียงพอกับความ ต้องการของไก่ไข่ ตามคำแนะนำของ NRC (1994) และ ISA Brown Commercial Management Guide (2015) รายละเอียดสูตรอาหารทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.10

### 3.4.3 การเก็บข้อมูล

การศึกษาการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาด้วยวิธีเก็บมูลทั้งหมด (total collection) โดยทำการเลี้ยงไก่ไข่บนกรงการย่อยได้ซึ่งไก่จะได้ปรับตัวบนกรง 7 วัน จากนั้นในช่วงวันที่ 8–10 ของการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างมูลทั้งหมดที่ไก่ขับถ่ายออกมาวันละ 1 ครั้ง นำตัวอย่างมูลไก่ที่เก็บได้ในแต่ละวันไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55–60 °C และรวมตัวอย่างมูลของทั้ง 3 วันเข้าด้วยกัน ทำการบดมูลแห้งให้ละเอียดขนาดประมาณ 1.0 มิลลิเมตร และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อรอวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีต่อไป

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มไก่ไข่กลุ่มการทดลองละ 3 ตัว (โดยไม่ต้องอดอาหาร) หลังจากนั้นทำให้สลบ และเชือดเพื่อเปิดช่องท้อง แยกส่วนเครื่องในเพื่อบันทึกน้ำหนักของกระเพาะบด (gizzard) และค่า pH ของสิ่งย่อยในกระเพาะบด จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างสิ่งย่อยจากซีกัมใส่ในหลอดเก็บตัวอย่างขนาด 15 มิลลิลิตร ที่ปราศจากเชื้อ นำตัวอย่างสิ่งย่อยเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์กรดไขมันสายสั้น กรดแลคติก และแอมโมเนีย

ตารางที่ 3.10 ส่วนประกอบของสูตรอาหารในการทดลองที่ 3.4 (as-fed basis)

Ingredients	Control	M-DFCP <sup>1</sup>		
		0.50%	1.00%	1.50%
Corn	52.0	52.0	52.0	52.0
Soybean meal, 44% CP	17.0	17.0	17.0	17.0
Full-fat soybean	5.42	5.42	5.42	5.42
Meat meal, 58% CP	5.60	5.60	5.60	5.60
Rice bran	6.14	6.14	6.14	6.14
Cassava starch	2.61	1.75	0.88	0.00
Rice bran oil	1.29	1.65	2.02	2.40
M-DFCP <sup>1</sup>	0.00	0.50	1.00	1.50
Calcium carbonate (CaCO <sub>3</sub> )	9.13	9.13	9.13	9.13
Monocalcium phosphate (P21)	0.10	0.10	0.10	0.10
Sodium chloride (NaCl)	0.31	0.31	0.31	0.31
DL-methionine	0.15	0.15	0.15	0.15
Premix <sup>2</sup>	0.25	0.25	0.25	0.25
<b>Calculated composition (%)</b>				
Metabolizable energy (kcal/kg)	2,850	2,850	2,850	2,850
Calcium	4.00	4.00	4.00	4.00
Available phosphorus	0.34	0.34	0.34	0.34
Digestible lysine	0.87	0.87	0.87	0.87
Digestible methionine	0.42	0.42	0.42	0.42
Digestible methionine + cystine	0.63	0.63	0.63	0.63
Digestible threonine	0.58	0.58	0.58	0.58
Crude fiber	3.04	3.12	3.21	3.29
Total dietary fiber	8.25	8.39	8.53	8.67
Soluble dietary fiber	1.70	1.71	1.72	1.73
Insoluble dietary fiber	6.21	6.34	6.46	6.59
<b>Analyzed composition (%)</b>				
Dry matter	91.32	91.46	91.61	91.28
Crude protein	20.09	18.31	19.15	18.42
Ether extract	6.52	7.38	7.42	6.91
Ash	13.13	13.08	12.90	12.87

<sup>1</sup> Modified-dietary fiber from cassava pulp.

<sup>2</sup> Premix (0.25%) provided the following (per kg of diet): vitamin A, 11,000 IU; vitamin D3, 3,000 IU; vitamin E, 11 IU; vitamin K3, 5 mg; vitamin B1, 2 mg; vitamin B2, 6 mg; vitamin B6, 3 mg; vitamin B12, 0.011 mg; pantothenic acid, 11 mg; niacin, 20 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 0.04 mg; Cu, 10 mg; Mn, 80 mg; Zn, 80 mg; Fe, 75 mg; I, 0.4 mg; Se, 0.25 mg.



### 3.4.4 การวิเคราะห์ทางเคมีและจุลินทรีย์

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหารทดลองและมูล ได้แก่ ความชื้น เถ้า และไขมัน ตามวิธีของ AOAC (1990) และการวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธี Dumas combustion technique ตามวิธีของ AOAC (2006)

2. การวิเคราะห์จำนวนประชากรจุลินทรีย์ ได้แก่ *Bifidobacterium* spp., *Lactobacillus* spp., *Enterobacter* spp. และ *E. coli* ในตัวอย่างสิ่งย่อยจากซีกัมโดยเทคนิค qPCR โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในหัวที่ 3.3.4.3 หัวข้อย่อยที่ 3

3. วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันสายสั้น และแอมโมเนียในตัวอย่างสิ่งย่อยจากซีกัม โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในหัวที่ 3.3.4.3 หัวข้อย่อยที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

### 3.4.5 การคำนวณการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

นำข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร และมูลมาคำนวณการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ตามสมการดังนี้

การย่อยได้ของวัตถุดิบ (%)

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

การย่อยได้ของโภชนะ (%)

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

### 3.4.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Tukey's post hoc test โดยใช้โปรแกรมสถิติ SPSS เวอร์ชัน 18.0 (SPSS, Inc., 2010)

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลของการสกัดและการดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลเพื่อผลิตใยอาหารที่มีความเหมาะสมสำหรับเป็นสารเสริมในอาหารสัตว์ปีก

##### 4.1.1 องค์ประกอบของใยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ผลของการสกัดใยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ (2, 4, 6 และ 8%) ต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 โดยพบว่าใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลัง (cassava pulp extracted dietary fiber; DF-CP) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 6 และ 8% มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 และ 4% ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้พบว่าใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันเอทานอล (cassava distiller's dried grains extracted dietary fiber; DF-CDG) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4, 6 และ 8% มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2% ( $p < 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำทั้งในใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่าง ๆ

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลคือการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับ 6–8% และ 4–8% ตามลำดับ โดยแหล่งของใยอาหารทั้งสองชนิดมีใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ จากการรวบรวมเอกสารพบว่าเฮมิเซลลูโลสบางชนิด เช่น เบต้า-กลูแคน เพคติน และกัมสามารถจำแนกออกเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ ในขณะที่เซลลูโลส และลิกนินถูกจำแนกเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Dhingra et al., 2012; Choct, 2015) ซึ่งเซลลูโลสนั้นเป็นองค์ประกอบหรือโครงสร้างหลักของผนังเซลล์ของพืช และมีอยู่ในผลพลอยได้จากมันสำปะหลังทั้งกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอล (Kosugi et al., 2009; Choct, 2015; Wan et al., 2015a) จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่ารำข้าวสกัดน้ำมันที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับ 0.6% สามารถให้ผลผลิตและความบริสุทธิ์สูงสุดของใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Daou and Zhang, 2013) การศึกษาของ Samanta et al. (2014) พบว่าการสกัดผลพลอยได้จากการเกษตรด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้มีปริมาณไซแลนมากกว่า 90% ซึ่งมีผลสอดคล้องกับไซแลนในชานอ้อย (Jayapal et al., 2013) นอกจากนี้ Harun and Geok (2016) รายงานว่าฟางข้าวที่ได้รับการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นมีส่วนประกอบของกลูแคนและลิกนินที่ต่ำลง

**ตารางที่ 4.1** ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

Compositions (%)	Concentration of NaOH levels				Pooled SEM
	2%	4%	6%	8%	
<b>Cassava pulp extracted dietary fiber</b>					
Total dietary fiber	23.60 <sup>b</sup>	24.29 <sup>b</sup>	27.93 <sup>a</sup>	27.60 <sup>a</sup>	0.57
Soluble dietary fiber	3.65	2.57	3.19	2.84	0.19
Insoluble dietary fiber	19.95 <sup>b</sup>	21.72 <sup>ab</sup>	24.73 <sup>a</sup>	24.76 <sup>a</sup>	0.63
<b>Cassava distiller's dried grains extracted dietary fiber</b>					
Total dietary fiber	22.85 <sup>b</sup>	25.12 <sup>a</sup>	25.33 <sup>a</sup>	25.35 <sup>a</sup>	0.30
Soluble dietary fiber	2.38	2.59	2.33	2.32	0.06
Insoluble dietary fiber	20.46 <sup>b</sup>	22.53 <sup>a</sup>	23.00 <sup>a</sup>	23.03 <sup>a</sup>	0.31

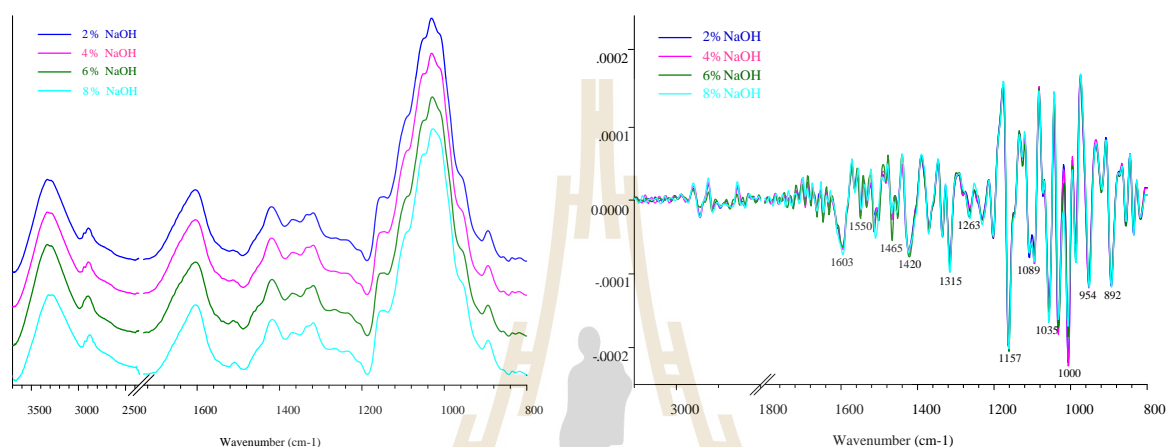
<sup>a, b</sup> Means with different superscripts in a row are significantly different at  $p < 0.05$ .

#### 4.1.2 FTIR spectra ของใยอาหารที่สกัดจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์สเปกตรัมของใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอล จำนวน 428 และ 434 ตามลำดับ ซึ่งสเปกตรัมนี้จะใช้ในการตรวจสอบกลุ่มฟังก์ชัน (functional groups) ของใยอาหารที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8% โดยพบว่าช่วงที่  $1700-800 \text{ cm}^{-1}$  เป็นช่วงคลื่นที่เด่นชัดของใยอาหารซึ่งช่วงความยาวคลื่นนี้เป็นกลุ่มฟังก์ชันของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการวัดเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยสเปกตรัมของใยอาหารที่สกัดได้ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.1 และ 4.2

ผลการวิเคราะห์แบบกึ่งปริมาณ (semi-quantitative analysis) ของใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอล โดยการวิเคราะห์ FTIR spectra ของใยอาหารแต่ละชนิดในรูปของสัดส่วนของกลุ่มฟังก์ชันดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 โดยพบว่าใยอาหารจากกากมันสำปะหลังที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 6% มีปริมาณของโครงสร้างที่เป็นเซลลูโลส (C-H bending of crystalline cellulose, C-O-C glycoside, C-O and C-C stretching of cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (C-O stretching of hemicellulose) สูงกว่าการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 และ 4% ( $p < 0.05$ ) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการสกัดใยอาหารจากกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 8% ( $p > 0.05$ ) สำหรับผลการวิเคราะห์กึ่งปริมาณของใยอาหารจากกากมันเอทานอล พบว่าการสกัดใยอาหารจากกากมันเอทานอลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4% ส่งผลให้มีปริมาณของโครงสร้างที่เป็นเซลลูโลส (C-O-C glycoside, C-O and C-C stretching of cellulose) มากกว่าการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% ( $p < 0.05$ )

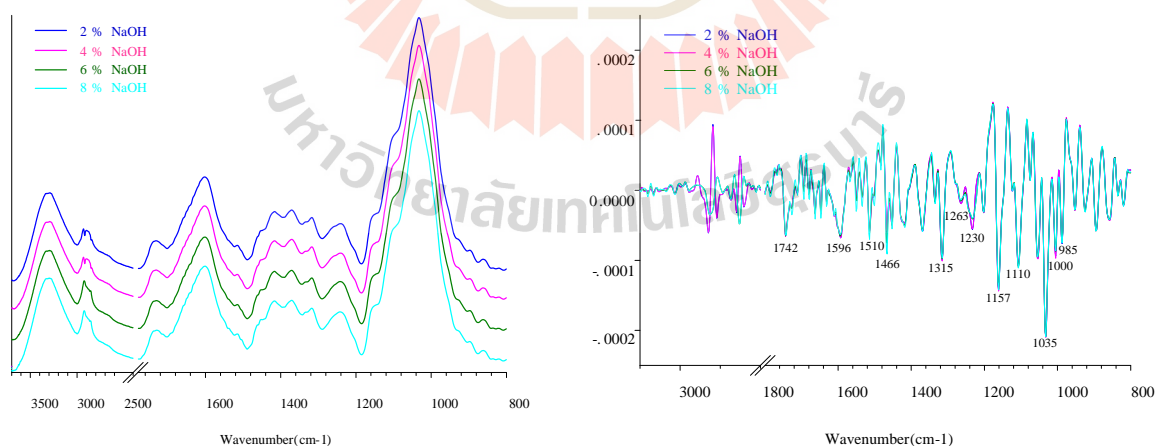
การใช้เทคนิค FTIR สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับกลุ่มฟังก์ชันของ C–O, C–O–C glycoside และ C–C จากเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แป้ง และกลูโคสในใยอาหารที่ผ่านการสกัด (Lammers et al., 2008; Corredor et al., 2009; McKee et al., 2016) โดยการวิเคราะห์หึ่งปริมาณของ FTIR spectra ด้วยการใช้ออปต์แวร์ OPUS เพื่อเฉลี่ยสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ใต้พีคในช่วงความยาวคลื่น 3500–800  $\text{cm}^{-1}$  พบว่าสัดส่วนสัมพัทธ์ขององค์ประกอบในใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลัง และใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันเอทานอล ให้ผลที่คล้ายกับองค์ประกอบทางเคมี คือการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับ 6% และ 4% ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีกลุ่มฟังก์ชันของเซลลูโลสสูง



(A) Average original FTIR spectra of DF-CP

(B) The 2<sup>nd</sup> derivative spectra of DF-CP

ภาพที่ 4.1 FTIR spectra ของใยอาหารจากกากมันสำปะหลังที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8%



(A) Average original FTIR spectra of DF-CDG

(B) The 2<sup>nd</sup> derivative spectra of DF-CDG

ภาพที่ 4.2 FTIR spectra ของใยอาหารจากกากมันเอทานอลที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8%

**ตารางที่ 4.2** การวิเคราะห์ FTIR spectra ของใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลในรูปของ สัดส่วนของกลุ่มฟังก์ชัน (FTIR spectra integration)

Item	Concentration of NaOH levels				Pooled SEM
	2%	4%	6%	8%	
<b>Cassava pulp extracted dietary fiber</b>					
C-H stretching	5.33	6.22	4.52	5.08	0.38
O-H bending of adsorbed water	8.86	8.87	7.79	8.52	0.17
C-H deformation of lignin	0.66	0.79	0.75	0.73	0.04
C-H bending of crystalline cellulose	18.20 <sup>bc</sup>	17.06 <sup>c</sup>	19.54 <sup>a</sup>	18.57 <sup>ab</sup>	0.27
C-O stretching of hemicellulose	5.40 <sup>a</sup>	5.04 <sup>b</sup>	5.41 <sup>a</sup>	5.32 <sup>a</sup>	0.05
C-O-C glycoside, C-O and C-C stretching of cellulose	25.28 <sup>b</sup>	25.51 <sup>b</sup>	26.56 <sup>a</sup>	25.69 <sup>ab</sup>	0.17
C-O stretching of starch	17.96	18.21	18.75	19.11	0.24
Vibration of the pyranose ring	18.15	17.97	16.99	17.15	0.23
<b>Cassava distiller's dried grains extracted dietary fiber</b>					
C-H stretching	3.56 <sup>ab</sup>	3.89 <sup>a</sup>	2.43 <sup>bc</sup>	2.10 <sup>c</sup>	0.25
O-H bending of adsorbed water	7.52	6.84	6.98	6.41	0.18
C-H deformation of lignin	1.03	0.68	0.81	0.87	0.08
C-H bending of crystalline cellulose	29.03 <sup>a</sup>	27.30 <sup>ab</sup>	27.71 <sup>ab</sup>	26.38 <sup>b</sup>	0.37
C-O stretching of hemicellulose	5.60	6.02	5.80	5.34	0.12
C-O-C glycoside, C-O and C-C stretching of cellulose	20.57 <sup>b</sup>	22.58 <sup>a</sup>	21.95 <sup>a</sup>	22.28 <sup>a</sup>	0.26
C-O stretching of starch	22.67 <sup>c</sup>	23.23 <sup>bc</sup>	24.36 <sup>ab</sup>	25.64 <sup>a</sup>	0.35
Vibration of the pyranose ring	10.03 <sup>b</sup>	9.44 <sup>b</sup>	9.94 <sup>b</sup>	10.98 <sup>a</sup>	0.18

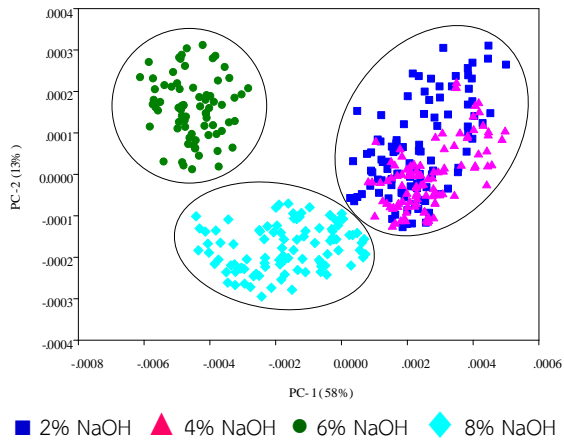
a, b, c Means with different superscripts in a row are significantly different at  $p < 0.05$ .

#### 4.1.3 การวิเคราะห์ PCA

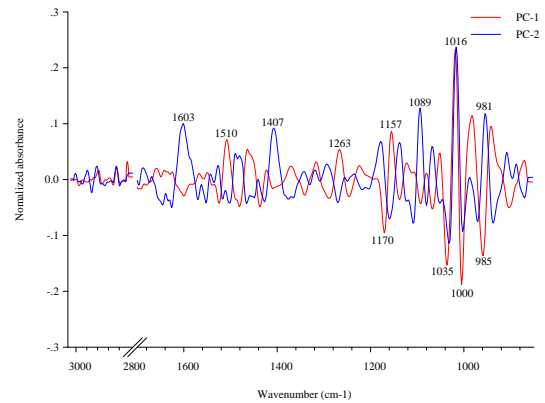
การกระจายสเปกตรัมของใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอล เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวอย่างระหว่างสเปกตรัม และวิธีการสกัดใยอาหารด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8% ซึ่ง FTIR spectra สามารถแสดงลักษณะโครงสร้างทางเคมีโดยการระบุกลุ่มฟังก์ชันที่มีอยู่ในแต่ละตัวอย่าง โดยผลการวิเคราะห์ PCA ของใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลังดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.3 พบว่าค่า PC-1 และ PC-2 คือ 58% และ 13% ตามลำดับ ซึ่งใยอาหารจากกากมันสำปะหลังที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 และ 8% แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างจากการสกัดด้วย

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 และ 4% ใน PC-1 ซึ่งแสดงกลุ่มฟังก์ชัน ได้แก่ C–O–C stretch ( $1170\text{ cm}^{-1}$ ) และ C–O vibrations ( $1035\text{ cm}^{-1}$ ) ของเซลลูโลส และพบ C–O and ring stretching ( $1000$  และ  $985\text{ cm}^{-1}$ ) ดังแสดงในสเปกตรัมอนุพันธ์ที่สอง (ภาพที่ 4.3B) ในขณะที่การสกัดโยอาหารจากกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 6% แสดงความแตกต่างจากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 8% ใน PC-2 โดยพบกลุ่มฟังก์ชันของ O–H bending of adsorbed water ( $1603\text{ cm}^{-1}$ ) C–H bending of crystalline cellulose ( $1407\text{ cm}^{-1}$ ) C–O and C–O–C stretching of cellulose ( $1089$  and  $1016\text{ cm}^{-1}$ ) และ C–O stretching of starch ( $981\text{ cm}^{-1}$ ) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.3B นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ PCA ของโยอาหารที่สกัดได้จากกากมันเอทานอลดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.4 โดยพบการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมใน PC-1 และ PC-2 ซึ่งมีสัดส่วน 30% และ 23% ตามลำดับ โดย PC-1 แสดงให้เห็นว่าการสกัดโยอาหารจากกากมันเอทานอลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 และ 4% มีความแตกต่างจากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 6 และ 8% (ภาพที่ 4.4A) ซึ่งพบกลุ่มฟังก์ชันของ C–H bending ( $1472\text{ cm}^{-1}$ ) C–O and ring stretching ( $1000\text{ cm}^{-1}$ ) และ vibration of the pyranose ring, glucose ring stretch ( $954\text{ cm}^{-1}$ ) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.4B สำหรับความแตกต่างระหว่างการสกัดโยอาหารจากกากมันเอทานอลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 และ 4% แสดงใน PC-2 (ภาพที่ 4.4A) โดยแสดงกลุ่มฟังก์ชันของ O–H bending of adsorbed water ( $1620\text{ cm}^{-1}$ ) C–H bending of crystalline cellulose ( $1316\text{ cm}^{-1}$ ) และ C–O stretching and C–C stretching of cellulose ( $1078$  และ  $1018\text{ cm}^{-1}$ ) ดังแสดงในสเปกตรัมอนุพันธ์ที่สอง (ภาพที่ 4.4B)

ผลการวิเคราะห์ FTIR spectra ของโยอาหารด้วยการวิเคราะห์ PCA พบว่าสภาวะการสกัดโยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลที่เหมาะสม คือ 6% และ 4% ตามลำดับ โดยผลลัพธ์เหล่านี้ให้ผลที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณโยอาหารด้วย FTIR แบบกึ่งปริมาณ นอกจากนี้ยังพบว่าโยอาหารทั้งสองแหล่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Uthumporn et al. (2014) รายงานว่าองค์ประกอบหลักของ NSPs ที่สกัดจากแป้งสาาคูคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน และ ลิกนิน จากการใช้ FTIR ในการวิเคราะห์ Chirinang et al. (2014) รายงานว่า FTIR spectra ของโยอาหารจากมันสำปะหลังแสดงช่วงคลื่นที่  $1031\text{--}1005\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งช่วงคลื่นนี้เป็นช่วงจำเพาะ (fingerprint) ของโพลีแซคคาไรด์ ดังนั้นจากการวิเคราะห์ผลต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่า FTIR spectroscopy สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว และแม่นยำสำหรับการประเมิน และตรวจสอบโยอาหารได้

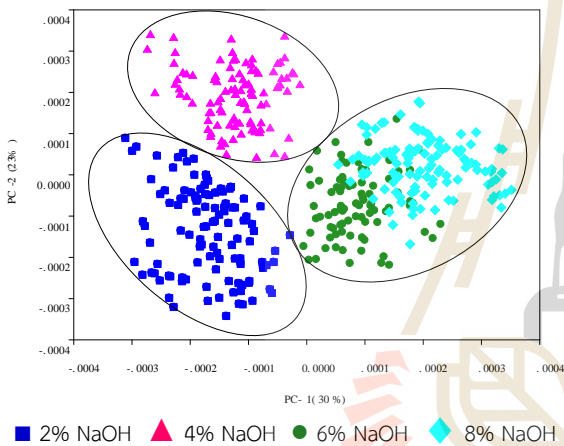


(A) PCA scores plot of DF-CP

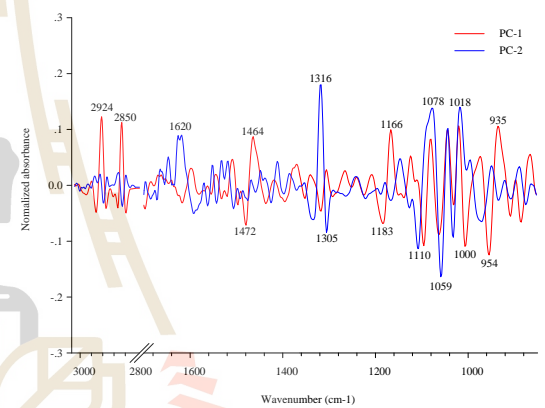


(B) PCA loading plot of DF-CP

ภาพที่ 4.3 ค่า PCA จากการวิเคราะห์ FTIR spectra ของใยอาหารจากกากมันสำปะหลังที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8%



(A) PCA scores plot of DF-CDG



(B) PCA loading plot of DF-CDG

ภาพที่ 4.4 ค่า PCA จากการวิเคราะห์ FTIR spectra ของใยอาหารจากกากมันเอทานอลที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8%

#### 4.1.4 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของใยอาหารและใยอาหารดัดแปลง

ผลของการดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังและกากเอทานอลด้วยเอนไซม์ cellulase และ xylanase ที่ระดับ 0:0, 9:3, 36:12 และ 72:24 U/g substrate ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 จากการทดลองพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์ของใยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มการทดลองแบบ orthogonal contrasts พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์ (D-glucose และ D-xylose) ของใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง (modified-dietary fiber from cassava pulp; M-DFCP) มีค่าสูงกว่าใยอาหารจากกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์ ( $p < 0.01$ ) ในขณะที่ใยอาหารดัดแปลงจากกากมันเอทานอล (modified-dietary fiber from cassava distiller's dried grain; M-DFCDG) ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย

เอนไซม์ทุกระดับมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของ D-xylose ( $p < 0.05$ ) โดยอัตราส่วนของเอนไซม์ cellulase และ xylanase ที่ระดับ 36:12 และ 72:24 U/g substrate ในการปรับปรุงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังสามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (D-glucose) น้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์ (D-xylose) ได้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เอนไซม์ที่อัตราส่วน 0:0 และ 9:3 U/g substrate ( $p < 0.05$ )

นอกจากนี้พบว่าแหล่งของใยอาหารจากกากมันสำปะหลังมีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารทั้งหมดมากกว่าแหล่งของใยอาหารจากกากมันเอทานอล ( $p < 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตามการดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์นั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารทั้งหมด ( $p > 0.05$ ) ในขณะที่การดัดแปลงใยอาหารจากกากมันเอทานอลด้วยเอนไซม์สามารถเพิ่มปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (orthogonal contrasts,  $p < 0.01$ ) จากผลการศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารพบว่าใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าใยอาหารดัดแปลงจากกากมันเอทานอล ( $p < 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตามค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของใยอาหารทั้งสองแหล่งไม่มีความแตกต่างกัน ( $p > 0.05$ )

ผลของการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตใยอาหารจากกากมันสำปะหลังโดยการปรับปรุงโครงสร้างให้มีสายพอลิเมอร์ที่สั้นลงด้วยเอนไซม์ cellulase และ xylanase พบว่าอัตราส่วนของเอนไซม์ที่เหมาะสมคือ 36:12 U/g substrate สามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (D-glucose) น้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์ (D-xylose) และความสามารถในการอุ้มน้ำในได้ ในขณะที่การดัดแปลงใยอาหารจากกากมันเอทานอลด้วยเอนไซม์นั้นไม่มีผลต่อพารามิเตอร์ที่วัดยกเว้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของ D-xylose จากผลการทดลองบ่งชี้ให้เห็นว่าใยอาหารจากกากมันสำปะหลังมีโครงสร้างของโมเลกุลที่ซับซ้อนน้อยกว่าใยอาหารจากกากมันเอทานอล ดังนั้นจึงสามารถย่อยสลายให้มีโครงสร้างที่สั้นลงได้ง่ายกว่า ซึ่งจากการรวบรวมเอกสารพบว่าในกากมันเอทานอลมีองค์ประกอบของลิกนินสูงประมาณ 8.69% (Wan et al., 2015b) จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เอนไซม์ที่ใช้ (cellulase และ xylanase) ย่อยสลายสายพอลิเมอร์ได้ยาก อีกทั้งผลของการศึกษาในข้างต้นด้วยเทคนิค FTIR แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบหลักของใยอาหารในกากมันสำปะหลังนั้นประกอบด้วยโครงสร้างเชิงเตียวของเซลลูโลสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic C–O–C linkages) แต่ใยอาหารจากกากมันเอทานอลมีส่วนประกอบของเซลลูโลสในรูปแบบของผลึก (crystalline cellulose) ซึ่งการจัดเรียงระหว่างสายของเซลลูโลสจะมีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และระหว่างโมโนเมอร์ในแต่ละห่วงโซ่จึงส่งผลให้เซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นผลึก และมีความแข็งแรง (Altaner et al., 2014) นอกจากนี้ Jayapal et al. (2013) ศึกษาการผลิต xylo-oligosaccharides จากชานอ้อยพบว่าอุณหภูมิ ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ และระยะเวลาในการบ่มเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สำหรับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำนั้นบ่งบอกถึงลักษณะทางกายภาพของใยอาหารต่อความสามารถในการเก็บรักษาซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อสรีรวิทยาของระบบทางเดินอาหาร จากผลการทดลองการดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ cellulase และ xylanase ที่อัตราส่วน 72:24 U/g substrate พบว่ามีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 2.62 (gw/g) ซึ่งมีค่าคล้ายกับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหาร



จากเปลือกข้าวโอ๊ต (2.13 gw/g) และเปลือกข้าว (2.58 gw/g) (Jacometti et al., 2015) แต่อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับแหล่งของใยอาหาร และ ขั้นตอนวัด เช่น อุณหภูมิ ค่า pH เวลา และการหมუნเหวี่ยง (Yaich et al., 2015)

#### 4.1.5 ผลของการหมักใยอาหารและใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังและกากมันเอทานอลใน หลอดทดลอง (*in vitro* fermentation)

ผลการจำลองกระบวนการหมักในหลอดทดลองของใยอาหารและใยอาหารดัดแปลงที่สกัดจาก กากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลด้วยเชื้อจุลินทรีย์จากสิ่งย่อยในซี้กัมต่อเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองด้วยวิธี orthogonal contrasts พบว่าใยอาหารและใยอาหารดัดแปลงจากทั้งกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอล สามารถเพิ่มจำนวนประชากรจุลินทรีย์ *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. ได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมใยอาหารในกระบวนการหมัก ( $p < 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ของ *E. coli* ( $p > 0.05$ ) โดยใยอาหารจากกากมันสำปะหลังมีผลในการเพิ่มจำนวนของ *Bifidobacterium* spp. ได้ดีกว่าใยอาหารจากกากมันเอทานอล ( $p < 0.05$ )

ผลของการหมักใยอาหารและใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอล ด้วยเชื้อจุลินทรีย์จากสิ่งย่อยในซี้กัมต่อปริมาณกรดไขมันสายสั้น กรดแลคติก และค่า pH ดังแสดงไว้ในตาราง ที่ 4.4 จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองโดยวิธี orthogonal contrasts พบว่าใยอาหาร และใยอาหารดัดแปลงจากทั้งกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลสามารถเพิ่มการผลิต กรดไขมันสายสั้น (กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทริก) และกรดแลคติก และสามารถลดค่า pH หลัง การหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมงได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีใยอาหารในกระบวนการหมัก ( $p < 0.05$ ) ใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังสามารถลดค่า pH และเพิ่มการผลิตกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก ได้สูงกว่าใยอาหารดัดแปลงจากกากมันเอทานอล ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้พบว่าใยอาหารดัดแปลงจากกากมัน สำปะหลังสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติกได้สูงกว่าใยอาหารที่ไม่ผ่านการ ปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์ ( $p < 0.05$ ) แต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในใยอาหารที่ได้จากกากมันเอทานอล ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นปริมาณการผลิตกรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทริกที่เพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ )

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าใยอาหารจากกากมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าใยอาหาร จากกากมันเอทานอล ยิ่งไปกว่านั้นการดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์แสดงผลต่อ พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาดีกว่าใยอาหารที่ไม่ผ่านการปรับปรุง โดยการใส่เอนไซม์ cellulase และ xylanase ที่อัตราส่วน 36:12 และ 72:24 U/g substrate เพื่อปรับปรุงคุณภาพใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง พบว่า ใยอาหารดัดแปลงที่ใช้เอนไซม์ในระดับดังกล่าวเมื่อผ่านกระบวนการหมักในหลอดทดลองเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถเพิ่มการผลิตกรดไขมันสายสั้นได้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับใยอาหารที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และกลุ่ม ควบคุมที่ไม่ได้เสริมใยอาหารระหว่างกระบวนการหมัก

โดยการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. การ เพิ่มความเข้มข้นของกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก รวมถึงการลดค่า pH หลังกระบวนการหมักในหลอด

ทดลองอาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หรือแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) ในซีกัมสามารถใช้โยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลเป็นแหล่งของสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโต และสร้างผลผลิตเป็นกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก ซึ่งสารเหล่านี้มีผลทำให้ค่า pH ลดลง และเอื้อต่อการมีชีวิตของจุลินทรีย์ที่ชอบสภาพเป็นกรด เช่น *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. ส่งผลให้ประชากรจุลินทรีย์เหล่านี้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Donalson et al. (2008) พบว่าจุลินทรีย์ในซีกัมสามารถหมักย่อยเซลลูโลส และส่งผลต่อการผลิตกรดอะซิติกที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การศึกษาของ Dunkley et al. (2007) และ Zdunczyk et al. (2015) รายงานว่าการหมักในหลอดทดลองของโยอาหารจากกากถั่วเหลือง เปลือกถั่วเหลือง และอัลฟัลฟา ซึ่งจัดเป็นโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ สามารถเพิ่มจำนวนประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และเพิ่มการผลิตกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทริก และไอโซบิวทริกได้ ดังนั้นจึงถือได้ว่าโยอาหารมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร นอกจากนี้การตัดแปลงโยอาหารด้วยเอนไซม์ cellulase และ xylanase สามารถช่วยย่อยสลายพันธะ NSPs ของโยอาหารให้สั้นลงได้ จึงส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์จากโยอาหารได้ดีขึ้น ซึ่งความยาวของสายโครงสร้าง (degree of polymerization, DP) ของโยอาหารที่สั้นหรือโยอาหารที่มีค่า DP ต่ำ เมื่อนำไปทำการหมักในหลอดทดลองพบว่าจุลินทรีย์จากซีกัมสามารถหมักย่อยได้ดีส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์และเพิ่มการผลิตกรดไขมันสายสั้น ซึ่งค่า DP นั้นมีอิทธิพลต่อความเร็วในกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ (Yacoubi et al., 2016; Ravn et al., 2017) ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงประโยชน์ที่จะนำไปใช้กับสัตว์ปีกและการผลิตที่มีต้นทุนต่ำ การใช้เอนไซม์ที่อัตราส่วน 36:12 U/g substrate น่าจะเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของใยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอลที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเอนไซม์<sup>1</sup>

Item	Dietary fiber from DCP				Dietary fiber from CDG				Pooled SEM	Orthogonal contrasts <sup>2</sup>		
	DF-CP	M-DFCP			DF-CDG	M-DFCDG				1	2	3
		0:0	9:3	36:12		72:24	0:0	9:3				
Glucose standard (mg/g)												
Reducing sugar	6.46 <sup>b</sup>	6.51 <sup>b</sup>	7.32 <sup>a</sup>	7.92 <sup>a</sup>	4.61 <sup>c</sup>	4.65 <sup>c</sup>	4.67 <sup>c</sup>	4.79 <sup>c</sup>	0.23	<0.01	<0.01	0.61
Total sugar	19.88 <sup>c</sup>	22.90 <sup>c</sup>	26.58 <sup>b</sup>	32.57 <sup>a</sup>	8.32 <sup>d</sup>	8.54 <sup>d</sup>	8.65 <sup>d</sup>	8.93 <sup>d</sup>	1.67	<0.01	<0.01	0.69
Non-reducing sugar <sup>3</sup>	13.42 <sup>c</sup>	16.40 <sup>bc</sup>	19.26 <sup>b</sup>	24.65 <sup>a</sup>	3.71 <sup>d</sup>	3.89 <sup>d</sup>	3.98 <sup>d</sup>	4.14 <sup>d</sup>	0.17	<0.01	<0.01	0.70
Xylose standard (mg/g)												
Reducing sugar	3.99 <sup>c</sup>	4.23 <sup>c</sup>	4.89 <sup>b</sup>	5.50 <sup>a</sup>	2.24 <sup>d</sup>	2.55 <sup>d</sup>	2.58 <sup>d</sup>	2.66 <sup>d</sup>	0.21	<0.01	<0.01	0.03
Total sugar	11.77 <sup>b</sup>	13.27 <sup>b</sup>	17.09 <sup>a</sup>	18.83 <sup>a</sup>	5.06 <sup>c</sup>	5.32 <sup>c</sup>	5.11 <sup>c</sup>	5.48 <sup>c</sup>	1.00	<0.01	<0.01	0.72
Non-reducing sugar <sup>3</sup>	7.78 <sup>b</sup>	9.05 <sup>b</sup>	12.20 <sup>a</sup>	13.33 <sup>a</sup>	2.82 <sup>c</sup>	2.77 <sup>c</sup>	2.53 <sup>c</sup>	2.82 <sup>c</sup>	0.12	<0.01	<0.01	0.11
Soluble dietary fiber (%)	3.23 <sup>a</sup>	3.20 <sup>a</sup>	3.25 <sup>a</sup>	3.51 <sup>a</sup>	2.18 <sup>b</sup>	2.25 <sup>b</sup>	2.27 <sup>b</sup>	2.28 <sup>b</sup>	0.11	<0.01	0.65	0.66
Insoluble dietary fiber (%)	24.96 <sup>a</sup>	25.15 <sup>a</sup>	25.72 <sup>a</sup>	25.64 <sup>a</sup>	22.22 <sup>b</sup>	22.77 <sup>b</sup>	23.20 <sup>b</sup>	23.16 <sup>b</sup>	0.26	<0.01	0.15	0.03
Total dietary fiber (%)	28.19 <sup>a</sup>	28.35 <sup>a</sup>	28.97 <sup>a</sup>	29.15 <sup>a</sup>	24.40 <sup>b</sup>	25.02 <sup>b</sup>	25.47 <sup>b</sup>	25.44 <sup>b</sup>	0.34	<0.01	0.09	0.02
Water holding capacity (g <sub>w</sub> /g <sub>s</sub> )	2.44 <sup>bc</sup>	2.39 <sup>cd</sup>	2.58 <sup>ab</sup>	2.62 <sup>a</sup>	2.20 <sup>e</sup>	2.28 <sup>de</sup>	2.27 <sup>de</sup>	2.37 <sup>cd</sup>	0.03	<0.01	0.02	0.01
Oil holding capacity (g <sub>o</sub> /g <sub>s</sub> )	4.12	4.29	4.32	4.33	4.11	4.21	4.2	4.27	0.02	0.09	<0.01	0.09

a, b, c, d, e Means with different superscripts in a row are significantly different at p<0.05.

<sup>1</sup> Cellulase and xylanase ratios, 0:0, 9:3, 36:12, and 72:24 U/g substrate.

<sup>2</sup> Orthogonal contrasts: 1) dietary fiber from DCP vs. dietary fiber from CDG, 2) DF-CP vs. M-DFCP treated with cellulase : xylanase, and 3) DF-CDG vs. M-DFCDG treated with cellulase : xylanase.

<sup>3</sup> Non-reducing sugar = total sugar - reducing sugar

ตารางที่ 4.4 ประชากรจุลินทรีย์ *Lactobacillus Bifidobacterium* และ *E. coli* (log CFU/ml) ความเข้มข้นของกรดไขมันสายสั้นและกรดแลคติก (mM/ml) และค่า pH หลังการหมักโยอาหารในหลอดทดลอง

Item	Dietary fiber from DCP <sup>1</sup>				Dietary fiber from CDG <sup>1</sup>				Control <sup>2</sup>	Pooled SEM	Orthogonal contrasts <sup>3</sup>			
	DF-CP	M-DFCP			DF-CDG	M-DFCDG					1	2	3	4
		0:0	9:3	36:12		72:24	0:0	9:3						
<i>Lactobacillus</i> spp.	6.30 <sup>a</sup>	6.21 <sup>a</sup>	6.21 <sup>a</sup>	6.29 <sup>a</sup>	6.38 <sup>a</sup>	6.42 <sup>a</sup>	6.21 <sup>a</sup>	6.00 <sup>ab</sup>	5.53 <sup>b</sup>	0.05	<0.01	0.98	0.64	0.20
<i>Bifidobacterium</i> spp.	6.14 <sup>a</sup>	6.16 <sup>a</sup>	6.10 <sup>a</sup>	6.08 <sup>ab</sup>	5.96 <sup>ab</sup>	5.91 <sup>ab</sup>	5.93 <sup>ab</sup>	5.80 <sup>ab</sup>	5.70 <sup>b</sup>	0.04	<0.01	<0.01	0.78	0.42
<i>E. coli</i>	4.96	4.92	4.73	4.97	4.94	4.79	4.76	4.81	4.63	0.04	0.06	0.40	0.50	0.26
Short-chain fatty acid <sup>4</sup> (mM/ml)														
Acetic acid	35.58 <sup>cd</sup>	57.72 <sup>abc</sup>	69.23 <sup>ab</sup>	78.83 <sup>a</sup>	34.76 <sup>d</sup>	35.32 <sup>cd</sup>	52.28 <sup>bcd</sup>	53.02 <sup>bcd</sup>	34.69 <sup>d</sup>	3.05	<0.01	<0.01	<0.01	0.05
Propionic acid	8.24 <sup>cd</sup>	16.61 <sup>ab</sup>	18.76 <sup>ab</sup>	20.57 <sup>a</sup>	8.14 <sup>cd</sup>	13.72 <sup>bc</sup>	15.24 <sup>ab</sup>	15.31 <sup>ab</sup>	7.18 <sup>d</sup>	0.87	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Butyric acid	2.27 <sup>b</sup>	3.52 <sup>a</sup>	3.63 <sup>a</sup>	3.74 <sup>a</sup>	2.24 <sup>b</sup>	3.05 <sup>ab</sup>	3.07 <sup>ab</sup>	3.01 <sup>ab</sup>	1.11 <sup>c</sup>	0.16	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
Lactic acid <sup>4</sup> (mM/ml)														
	7.77 <sup>d</sup>	14.54 <sup>c</sup>	20.97 <sup>b</sup>	39.52 <sup>a</sup>	6.68 <sup>d</sup>	6.54 <sup>d</sup>	7.10 <sup>d</sup>	7.50 <sup>d</sup>	5.82 <sup>d</sup>	1.13	<0.01	<0.01	<0.01	0.47
pH after 24 hours the <i>in vitro</i> fermentation														
	6.80 <sup>c</sup>	6.73 <sup>d</sup>	6.72 <sup>d</sup>	6.66 <sup>e</sup>	6.85 <sup>b</sup>	6.84 <sup>bc</sup>	6.85 <sup>b</sup>	6.85 <sup>b</sup>	7.03 <sup>a</sup>	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.78

a, b, c, d, e Means with different superscripts in a row are significantly different at p<0.05.

<sup>1</sup> Dietary fiber extracted from cassava pulp and cassava distiller's dried grains treated with cellulase and xylanase at ratios, 0:0, 9:3, 36:12, and 72:24 U/g substrate.

<sup>2</sup> Control = cecal inoculum.

<sup>3</sup> Orthogonal contrasts: 1) Control vs. dietary fiber from DCP and CDG, 2) dietary fiber from DCP vs. dietary fiber from CDG, 3) DF-CP vs. M-DFCP treated with cellulase : xylanase, and 4) DF-CDG vs. M-DFCDG treated with cellulase : xylanase.

<sup>4</sup> Net production of short chain fatty acids and lactic acid were subtracted the baseline (time 0) from 24 hours samples.

## 4.2 ผลของใยอาหารตัดแปลงในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

### 4.2.1 ผลของใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ

ผลของการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของของโภชนะในไก่เนื้อที่ได้รับใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 โดยพบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1.0% มีผลต่อการย่อยได้ของสิ่งแห้ง การย่อยได้ของสารอินทรีย์ และการย่อยได้ของไขมันสูงสุด ( $p < 0.05$ ) ซึ่งการย่อยได้ของไขมันมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงตามระดับของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ( $p < 0.01$ ) นอกจากนี้ไก่เนื้อที่ได้รับใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหารนั้นไม่มีผลกระทบต่อการสะสมของไนโตรเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $p > 0.05$ )

โดยสรุปการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 1.0% สามารถช่วยส่งเสริมให้การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อดีขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการพัฒนาของกระเพาะบดในไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง เนื่องจากกระเพาะบดมีหน้าที่สำคัญในการบดอาหารให้มีขนาดเล็กลง (Classen et al., 2016) ทำให้ไก่เกิดการย่อยและใช้ประโยชน์จากโภชนะได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าใยอาหารสามารถกระตุ้นเกลื่อน้ำดี และการหลั่งเอนไซม์สำหรับย่อยอาหารซึ่งช่วยส่งเสริมการย่อยอาหาร และการดูดซึมสารอาหาร (Mateos et al., 2012) และมีผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Adibmoradi et al. (2016) รายงานว่าการเสริมเปลือกข้าวบาร์เลย์ 1.5% และเปลือกข้าว 0.75% ซึ่งใยอาหารทั้งสองแหล่งเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ สามารถปรับปรุงการย่อยได้ของสิ่งแห้งและเถ้าในไก่เนื้อ อีกทั้งการเสริมเปลือกเมล็ดทานตะวัน 3.0% ในอาหารยังสามารถเพิ่มค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏในไก่เนื้อที่อายุ 9 และ 21 วัน แต่ไม่มีผลต่อการย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ และไนโตรเจน (Kimiaetalab et al., 2017)

### ตารางที่ 4.5 ผลของใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

Item	Control	M-DFCP			Pooled SEM	Linear trend
		0.5%	1.0%	1.5%		
Digestibility, %						
Dry matter	66.91 <sup>b</sup>	67.06 <sup>b</sup>	68.76 <sup>a</sup>	66.88 <sup>b</sup>	0.23	NS <sup>1</sup>
Organic matter	72.72 <sup>b</sup>	72.77 <sup>b</sup>	74.06 <sup>a</sup>	72.52 <sup>b</sup>	0.18	NS
Ether extract	76.97 <sup>b</sup>	76.24 <sup>b</sup>	78.98 <sup>a</sup>	78.01 <sup>ab</sup>	0.32	< 0.01
Nitrogen retention, %	68.14	67.05	68.65	68.12	0.35	NS

<sup>a, b</sup> Means with different superscripts in a row are significantly different at  $p < 0.05$ .

<sup>1</sup> Not significant

### 4.3 ผลของใยอาหารตัดแปลงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะพื้นฐานวิทยาของทางเดินอาหาร ประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนท้าย การผลิตกรดไขมันสายสั้น การผลิตแอมโมเนีย ค่าทางชีวเคมีของโลหิต และปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อไก่

#### 4.3.1 ผลของใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต น้ำหนักอวัยวะของทางเดินอาหาร และลักษณะทางจุลกายวิภาคในลำไส้เล็ก

ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 โดยพบว่าการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในทุกระดับ (0.5, 1.0 และ 1.5%) นั้นไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักตัว การกินได้ อัตราการเปลี่ยนอาหาร และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของไก่เนื้อในทุกช่วง ( $p > 0.05$ ) อีกทั้งมีค่าดัชนีการผลิตไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $p > 0.05$ ) อย่างไรก็ตามผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 1.5% ส่งผลให้ค่า pH ในกระเพาะบดลดลง ( $p < 0.05$ ) และ pH มีค่าลดลงแบบเส้นตรงเมื่อระดับใยอาหารเพิ่มขึ้น ( $p < 0.01$ ) นอกจากนี้การเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 1.0 และ 1.5% มีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักของกระเพาะบดในไก่เนื้อที่อายุ 21 และ 42 วัน ( $p < 0.05$ ) ซึ่งการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังนั้นไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักของกระเพาะ ตับ และลำไส้เล็ก รวมถึงความยาวของลำไส้ทุกส่วนของไก่เนื้อ ( $p > 0.05$ ) แต่สิ่งที่น่าสนใจคือการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อสามารถลดการสะสมไขมันช่องท้องในไก่เนื้อได้ และไขมันช่องท้องมีปริมาณที่ลดลงแบบเส้นตรงตามระดับของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น ( $p < 0.01$ ) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.7 การเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่เนื้อต่อลักษณะทางจุลกายวิภาคของลำไส้เล็ก (ตารางที่ 4.8) พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคของความสูงวิลไล ความลึกของเซลล์คริป และสัดส่วนของความสูงของวิลไลต่อความลึกของเซลล์คริปในลำไส้เล็กส่วนเจริญของไก่เนื้อ ( $p > 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าระดับของใยอาหารที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่จะส่งผลการลดความสูงวิลไลในลำไส้เล็กส่วนเจริญ

จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1.0% ในอาหารไก่เนื้อสามารถปรับปรุงการย่อยได้ของสารอาหารโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิต และยังสามารถส่งเสริมการพัฒนาของกระเพาะบด และลดการสะสมไขมันช่องท้องของไก่เนื้อได้ ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับผลของใยอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อนั้นยังมีผลที่หลากหลายทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิดของใยอาหาร โครงสร้างและระดับการใช้ในสูตรอาหาร (Mateos et al., 2012; Adibmoradi et al., 2016; Sabour et al., 2018) สำหรับค่า pH ของกระเพาะบดที่ลดลงในไก่เนื้อที่ได้รับใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ใยอาหารสามารถส่งเสริมการหมักของแบคทีเรียและมีผลต่อการเพิ่มการผลิตกรดไขมันสายสั้นและกรดแลคติก (Classen et al., 2016) หรือมีการผลิต HCl และกิจกรรมของเพปซินที่เพิ่มขึ้นในกระเพาะและไหลย้อนกลับมาในกระเพาะบด (Kheravii et al., 2018b; Makivic et al., 2019) นอกจากนี้น้ำหนักของกระเพาะบดที่เพิ่มขึ้นในไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังอาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำที่มีอยู่ในใยอาหารตัดแปลงจากกากมัน

สำหรับ (25.85%) มีความคงทนและใช้เวลานานในการบดจึงทำให้กระเพาะบดพัฒนาการเพิ่มความหนาของผนังกล้ามเนื้อขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่แสดงให้เห็นว่าการเสริมใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในอาหารไก่เนื้อสามารถเพิ่มน้ำหนักและกระตุ้นการทำงานของกระเพาะบด และควบคุมการไหลย้อนกลับของอาหารในระบบทางเดินอาหาร (Kheravii et al., 2018a; Jung et al., 2019; Makivic et al., 2019) ถึงแม้ว่าการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังจะไม่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคของลำไส้เล็กส่วนเจริญ แต่ทั้งนี้การเสริมในระดับที่สูงขึ้นอาจจะส่งผลให้ความยาวของวิลโลตลดได้ เนื่องจากปริมาณใยอาหารที่มากเกินไปจะไปเสียดสีทำลายปลายของวิลโลตได้ โดย Incharoen. (2013) รายงานว่าการเสริมใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำจากเปลือกข้าวในระดับที่สูง (2.0%) มีผลทำให้ความยาวของวิลโลตในลำไส้ลดลง แต่การใช้ใยอาหารจากเปลือกข้าว 1.0% นั้นไม่มีผลกระทบต่อความยาวของวิลโลตในลำไส้ อย่างไรก็ตามการเสริมใยอาหารในระดับที่เหมาะสมจะช่วยส่งเสริมการเจริญหรือการเพิ่มจำนวนเซลล์คริปต์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างเซลล์ใหม่ในเยื่อผิวลำไส้ทำให้วิลโลตสูงขึ้น

**ตารางที่ 4.6** ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต

Item	Control	M-DFCP			Pooled SEM
		0.5%	1.0%	1.5%	
<b>Body weight (BW), g/chick</b>					
1 - 21 days	826.5	821.7	830.2	816.7	2.73
21 - 42 days	2,577.2	2,569.8	2,581.7	2,587.0	18.30
1 - 42 days	2,577.2	2,569.8	2,581.7	2,587.0	18.30
<b>Feed intake (FI), g/chick</b>					
1 - 21 days	990.4	998.6	992.3	976.7	3.35
21 - 42 days	3,009.0	2,970.4	2,923.5	3,005.2	23.53
1 - 42 days	3,999.5	3,968.9	3,936.7	3,981.9	25.42
<b>Feed conversion ratio (FCR)</b>					
1 - 21 days	1.26	1.27	1.26	1.26	0.00
21 - 42 days	1.71	1.70	1.67	1.68	0.01
1 - 42 days	1.58	1.57	1.55	1.56	0.01
<b>Average Daily Gain (ADG), g/d</b>					
1 - 21 days	37.46	37.22	37.63	36.98	0.13
21 - 42 days	82.81	83.24	83.40	84.33	0.74
1 - 42 days	60.41	60.23	60.52	61.22	0.44
<b>Productive index (PI)</b>					
1 - 21 days	296.38	291.40	299.75	294.09	1.40
21 - 42 days	249.24	250.33	249.99	249.27	2.67
1 - 42 days	389.29	388.07	396.82	388.82	3.09

ตารางที่ 4.7 ผลของการเสริมโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อค่า pH ของกระเพาะ  
บดน้ำหนักอวัยวะของทางเดินอาหาร และการสะสมไขมันช่องท้อง

Item	Control	M-DFCP			Pooled SEM	Linear trend
		0.5%	1.0%	1.5%		
<b>21 days of age</b>						
Digesta pH of the gizzard	2.05 <sup>a</sup>	2.04 <sup>ab</sup>	2.01 <sup>ab</sup>	1.91 <sup>b</sup>	0.02	< 0.01
Relative weight, g/100 g of live BW						
Proventriculus	0.55	0.55	0.56	0.56	0.01	NS <sup>1</sup>
Gizzard	1.62 <sup>c</sup>	1.65 <sup>bc</sup>	1.74 <sup>ab</sup>	1.77 <sup>a</sup>	0.02	< 0.01
Liver	2.20	2.23	2.26	2.39	0.04	NS
Duodenum	1.11	1.10	1.11	1.12	0.02	NS
Jejunum	1.44	1.45	1.45	1.47	0.02	NS
Ileum	1.38	1.36	1.38	1.38	0.03	NS
Abdominal fat	1.26 <sup>a</sup>	1.16 <sup>ab</sup>	1.10 <sup>b</sup>	1.08 <sup>b</sup>	0.02	< 0.01
Small intestinal length, cm/100 g of live BW						
Duodenum	3.49	3.38	3.55	3.47	0.04	NS
Jejunum	5.76	5.96	6.16	6.44	0.10	NS
Ileum	6.17	6.20	6.14	6.21	0.08	NS
<b>42 days of age</b>						
Digesta pH of the gizzard	2.22 <sup>a</sup>	2.21 <sup>a</sup>	2.13 <sup>ab</sup>	2.04 <sup>b</sup>	0.02	< 0.01
Relative weight, g/100 g of live BW						
Proventriculus	0.37	0.38	0.35	0.35	0.01	NS
Gizzard	1.22 <sup>b</sup>	1.27 <sup>ab</sup>	1.35 <sup>a</sup>	1.35 <sup>a</sup>	0.02	< 0.01
Liver	12.64	12.86	13.68	13.66	0.27	NS
Duodenum	0.67	0.68	0.69	0.69	0.01	NS
Jejunum	1.15	1.15	1.14	1.16	0.01	NS
Ileum	0.96	0.93	0.93	0.90	0.02	NS
Abdominal fat	11.65 <sup>a</sup>	9.55 <sup>b</sup>	9.14 <sup>b</sup>	9.13 <sup>b</sup>	0.30	< 0.01
Small intestinal length, cm/100 g of live BW						
Duodenum	1.27	1.22	1.23	1.23	0.02	NS
Jejunum	2.46	2.49	2.52	2.51	0.03	NS
Ileum	2.49	2.54	2.57	2.57	0.05	NS

<sup>a, b, c</sup> Means with different superscripts in a row are significantly different at  $p < 0.05$ .

<sup>1</sup> Not significant.



**ตารางที่ 4.8** ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อลักษณะทางจุลกายวิภาคในลำไส้เล็กส่วนเจริญ

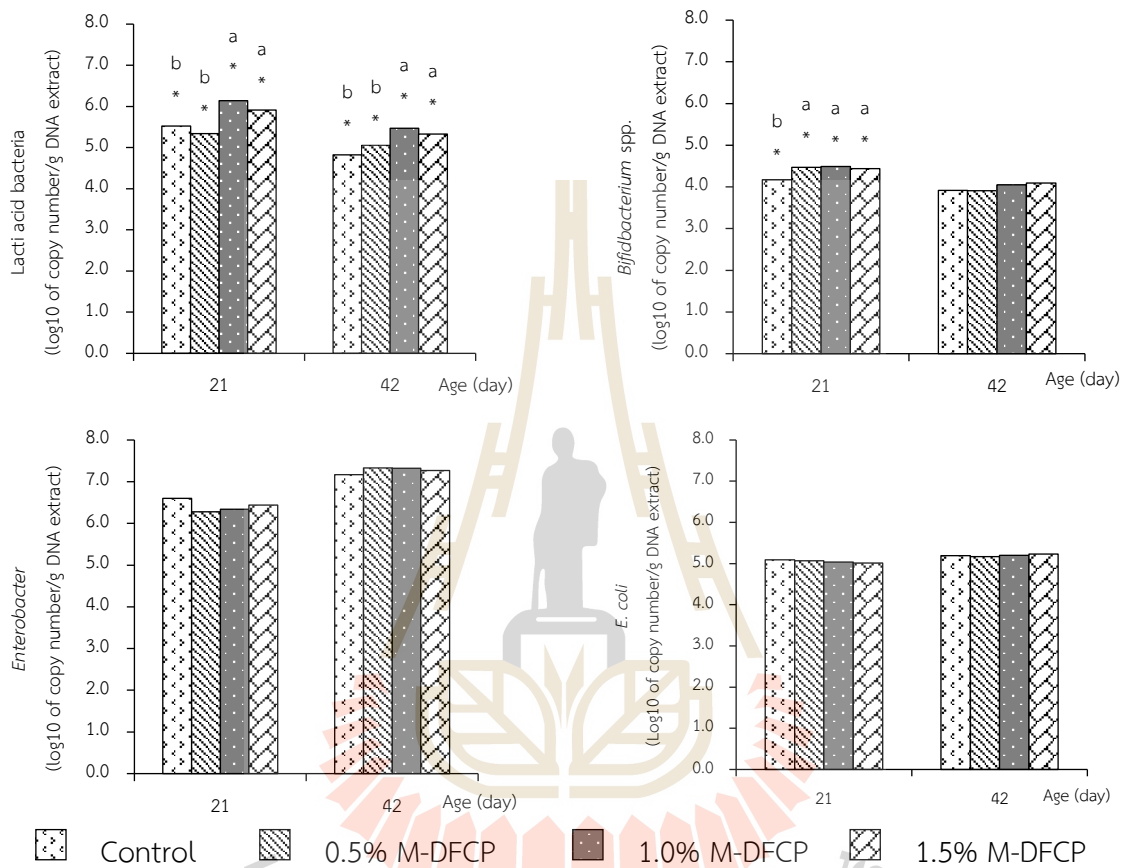
Item	Control	M-DFCP			Pooled SEM
		0.50%	1.00%	1.50%	
<b>21 days of age</b>					
Villus height ( $\mu\text{m}$ )	1210.65	1378.15	1210.25	1046.77	35.45
Cryptal depth ( $\mu\text{m}$ )	180.77	186.09	217.47	170.82	8.18
Villus height: crypt depth ratio	7.36	7.89	5.67	5.66	0.41
<b>42 days of age</b>					
Villus height ( $\mu\text{m}$ )	853.35	980.36	1008.02	770.39	25.02
Cryptal depth ( $\mu\text{m}$ )	88.81	91.40	79.21	73.08	3.93
Villus height: crypt depth ratio	10.05	11.15	11.17	9.01	0.42

#### 4.3.2 ผลของใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อประชากรจุลินทรีย์ และการผลิตกรดไขมันสายสั้น กรดแลคติกและแอมโมเนียในซีกัม

ผลของจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.5 โดยพบว่าใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังสามารถเพิ่มจำนวนประชากรของ LAB ในซีกัมของไก่เนื้อได้ทั้งสองช่วงอายุ (21 และ 42 วัน) และ LAB มีปริมาณเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงเมื่อเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสูงขึ้น ( $p < 0.01$ ) ซึ่งการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1.0 และ 1.5% ในสูตรอาหารส่งผลให้มีปริมาณ LAB แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) สำหรับจำนวน *Bifidobacterium* spp. ในซีกัมของไก่เนื้อที่อายุ 21 วัน พบว่าการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังสามารถเพิ่มจำนวนประชากรของ *Bifidobacterium* spp. ในซีกัมได้ ( $p < 0.05$ ) และมีจำนวนเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงเมื่อเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสูงขึ้น ( $p < 0.01$ ) แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในไก่เนื้อที่อายุ 42 วัน ( $p > 0.05$ ) นอกจากนี้การให้อาหารไก่เนื้อที่เสริมด้วยใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังนั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรของ *Enterobacter* และ *E. coli* ( $p > 0.05$ ) ในไก่เนื้อได้ทั้งสองช่วงอายุ

ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อปริมาณของกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติกจากสิ่งย่อยในซีกัมดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 โดยพบว่าการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1.0 และ 1.5% ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันสายสั้น (อะซิติก โพรพิโอนิก บิวทริก ไอโซบิวทริก และไอโซวาเลอริก) และกรดแลคติกในไก่เนื้อที่อายุ 21 วัน ( $p < 0.05$ ) และมีปริมาณเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงตามระดับของการเสริมใยอาหารตัดแปลงที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ( $p < 0.01$ ) อย่างไรก็ตามในไก่เนื้อที่อายุ 42 วัน การเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดไขมันสายสั้น ( $p > 0.05$ ) แต่การเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1.0 และ 1.5% ส่งผลให้มีปริมาณ

กรดแลคติกสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $p < 0.05$ ) รวมถึงกรดแลคติกมีปริมาณที่สูงขึ้นแบบเส้นตรงตามระดับของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้น ( $p < 0.01$ ) นอกจากนี้พบว่าใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่เสริมในอาหารไก่เนื้อทุกระดับมีผลต่อการลดการผลิตแอมโมเนียในซีกัมและมูลได้ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งการผลิตแอมโมเนียมีปริมาณลดลงแบบเส้นตรงตามระดับของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ( $p < 0.01$ ) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.6



a, b Means with no common superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

\* Significant linear effect at  $p < 0.05$ .

**ภาพที่ 4.5** ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ

จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1.0% ในอาหารไก่เนื้อสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของ LAB และ *Bifidobacterium* spp. เพิ่มการผลิตกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก และสามารถลดการผลิตแอมโมเนียในซีกัม และมูล โดยเป็นที่ทราบกันแล้วว่าใยอาหารมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร และสารเมตาโบไลต์ (กรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก) (Rinttilä and Apajalahti, 2013; Regassa and Nyachoti, 2018) การเพิ่มขึ้นของจำนวน LAB และ *Bifidobacterium* spp. อาจเนื่องมาจากใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบของ COS และ XOS ประมาณ 2.47 และ 16.26% ตามลำดับ ซึ่งเป็นสายโครงสร้างที่

สั้นหรือมีหน้าที่การทำงานคล้ายกับพรีไบโอติก ดังนั้นใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังจึงถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (LAB และ *Bifidobacterium* spp.) ส่งเสริมให้เกิดการหมัก และผลิตกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก จากการศึกษาก่อนหน้านี้รายงานว่าแบคทีเรียเช่น *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. สามารถใช้ประโยชน์จาก COS และ XOS ได้ (Moura et al., 2007; Hasunuma et al., 2011) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Walugembe et al. (2015) รายงานว่าจุลินทรีย์ในซีกัมสามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนใยอาหารในกระบวนการหมัก ซึ่งจะส่งผลให้มีปริมาณกรดไขมันสายสั้นเพิ่มขึ้น ผลที่ตามมาจากความเข้มข้นของกรดไขมันสายสั้นที่สูงขึ้นคือทำให้ค่า pH ในซีกัมลดลง และค่า pH ที่ต่ำจะไปยับยั้งเอนไซม์ของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการสลายของกรดยูริกเป็นแอมโมเนีย (Roberts et al., 2007) จึงส่งผลให้มีความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลง

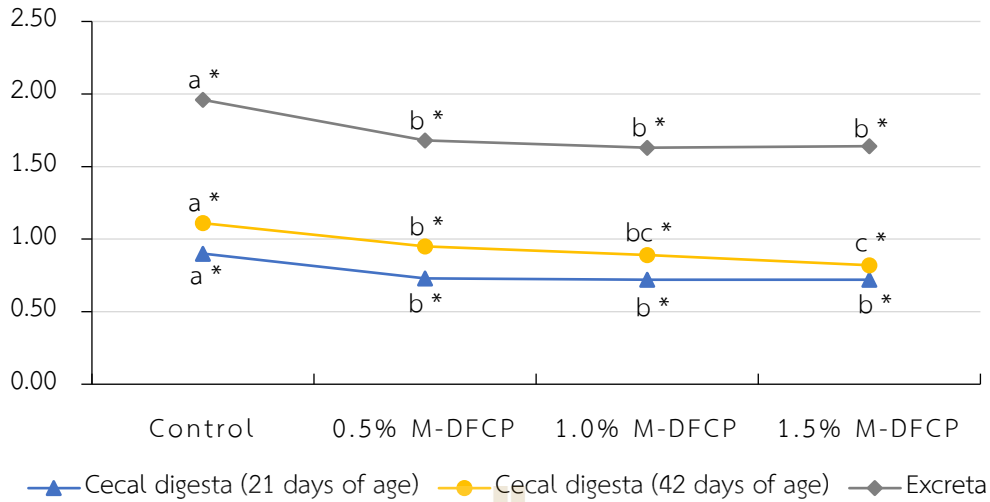
**ตารางที่ 4.9** ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อปริมาณกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติกจากสิ่งย่อยในซีกัม

Items	Control	M-DFCP			Pooled SEM	Linear trend
		0.5%	1.0%	1.5%		
<b>21 days of age</b>						
Short-chain fatty acids (% of total SCFA)						
Acetic acid	48.77 <sup>b</sup>	51.44 <sup>b</sup>	63.20 <sup>a</sup>	63.19 <sup>a</sup>	1.83	< 0.01
Propionic acid	2.94 <sup>b</sup>	3.98 <sup>ab</sup>	5.00 <sup>a</sup>	4.78 <sup>ab</sup>	0.28	< 0.01
Butyric acid	2.07 <sup>b</sup>	3.67 <sup>a</sup>	4.13 <sup>a</sup>	4.17 <sup>a</sup>	0.23	< 0.01
Branched SCFA <sup>1</sup>	0.28 <sup>c</sup>	0.46 <sup>bc</sup>	0.74 <sup>ab</sup>	0.95 <sup>a</sup>	0.07	< 0.01
Valeric acid	45.94 <sup>a</sup>	40.45 <sup>a</sup>	26.93 <sup>b</sup>	26.92 <sup>b</sup>	2.17	< 0.01
Lactic acid (umol/g of digesta)	15.58 <sup>c</sup>	16.26 <sup>c</sup>	19.46 <sup>b</sup>	24.98 <sup>a</sup>	0.84	< 0.01
<b>42 days of age</b>						
Short-chain fatty acids (% of total SCFA)						
Acetic acid	77.07	77.60	77.15	78.77	0.46	NS <sup>2</sup>
Propionic acid	5.44	5.95	5.87	6.22	0.18	NS
Butyric acid	4.17	4.40	4.44	4.44	0.16	NS
Branched SCFA <sup>1</sup>	0.93	0.92	1.01	1.10	0.06	NS
Valeric acid	12.39	11.13	11.53	9.47	0.60	NS
Lactic acid (umol/g of digesta)	23.65 <sup>b</sup>	24.29 <sup>b</sup>	32.53 <sup>a</sup>	32.50 <sup>a</sup>	0.92	< 0.01

a, b, c Means with different superscripts in a row are significantly different at p<0.05.

<sup>1</sup> Branched SCFA = isobutyric acid + isovaleric acid.

<sup>2</sup> Not significant.



a, b, c Means with no common superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

\* Linear effect ( $p < 0.01$ ).

**ภาพที่ 4.6** ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อปริมาณแอมโมเนียจากสิ่งย่อยในซีกัมและมูล

#### 4.3.3 ผลของใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อค่าทางโลหิตวิทยาและการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน

ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อค่าทางโลหิตวิทยาและการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10 โดยพบว่าใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่เสริมในอาหารไก่เนื้อที่อายุ 21 วัน ส่งผลให้มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ และคอเลสเตอรอลในเลือดลดลงแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ( $p < 0.05$ ) และมีปริมาณลดลงแบบเส้นตรงตามระดับของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น ( $p < 0.01$ ) สำหรับไก่เนื้อที่อายุ 42 วัน การเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารที่ระดับ 1.0 และ 1.5% ส่งผลให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $p < 0.05$ ) ซึ่งคอเลสเตอรอลในเลือดมีปริมาณลดลงแบบเส้นตรงตามระดับของการเสริมที่เพิ่มขึ้น ( $p < 0.01$ ) แต่อย่างไรก็ตามการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อไม่มีผลต่อการตอบสนองของปริมาณภูมิคุ้มกันรวมและไลโซไซม์ในซีรัม ( $p > 0.05$ )

#### 4.3.4 ผลของใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อและตับ

ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อปริมาณการสะสมคอเลสเตอรอลในเนื้ออกและเนื้อสะโพกของไก่เนื้อที่อายุ 42 วัน ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.7 โดยพบว่าการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อที่มีผลต่อการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้ออก ( $p < 0.05$ ) และคอเลสเตอรอลมีปริมาณที่ลดลงแบบเส้นตรงตามระดับของการเพิ่มใยอาหารตัดแปลงจากกาก

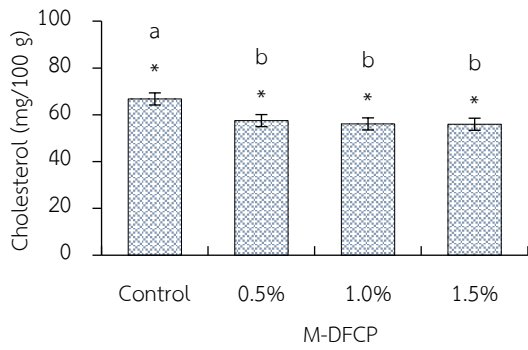
มันสำปะหลังในสูตรอาหาร ( $p < 0.01$ ) นอกจากนี้การเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อที่ระดับสูงสุด (1.5%) พบว่าส่งผลให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อสะโพกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $p < 0.05$ ) ซึ่งคอเลสเตอรอลมีปริมาณที่ลดลงแบบเส้นตรงตามระดับของการเพิ่มใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ( $p < 0.01$ ) รวมถึงใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังยังมีผลต่อการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในตับเมื่อเสริมที่ระดับ 1.0 และ 1.5% ในสูตรอาหาร ( $p < 0.05$ ) และมีปริมาณที่ลดลงแบบเส้นตรงตามระดับของการเสริมใยอาหารที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ( $p < 0.01$ ) (ภาพที่ 4.7) โดยการสะสมคอเลสเตอรอลที่ลดลงอาจเนื่องมาจากใยอาหารไปลดหรือขัดขวางการอิมัลซิไฟเออร์ของไขมันและคอเลสเตอรอล หรือไปยับยั้งการดูดกลับของน้ำดี ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการเพิ่มการสังเคราะห์กรดน้ำดีโดยใช้คอเลสเตอรอลเป็นสารตั้งต้นในการผลิต (Hemati Matin et al., 2016; Safaa et al., 2014)

**ตารางที่ 4.10** ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อค่าทางโลหิตวิทยาและการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน

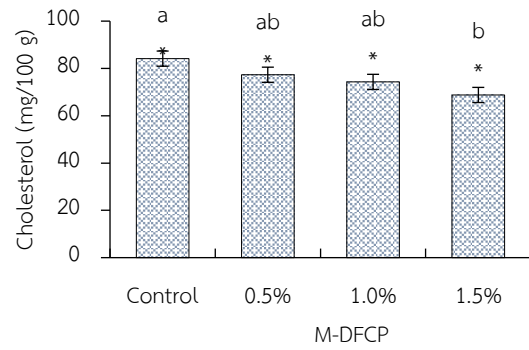
Item	Control	M-DFCP			Pooled SEM	Linear trend
		0.5%	1.0%	1.5%		
<b>21 days of age</b>						
Triglycerides (mg/dl)	85.50 <sup>a</sup>	61.50 <sup>b</sup>	61.17 <sup>b</sup>	62.67 <sup>b</sup>	3.33	< 0.01
cholesterol (mg/dl)	135.42 <sup>a</sup>	123.57 <sup>b</sup>	121.58 <sup>b</sup>	122.14 <sup>b</sup>	1.57	< 0.01
Total Ig (mg/ml)	18.35	18.41	18.45	18.42	0.21	NS <sup>1</sup>
Lysozyme activity (ul/ml)	4.21	4.20	4.25	4.26	0.02	NS
<b>42 days of age</b>						
Triglycerides (mg/dl)	75.42	64.00	62.50	63.70	2.69	NS
cholesterol (mg/dl)	120.00 <sup>a</sup>	112.42 <sup>ab</sup>	108.50 <sup>b</sup>	108.10 <sup>b</sup>	1.58	< 0.01
Total Ig (mg/ml)	18.21	18.43	18.52	18.53	0.22	NS
Lysozyme activity (ul/ml)	4.21	4.22	4.23	4.26	0.02	NS

<sup>a, b</sup> Means with different superscripts in a row are significantly different ( $p < 0.05$ ).

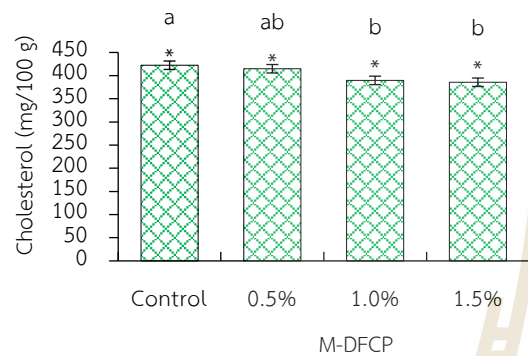
<sup>1</sup> Not significant.



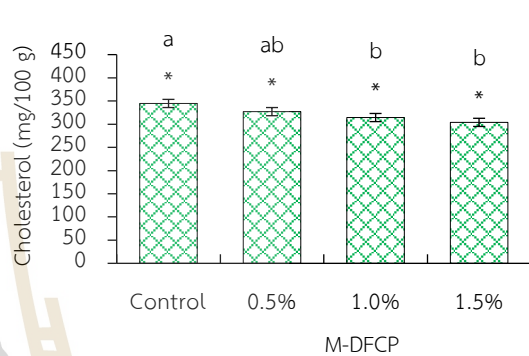
A) Cholesterol in Breast (42 days of age)



B) Cholesterol in Thigh (42 days of age)



C) Cholesterol in Liver (21 days of age)



D) Cholesterol in Liver (42 days of age)

<sup>a, b</sup> Means with no common superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

\* Linear effect ( $p < 0.01$ ).

**ภาพที่ 4.7** ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้ออก เนื้อสะโพก และตับของไก่เนื้อ

**4.4 ผลของใยอาหารตัดแปลงในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ จำนวนประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันสายสั้น และการผลิตแอมโมเนีย**

**4.4.1 ผลของใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ**

ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 โดยพบว่าไก่ไข่ที่ได้รับใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0.5 และ 1.0% ในอาหารนั้นไม่มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสิ่งแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $p > 0.05$ ) แต่ไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1.5% ส่งผลให้มีค่าการใช้ประโยชน์ของสิ่งแห้งต่ำที่สุด ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้พบว่าค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสิ่งแห้งมีค่าลดลงแบบเส้นตรงตามระดับของการเสริมใยอาหารที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ( $p < 0.01$ ) อย่างไรก็ตามไก่ไข่ที่ได้รับใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหารนั้นไม่มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอินทรีย์และการสะสมของไนโตรเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $p > 0.05$ )

#### 4.4.2 ผลของใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อค่า pH และน้ำหนักรของ กระเพาะบด

ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในกระเพาะบด และน้ำหนักรของกระเพาะบดของไก่ไข่ โดยพบว่าการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง ที่ระดับ 1.0 และ 1.5% ส่งผลให้ค่า pH ในกระเพาะบดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม ควบคุม ( $p < 0.05$ ) และ pH ในกระเพาะบดมีค่าลดลงแบบเส้นตรงเมื่อระดับของใยอาหารตัดแปลงจากกากมัน สำปะหลังในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น ( $p < 0.01$ ) แต่การเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับต่าง ๆ นั้นไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรของกระเพาะบดในไก่ไข่ ( $p > 0.05$ ) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.12

จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ ไข่ที่เหมาะสมคือระดับ 1.0% ที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อกรย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของของโภชนะ เนื่องจากใยอาหารจากกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่เป็นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ ซึ่งการเสริมในระดับที่สูง (1.5%) จะทำให้มีใยอาหารรวมและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในสูตรอาหารสูงขึ้นตามไปด้วย โดยปกติปริมาณใย อาหารที่มากเกินไปอาจเป็นสารต้านโภชนะ ชัดขวางกรย่อยได้และการดูดซึมโภชนะ (Jiménez-Moreno et al., 2011) แต่อย่างไรก็ตามใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนากระเพาะบด ช่วยเพิ่ม ความสามารถในการบดอาหาร (Michard, 2011; Mateos et al., 2012) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าไก่ไข่ที่ ได้รับอาหารเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1.0% สามารถลดค่า pH ภายในกระเพาะ บดได้เช่นเดียวกับผลการทดลองในไก่เนื้อ ทั้งนี้อาจเกิดจากปัจจัยของกิจกรรมการทำงานของกระเพาะบดที่ถูก กระตุ้นโดยใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่มีองค์ประกอบของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงถึง 25.85% ซึ่งอาจส่งผลต่อการเพิ่มระยะเวลาในการบดอาหารภายในกระเพาะบดหรือเกิดกลไกการไหลย้อนกลับของ อาหารมาในกระเพาะบด รวมถึงการผลิตกรดไขมันสายสั้นของการหมักย่อยใยอาหารโดยจุลินทรีย์ (Classen et al., 2016; Kheravii et al., 2018b; Jung et al., 2019; Makivic et al., 2019)

**ตารางที่ 4.11** ผลของการเสริมใยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้และการ ใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ

Item	Control	M-DFCP			Pooled SEM	Linear trend
		0.5%	1.0%	1.5%		
Digestibility, %						
Dry matter	74.79 <sup>a</sup>	76.31 <sup>a</sup>	74.38 <sup>ab</sup>	71.09 <sup>b</sup>	0.546	< 0.01
Organic matter	77.43	79.26	78.74	75.19	0.521	NS <sup>1</sup>
N retaintion, %	43.76	43.93	44.16	39.69	1.027	NS

<sup>a, b</sup> Means with different superscripts in a row are significantly different at  $p < 0.05$ .

<sup>1</sup> Not significant

**ตารางที่ 4.12** ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อค่า pH และน้ำหนักของกระเพาะบด

Item	Control	M-DFCP			Pooled SEM	Linear trend
		0.5%	1.0%	1.5%		
Digesta pH of the gizzard	4.10 <sup>a</sup>	3.91 <sup>ab</sup>	3.64 <sup>b</sup>	3.65 <sup>b</sup>	0.063	< 0.01
Relative weight, g/100 g of live BW (% of BW)	1.19	1.16	1.18	1.14	0.017	NS <sup>1</sup>

<sup>a, b</sup> Means with different superscripts in a row are significantly different at  $p < 0.05$ .

<sup>1</sup> Not significant

#### 4.4.3 ผลของใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ปริมาณกรดไขมันสายสั้น และแอมโมเนียในซีกัม

ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่ไข่ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.13 โดยพบว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังนั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในซีกัม ได้แก่ LAB *Bifidobacterium* spp. *Enterobacter* และ *E. coli* ( $p > 0.05$ ) อย่างไรก็ตามการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0.5, 1.0 และ 1.5% ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดอะซิติก ( $p < 0.05$ ) การเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในระดับสูงสุด (1.5%) ในสูตรอาหารสามารถส่งเสริมการผลิตกรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก และไอโซวาเลอริกในซีกัมของไก่ไข่ได้สูงสุด ( $p < 0.05$ ) อีกทั้งปริมาณของกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกยังมีค่าสูงขึ้นแบบเส้นตรงตามระดับของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้น ( $p < 0.01$ ) แต่ทั้งนี้การเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังทุกระดับนั้นไม่ส่งผลต่อการลดปริมาณการผลิตแอมโมเนียเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 4.14)

จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการดัดแปลงใยอาหารจากกากมันสำปะหลังส่งผลให้ใยอาหารมีค่า DP ลดลง และมีองค์ประกอบของ COS และ XOS ซึ่งจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการหมักย่อยของจุลินทรีย์ได้เร็วและเกิดผลผลิตเป็นกรดไขมันสายสั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเช่น *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. จะสามารถใช้ประโยชน์จาก COS และ XOS ได้ (Moura et al., 2007; Hasunuma et al., 2011) โดยไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริมใยอาหารจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1.5% แสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของกรดไขมันสายสั้น (อะซิติก กรดโพรพิโอนิก ไอโซบิวทีริก และไอโซวาเลอริก) จากการหมักย่อยของจุลินทรีย์ในซีกัมได้สูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามระดับการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังควรพิจารณาถึงผลกระทบต่อบุคคลอื่น ๆ รวมถึงเช่นการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนา โดยสรุประดับการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่เหมาะสมคือ 1.0% ในอาหารไก่ไข่



ตารางที่ 4.13 ผลของการเสริมใยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ ในซีกัม ปริมาณของกรดไขมันสายสั้นและแอมโมเนียจากสิ่งย่อยในซีกัมของไก่ไข่

Item	Control	M-DFCP			Pooled SEM	Linear trend
		0.5%	1.0%	1.5%		
Microbial production (log <sub>10</sub> of copy number/g DNA extract)						
Lactic Acid Bacteria	6.58	6.81	6.88	6.12	0.210	NS <sup>1</sup>
<i>Bifidobacterium spp.</i>	6.39	6.36	6.29	6.52	0.164	NS
<i>Enterobacter</i>	4.70	4.49	4.98	4.90	0.145	NS
<i>E. coli</i>	5.08	5.17	5.12	5.18	0.135	NS
Short-chain fatty acids (% of total SCFA)						
Acetic acid	65.88 <sup>b</sup>	71.29 <sup>a</sup>	71.60 <sup>a</sup>	71.59 <sup>a</sup>	0.743	< 0.01
Propionic acid	14.22 <sup>b</sup>	14.57 <sup>b</sup>	13.99 <sup>b</sup>	17.05 <sup>a</sup>	0.344	< 0.01
Butyric acid	5.32	5.75	6.02	6.07	0.226	NS
Branched SCFA <sup>2</sup>	1.36 <sup>b</sup>	1.45 <sup>b</sup>	1.40 <sup>b</sup>	1.99 <sup>a</sup>	0.094	NS
Valeric acid	13.22 <sup>a</sup>	6.94 <sup>b</sup>	6.98 <sup>b</sup>	3.30 <sup>b</sup>	0.907	< 0.01
Ammonia production (mg/g of cecal digesta)						
	0.10	0.08	0.08	0.10	0.007	NS

<sup>a, b</sup> Means with different superscripts in a row are significantly different at  $p < 0.05$ .

<sup>1</sup> Not significant.

<sup>2</sup> Branched SCFA = isobutyric acid + isovaleric acid.



## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการสกัดและการดัดแปลงโยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอล พบว่าสถานะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโยอาหารจากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอล คือการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับ 6% และ 4% ตามลำดับ โดยมีปริมาณโยอาหารทั้งหมด และโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงสุด ซึ่งผลที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณโยอาหารด้วยเทคนิค FTIR และการวิเคราะห์ PCA ที่พบการกระจายของสเปกตรัมแยกจากกันอย่างชัดเจน สำหรับสถานะที่เหมาะสมในการดัดแปลงโยอาหารด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและไซลาเนส พบว่าโยอาหารจากกากมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพที่ดีกว่ากากมันเอทานอล อัตราส่วนเอนไซม์ที่เหมาะสมสำหรับปรับปรุงโยอาหารจากกากมันสำปะหลัง คือ 36:12 U/g substrate โดยสถานะดังกล่าวส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (D-glucose) น้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลไมรีดิวซ์ (D-xylose) สูงที่สุด อีกทั้งเมื่อทำการทดสอบการหมักในหลอดทดลองยังสามารถเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. ได้ เพิ่มการผลิตกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก และลดค่า pH หลังการบ่มที่ 24 ชั่วโมง โดยสรุปการสกัดโยอาหารจากกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 6% และการดัดแปลงโยอาหารด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและไซลาเนสที่อัตราส่วน 36:12 U/g substrate คือสถานะที่เหมาะสมในการผลิตโยอาหาร

2. ผลของการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของของโภชนะในไก่เนื้อ พบว่าการเสริมโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารที่ระดับ 1.0% ช่วยส่งเสริมการย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ และไขมัน นอกจากนี้ไม่มีผลกระทบต่อการสะสมไนโตรเจน

3. การตอบสนองของไก่เนื้อต่อโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลัง พบว่าไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคของลำไส้เล็กส่วนเจริญนม การเสริมโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1.0% ในอาหารไก่เนื้อสามารถส่งเสริมการทำงานของกระเพาะบด และลดการสะสมไขมันช่องท้อง นอกจากนี้ยังส่งผลดีต่อการเพิ่มจำนวนประชากร LAB และ *Bifidobacterium* spp. ในซีกัม เพิ่มการผลิตกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก ลดปริมาณแอมโมเนียในซีกัม และมูล รวมถึงลดปริมาณคอเลสเทอรอลในเลือด ตับ เนื้ออก และเนื้อสะโพก โดยสรุปการเสริมโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อที่ 1.0% มีความเหมาะสมที่สุด

4. การเสริมโยอาหารดัดแปลงจากกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 1.0% ไม่มีผลกระทบต่อ การย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ และการสะสมไนโตรเจน นอกจากนี้ยังส่งผลดีต่อการลด pH ในกระเพาะบด เพิ่มการผลิตกรดอะซิติกในซีกัมของไก่ไข่

## บรรณานุกรม

- บทบาทของเยื่อใยต่อการลดคอเลสเตอรอล. สืบค้นจาก: <https://images.app.goo.gl/BtNYhxMSty91P8Ve9> (สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562).
- AACC. 2001. The definition of dietary fiber. AACC report. Am. Assoc. Cereal Chem. 46:112–126.
- Abidi, N., L. Cabrales, and C. H. Haigler. 2014. Changes in the cell wall and cellulose content of developing cotton fibers investigated by FTIR spectroscopy. Carbohydr. Polym. 100:9–16.
- Adibmoradi, M., B. Navidshad, and M. F. Jahromi. 2016. The effect of moderate levels of finely ground insoluble fibre on small intestine morphology, nutrient digestibility and performance of broiler chickens. Ital. J. Anim. Sci. 15:310–317.
- Altaner, C. M., L. H. Thomas, A. N. Fernandes, and M. C. Jarvis. 2014. How cellulose stretches: synergism between covalent and hydrogen bonding. Biomacromolecules 15:791–798.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C.
- AOAC. 2006. AOAC official method 990.03, protein (crude) in animal feed, combustion method.
- den Besten, G., K. van Eunen, A. K. Groen, K. Venema, D.-J. Reijngoud, and B. M. Bakker. 2013. The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. J. Lipid Res. 54:2325–2340.
- Chauynarong, N., M. M. Bhuiyan, U. Kanto, and P. A. Iji. 2015. Variation in nutrient composition of cassava pulp and its effects on in vitro digestibility. Asian J. Poult. Sci. 9:203–212.
- Chávez, A. L., T. Sánchez, G. Jaramillo, J. M. Bedoya, J. Echeverry, E. A. Bolaños, H. Ceballos, and C. A. Iglesias. 2005. Variation of quality traits in cassava roots evaluated in landraces and improved clones. Euphytica 143:125–133.
- Cheikh Rouhou, M., S. Abdelmoumen, S. Thomas, H. Attia, and D. Ghorbel. 2018. Use of green chemistry methods in the extraction of dietary fibers from cactus rackets (*Opuntia ficus indica*): Structural and microstructural studies. Int. J. Biol. Macromol. 116:901–910.
- Chirinang, P., R. Oonsivilai, and N. Kachenpukdee. 2014. Dietary fiber from cassava pulp. 5th Int. Conf. Nat. Prod. Heal. Beauty, 6-8 May 2014, Phuket, Thailand.
- Choct, M. 1997. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. Feed milling Int. 191:13–26.
- Choct, M. 2015. Feed non-starch polysaccharides for monogastric animals: classification and function. Anim. Prod. Sci. 55:1360–1366.
- Classen, H. L., J. Apajalahti, B. Svihus, and M. Choct. 2016. The role of the crop in poultry

- production. *Worlds. Poult. Sci. J.* 72:459–472.
- Corredor, D. Y., J. M. Salazar, K. L. Hohn, S. Bean, B. Bean, and D. Wang. 2009. Evaluation and characterization of forage sorghum as feedstock for fermentable sugar production. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 158:164–179.
- Dalloul, R. A., H. S. Lillehoj, N. M. Tamim, T. A. Shellem, and J. A. Doerr. 2005. Induction of local protective immunity to *Eimeria acervulina* by a *Lactobacillus*-based probiotic. *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* 28:351–361.
- Daou, C., and H. Zhang. 2013. Optimization of processing parameters for extraction of total, insoluble and soluble dietary fibers of defatted rice bran. *Emirates J. Food Agric.* 25:562–575.
- Dhingra, D., M. Michael, H. Rajput, and R. T. Patil. 2012. Dietary fibre in foods: a review. *J. Food Sci. Technol.* 49:255–266.
- Donalson, L. M., W. K. Kim, V. I. Chalova, P. Herrera, J. L. McReynolds, V. G. Gotcheva, D. Vidanović, C. L. Woodward, L. F. Kubena, D. J. Nisbet, and S. C. Ricke. 2008. In vitro fermentation response of laying hen cecal bacteria to combinations of fructooligosaccharide prebiotics with alfalfa or a layer ration. *Poult. Sci.* 87:1263–1275.
- Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. T. Rebers, and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28:350–356.
- Dunkley, K. D., C. S. Dunkley, N. L. Njongmeta, T. R. Callaway, M. E. Hume, L. F. Kubena, D. J. Nisbet, and S. C. Ricke. 2007. Comparison of in vitro fermentation and molecular microbial profiles of high-fiber feed substrates incubated with chicken cecal inocula. *Poult. Sci.* 86:801–810.
- González-Alvarado, J. M., E. Jiménez-Moreno, D. González-Sánchez, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2010. Effect of inclusion of oat hulls and sugar beet pulp in the diet on productive performance and digestive traits of broilers from 1 to 42 days of age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 162:37–46.
- González-Alvarado, J. M., E. Jiménez-Moreno, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2007. Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. *Poult. Sci.* 86:1705–1715.
- González-Alvarado, J. M., E. Jiménez-Moreno, D. G. Valencia, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2008. Effects 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.
- Harun, S., and S. K. Geok. 2016. Effect of sodium hydroxide pretreatment on rice straw

- composition. *Indian J. Sci. Technol.* 9:1–9.
- Hasunuma, T., K. Kawashima, H. Nakayama, T. Murakami, H. Kanagawa, T. Ishii, K. Akiyama, K. Yasuda, F. Terada, and S. Kushibiki. 2011. Effect of cellooligosaccharide or synbiotic feeding on growth performance, fecal condition and hormone concentrations in Holstein calves. *Anim. Sci. J.* 82:543–548.
- Hemati Matin, H. R., F. Shariatmadari, M. A. Karimi Torshizi, and L. I. Chiba. 2016. In vitro bile acid-binding capacity of dietary fibre sources and their effects with bile acid on broiler chicken performance and lipid digestibility. *Br. Poult. Sci.* 57:348–357.
- Hetland, H., and B. Svihus. 2001. Effect of oat hulls on performance , gut capacity and feed passage time in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 42:354–361.
- Huang, M. K., Y. J. Choi, R. Houde, J. W. Lee, B. Lee, and X. Zhao. 2004. Effects of lactobacilli and an acidophilic fungus on the production performance and immune responses in broiler chickens. *Poult. Sci.* 83:788–795.
- Incharoen, T. 2013. Histological adaptations of the gastrointestinal tract of broilers fed diets containing insoluble fiber from rice hull meal. *Am. J. Anim. Vet. Sci.* 8:79–88.
- ISA Brown Commercial Management Guide. 2015.
- Jacometti, G. A., L. R. P. F. Mello, P. H. A. Nascimento, A. C. Sueiro, F. Yamashita, and S. Mali. 2015. The physicochemical properties of fibrous residues from the agro industry. *LWT-Food Sci. Technol.* 62:138–143.
- Jayapal, N., A. K. Samanta, A. P. Kolte, S. Senani, M. Sridhar, K. P. Suresh, and K. T. Sampath. 2013. Value addition to sugarcane bagasse : xylan extraction and its process optimization for xylooligosaccharides production. *Ind. Crops Prod.* 42:14–24.
- Jha, R., and J. D. Berrocoso. 2015. Review: dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal* 9:1441–1452.
- Jiménez-Moreno, E., S. Chamorro, M. Frikha, H. M. Safaa, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2011. Effects of increasing levels of pea hulls in the diet on productive performance, development of the gastrointestinal tract, and nutrient retention of broilers from one to eighteen days of age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 168:100–112.
- Jiménez-Moreno, E., M. Frikha, A. De Coca-Sinova, J. García, and G. G. Mateos. 2013. Oat hulls and sugar beet pulp in diets for broilers 1. Effects on growth performance and nutrient digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.* 182:33–43.
- Jiménez-Moreno, E., J. M. González-Alvarado, D. González-Sánchez, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 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.

- Jiménez-Moreno, E., J. M. González-Alvarado, A. González-Serrano, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2009. Effect of dietary fiber and fat on performance and digestive traits of broilers from one to twenty-one days of age. *Poult. Sci.* 88:2562–2574.
- Jorjong, S., S. Udchachon, and R. Narmseelee. 2013. The nutritive values and metabolizable energy of ethanol by product from Cassava (ethanol by product) in beef cattle. 56(2):259–273.
- Józefiak, D., A. Rutkowski, and S. A. Martin. 2004. Carbohydrate fermentation in the avian ceca: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 113:1–15.
- Jung, J. Y., J. M. Heo, and J. Yang. 2019. Effects of steam-exploded wood as an insoluble dietary fiber source on the performance characteristics of broilers. *BioResources* 14:1512–1524.
- Kalmendal, R., K. Elwinger, L. Holm, and R. Tauson. 2011a. High-fibre sunflower cake affects small intestinal digestion and health in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 52:86–96.
- Kalmendal, R., K. Elwinger, L. Holm, and R. Tauson. 2011b. High-fibre sunflower cake affects small intestinal digestion and health in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 52:86–96.
- Kheravii, S. K., N. K. Morgan, R. A. Swick, M. Choct, and S. B. Wu. 2018a. Roles of dietary fibre and ingredient particle size in broiler nutrition. *Worlds. Poult. Sci. J.* 74:301–316.
- Kheravii, S. K., R. A. Swick, M. Choct, and S. B. Wu. 2018b. Upregulation of genes encoding digestive enzymes and nutrient transporters in the digestive system of broiler chickens by dietary supplementation of fiber and inclusion of coarse particle size corn. *BMC Genomics* 19:1–14.
- Kimiaetalab, M. V., L. C´amara, S. M. Goudarzi, E. Jim´enez-Moreno, and G. G. Mateos. 2017. Effects of the inclusion of sunflower hulls in the diet on growth performance and digestive tract traits of broilers and pullets fed a broiler diet from zero to 21 d of age . A comparative study 1. *Poult. Sci.* 96:581–593.
- Kluth, H., and M. Rodehutschord. 2009. Effect of inclusion of cellulose in the diet on the inevitable endogenous amino acid losses in the ileum of broiler chicken. *Poult. Sci.* 88:1199–1205.
- Knudsen, K. E. B. 2014. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poult. Sci.* 93:2380–2393.
- Kong, C., and O. Adeola. 2014. Evaluation of amino acid and energy utilization in feedstuff for swine and poultry diets. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 27:917–925.
- Kosugi, A., A. Kondo, M. Ueda, Y. Murata, P. Vaithanomsat, W. Thanapase, T. Arai, and Y. Mori. 2009. Production of ethanol from cassava pulp via fermentation with a surface-engineered yeast strain displaying glucoamylase. *Renew. Energy* 34:1354–1358.

- Krás, R. V., A. M. Kessler, A. M. L. Ribeiro, J. Henn, I. I. Dos Santos, D. P. Halfen, and L. Bockor. 2013. Effect of dietary fiber and genetic strain on the performance and energy balance of broiler chickens. *Brazilian J. Poult. Sci.* 15:15–19.
- Kreukniet, M. B., M. G. B. Nieuwland, and A. J. Van der Zijpp. 1995. Phagocytic activity of two lines of chickens divergently selected for antibody production. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 44:377–387.
- Lam, K., and P. C. Cheung. 2013. Non-digestible long chain beta-glucans as novel prebiotics. *Bioact. Carbohydrates Diet. Fibre* 2:45–64.
- Lammers, K., G. Arbuckle-Keil, and J. Dighton. 2008. FT-IR study of the changes in carbohydrate chemistry of three New Jersey pine barrens leaf litters during simulated control burning. *Soil Biol. Biochem.* 41:340–347.
- Lopes-Lutz, D., D. S. Alviano, C. S. Alviano, and P. P. Kolodziejczyk. 2008. Screening of chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Artemisia* essential oils. *Phytochemistry* 69:1732–1738.
- Makivic, L., M. Glisic, M. Boskovic, J. Djordjevic, R. Markovic, M. Baltic, and D. Sefer. 2019. Performances, ileal and cecal microbial populations and histological characteristics in broilers fed diets supplemented with lignocellulose. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.* 25:83–91.
- Marques, P. T., A. M. F. Lima, G. Bianco, J. B. Laurindo, R. Borsali, J. F. Le Meins, and V. Soldi. 2006. Thermal properties and stability of cassava starch films cross-linked with tetraethylene glycol diacrylate. *Polym. Degrad. Stab.* 91:726–732.
- Mateos, G. G., E. Jiménez-Moreno, M. P. Serrano, and R. P. Lázaro. 2012. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *J. Appl. Poult. Res.* 21:156–174.
- McKee, G. A., J. L. Soong, F. Caldéron, T. Borch, and M. F. Cotrufo. 2016. An integrated spectroscopic and wet chemical approach to investigate grass litter decomposition chemistry. *Biogeochemistry* 128:107–123.
- Menge, H., L. H. Littlefield, L. T. Frobish, and B. T. Weinland. 1974. Effect of cellulose and cholesterol on blood and yolk lipids and reproductive efficiency of the hen. *J. Nutr.* 104:1554–1566.
- Michard, J. 2011. Dietary fibre—the forgotten nutrient? *Hubbard Nutr.* 10:29.
- Miller, G. L. 1995. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.* 31:426–428.
- Montagne, L., J. R. Pluske, and D. J. Hampson. 2003. A review of interactions between dietary

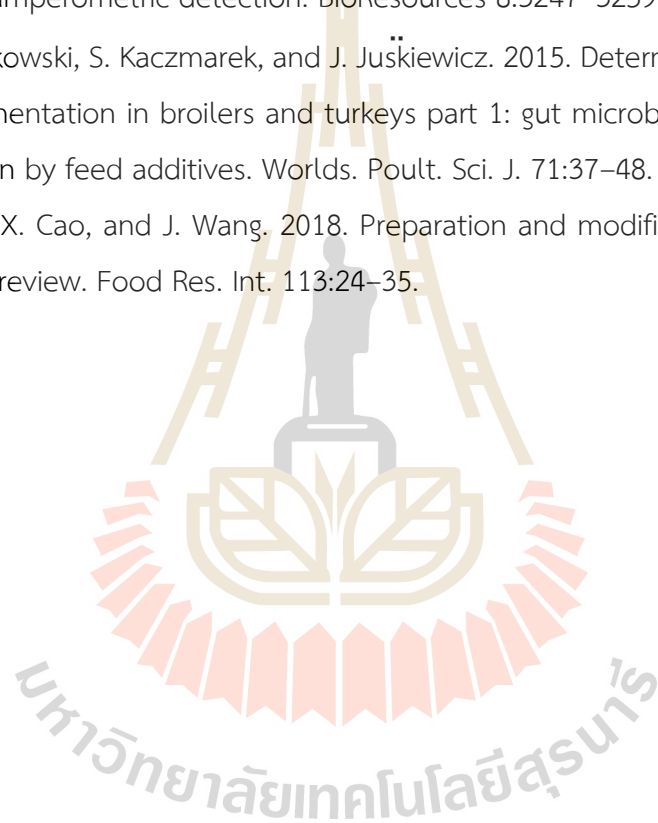
- fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Anim. Feed Sci. Technol.* 108:95–117.
- Mookiah, S., C. C. Sieo, K. Ramasamy, N. Abdullah, and Y. W. Ho. 2014. Effects of dietary prebiotics, probiotic and synbiotics on performance, caecal bacterial populations and caecal fermentation concentrations of broiler chickens. *J. Sci. Food Agric.* 94:341–348.
- Moura, P., R. Barata, F. Carneiro, F. Gírio, M. C. Loureiro-Dias, and M. P. Esteves. 2007. In vitro fermentation of xylo-oligosaccharides from corn cobs autohydrolysis by *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* strains. *LWT-Food Sci. Technol.* 40:963–972.
- NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition, 1994.* National Academies Press.
- Oh, S. Y., D. Il Yoo, Y. Shin, and G. Seo. 2005. FTIR analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide. *Carbohydr. Res.* 340:417–428.
- Pouzet, M., M. Dubois, K. Charlet, and A. Béakou. 2017. The effect of lignin on the reactivity of natural fibres towards molecular fluorine. *Mater. Des.* 120:66–74.
- Rattanachomsri, U., S. Tanapongpipat, L. Eurwilaichitr, and V. Champreda. 2009. Simultaneous non-thermal saccharification of cassava pulp by multi-enzyme activity and ethanol fermentation by *Candida tropicalis*. *J. Biosci. Bioeng.* 107:488–493.
- Ravn, J. L., J. C. Thøgersen, J. Eklöf, D. Pettersson, R. Ducatelle, F. Van Immerseel, and N. R. Pedersen. 2017. GH11 xylanase increases prebiotic oligosaccharides from wheat bran favouring butyrate-producing bacteria in vitro. *Anim. Feed Sci. Technol.* 226:113–123.
- Regassa, A., and C. M. Nyachoti. 2018. Application of resistant starch in swine and poultry diets with particular reference to gut health and function. *Anim. Nutr.* 4:305–310.
- Rezaei, S., M. F. Jahromi, J. B. Liang, I. Zulkifli, A. S. Farjam, V. Laudadio, and V. Tufarelli. 2015. Effect of oligosaccharides extract from palm kernel expeller on growth performance, gut microbiota and immune response in broiler chickens. *Poult. Sci.* 94:2414–2420.
- Rezaei, M., M. A. Karimi Torshizi, and Y. Rouzbehan. 2011. The influence of different levels of micronized insoluble fiber on broiler performance and litter moisture. *Poult. Sci.* 90:2008–2012.
- Rinttilä, T., and J. Apajalahti. 2013. Intestinal microbiota and metabolites—implications for broiler chicken health and performance. *J. Appl. Poult. Res.* 22:647–658.
- Roberts, S. A., H. Xin, B. J. Kerr, J. R. Russell, and K. Bregendahl. 2007. Effects of dietary fiber and reduced crude protein on ammonia emission from laying-hen manure. *Poult. Sci.* 86:1625–1632.
- Ross 308: broiler nutrition specification. 2014. Ross 308: broiler nutrition specification.



- Rowe, A., F. A. F. Macedo, J. V. Visentainer, N. E. Souza, and M. Matsushita. 1999. Muscle composition and fatty acid profile in lambs fattened in drylot or pasture. *Meat Sci.* 51:283–288.
- Sabour, S., S. A. Tabeidian, and G. Sadeghi. 2018. Dietary organic acid and fiber sources affect performance, intestinal morphology, immune responses and gut microflora in broilers. *Anim. Nutr.* 5:156–162.
- Sacranie, A., B. Svihus, V. Denstadli, B. Moen, P. A. Iji, and M. Choct. 2012. The effect of insoluble fiber and intermittent feeding on gizzard development, gut motility, and performance of broiler chickens. *Poult. Sci.* 91:693–700.
- Safaa, H. M., M. Frikha, and G. G. Mateos. 2014. Plasma lipid metabolites and liver lipid components in broilers at 21 days of age in response to dietary different fiber sources. *Egypt. J. Anim. Prod.* 51:115–127.
- Saki, A. A., H. R. Hemati Matin, P. Zamani, and F. Mirzaaghatabar. 2011. Non starch polysaccharides and broiler responses. *World Appl. Sci. J.* 15:192–198.
- Samanta, A. K., N. Jayapal, C. Jayaram, S. Roy, A. P. Kolte, S. Senani, and M. Sridhar. 2014. Xylooligosaccharides as prebiotics from agricultural by-products: Production and applications. *Bioact. Carbohydrates Diet. Fibre* 5:62–71.
- Sarikhan, M., A. H. Shahryar, B. Gholizadeh, M. H. Hosseinzadeh, B. Beheshti, and A. Mahnoodnejad. 2010. Effects of insoluble fiber on growth performance, carcass traits and ileum morphological parameters on broiler chick males. *Int. J. Agric. Biol.* 12:531–536.
- Shakouri, M. D., H. Kermanshahi, and M. Mohsenzadeh. 2006. Effect of different non starch polysaccharides in semi purified diets on performance and intestinal microflora of young broiler chickens. *Int. J. Poult. Sci.* 5:557–561.
- Sharmila, A., A. Kasim, H. M. Noor, M. F. Jahromi, and A. A. Samsudin. 2015. Quantitative real-time PCR analysis of the caecal bacteria population of broiler chickens fed with palm kernel meal-based diet with or without enzyme supplementation. *J. Anim. Poult. Sci.* 4:1–9.
- Short, F. J., P. Gorton, J. Wiseman, and K. N. Boorman. 1996. Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. *Anim. Feed Sci. Technol.* 59:215–221.
- Sinha, A. K., V. Kumar, H. P. S. Makkar, G. De Boeck, and K. Becker. 2011. Non-starch polysaccharides and their role in fish nutrition - A review. *Food Chem.* 127:1409–1426.
- SPSS, Inc., U. 2010. IBM SPSS Modeler 18.0 User's Guide.

- St-Onge, M. P., E. R. Farnworth, and P. J. Jones. 2000. Consumption of fermented and nonfermented dairy products: effects on cholesterol concentrations and metabolism. *Am. J. Clin. Nutr.* 71:674–681.
- Staffolo, M. Dello, A. E. Bevilacqua, M. S. Rodríguez, and L. Albertengo. 2012. Dietary fiber and availability of nutrients: A case study on yoghurt as a food model. *The Complex World of Polysaccharides InTech Eur.*
- Svihus, B. 2011. The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *Worlds. Poult. Sci. J.* 67:207–224.
- Uthumporn, U., S. N. Zainun, A. A. Karim, and A. Y. Tajul. 2014. Extraction and characterization of non-starch polysaccharides from different growth stages of sago starch. *Pakistan J. Nutr.* 13:287–295.
- Walugembe, M., J. C. F. Hsieh, N. J. Koszewski, S. J. Lamont, M. E. Persia, and M. F. Rothschild. 2015. Effects of dietary fiber on cecal short-chain fatty acid and cecal microbiota of broiler and laying-hen chicks. *Poult. Sci.* 94:2351–2359.
- Wan, R., X. Zheng, Y. Chen, and H. Wang. 2015a. Using cassava distiller's dried grains as carbon and microbe sources to enhance denitrification of nitrate-contaminated groundwater. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 99:2839–2847.
- Wan, R., X. Zheng, Y. Chen, and H. Wang. 2015b. Using cassava distiller's dried grains as carbon and microbe sources to enhance denitrification of nitrate-contaminated groundwater. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 99:2839–2847.
- van der Wielen, P. W., S. Biesterveld, S. Notermans, H. Hofstra, B. A. Urlings, and F. van Knapen. 2000. Role of volatile fatty acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. *Appl. Environ. Microbiol.* 66:2536–2540.
- Willis, R. B., M. E. Montgomery, and P. R. Allen. 1996. Improved method for manual, colorimetric determination of total Kjeldahl nitrogen using salicylate. *J. Agric. Food Chem.* 44:1804–1807.
- Yacoubi, N., F. Van Immerseel, R. Ducatelle, L. Rhyat, E. Bonnin, and L. Saulnier. 2016. Water-soluble fractions obtained by enzymatic treatment of wheat grains promote short chain fatty acids production by broiler cecal microbiota. *Anim. Feed Sci. Technol.* 218:110–119.
- Yaich, H., H. Garna, B. Bchir, S. Besbes, M. Paquot, A. Richel, C. Blecker, and H. Attia. 2015. Chemical composition and functional properties of dietary fibre extracted by Englyst and Prosky methods from the alga *Ulva lactuca* collected in Tunisia. *Algal Res.* 9:65–73.

- Yang, Y., P. A. Iji, and M. Choct. 2009. Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens: a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics. *Worlds. Poult. Sci. J.* 65:97–114.
- Ying, D., M. M. Hlaing, J. Lerisson, K. Pitts, L. Cheng, L. Sanguansri, and M. A. Augustin. 2017. Physical properties and FTIR analysis of rice-oat flour and maize-oat flour based extruded food products containing olive pomace. *Food Res. Int.* 100:665–673.
- Yong, X., L. Fan, X. Wang, Q. Yong, and S.-Y. Yu. 2013. Simultaneous separation and quantification of linear xylo- and cello-oligosaccharides mixtures in lignocellulosics processing products on high-performance anion-exchange chromatography coupled with pulsed amperometric detection. *BioResources* 8:3247–3259.
- Zduńczyk, Z., J. Jankowski, S. Kaczmarek, and J. Juszkiewicz. 2015. Determinants and effects of postileal fermentation in broilers and turkeys part 1: gut microbiota composition and its modulation by feed additives. *Worlds. Poult. Sci. J.* 71:37–48.
- Zhang, H., H. Wang, X. Cao, and J. Wang. 2018. Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review. *Food Res. Int.* 113:24–35.



## ประวัตินักวิจัย

- ชื่อ - สกุล: นางสาว สุทิสรา เข้มพะกา  
Miss Sutisa Khempaka
- หมายเลขบัตรประชาชน: 3 3201 00126 85 7
- ตำแหน่งปัจจุบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
- หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมเลขหมายโทรศัพท์ และ E-mail  
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000  
โทรศัพท์ 0-4422-4572 โทรสาร 0-4422-4150  
E-mail: khampaka@sut.ac.th

### 5. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	คณะ	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา/ปี	ประเทศ
ป.ตรี	วท.บ. วิทยาศาสตร์ บัณฑิต (เกียรตินิยม อันดับ 1)	เกษตรศาสตร์	เกษตรศาสตร์	ม.อุบลราชธานี, 2541	ไทย
ป.โท	วท.ม. วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต	เกษตรศาสตร์	สัตวศาสตร์	ม.ขอนแก่น, 2545	ไทย
ป.เอก	Ph.D. (Agricultural Science)	เกษตรศาสตร์	Animal Nutrition and Feed Science	Gifu University, 2006	Japan

### 6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ

- โภชนศาสตร์สัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง (Non-ruminant Nutrition)
- การผลิตสัตว์ปีก (Poultry production)
- การผลิตสุกร (Swine Production)

### 7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

- หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: การศึกษาและปรับปรุงเนื้อเยื่อของไก่ที่ตอบสนองต่อความเครียดจากความร้อนเพื่อเพิ่มความทนทานในการผลิตภายใต้สภาพอากาศที่ท้าทาย
- หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: การประเมินศักยภาพของวัสดุเพาะเห็ดถั่งเช่าสีทองเพื่อพัฒนาเป็นสารเสริมสำหรับสัตว์

- 7.3 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: การประเมินคุณสมบัติของ *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* ที่ได้จากท่อทางเดินอาหารของไก่เพื่อใช้เป็นโพรไบโอติกในอาหารไก่เนื้อ
- 7.4 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: ระดับพลังงาน โปรตีน และกรดอะมิโน ที่เหมาะสมสำหรับไก่ลูกผสมพื้นเมืองระดับสายเลือด 50%
- 7.5 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: การใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับสำเหล้าเป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับสุกร
- 7.6 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ต่อสุขภาพทางเดินอาหาร และสมรรถนะการผลิตของลูกสุกรหย่านม
- 7.7 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกสำหรับไก่ไข่
- 7.8 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: การเพิ่มคุณภาพของกากมันสำปะหลังโดยการหมักด้วยเชื้อ *Aspergillus oryzae* เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับไก่ไข่
- 7.9 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: การใช้น้ำมันหอมระเหยจากสะระแหน่ไทย (*Mentha cordifolia* Opiz.) เพื่อทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะในอาหารไก่เนื้อ
- 7.10 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในสูตรอาหารสำหรับไก่เนื้อ
- 7.11 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: การปรับปรุงคุณภาพของกากมันสำปะหลังเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่สำหรับไก่เนื้อ
- 7.12 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: ผลของการเสริมกลูตามีนในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต การพัฒนาของระบบทางเดินอาหาร และการกระตุ้นภูมิคุ้มกันของไก่เนื้อ
- 7.13 หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง: การใช้ไคตินจากเปลือกกุ้งกุลาดำ (*Peneaus monodon*) เป็นสารเสริมชีวนะในอาหารไก่เนื้อ
- 7.14 ผู้ร่วมโครงการวิจัยเรื่อง: การทดสอบผลิตภัณฑ์การค้าของส่วนผสมสารสกัดหยาบจากพริกและสารฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ในสุกรขุน
- 7.15 ผู้ร่วมโครงการวิจัยเรื่อง: ผลของระดับน้ำมันปลาทะเลในอาหารและช่วงระยะเวลาการให้อาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและส่วนประกอบของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในเนื้อไก่พื้นเมือง
- 7.16 ผู้ร่วมโครงการวิจัยเรื่อง: การศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในโรงฆ่าสุกร การขนส่งจากโรงฆ่าไปยังจุดจำหน่าย และแหล่งจำหน่ายเนื้อสุกร ในเขตจังหวัดนครราชสีมาและอุบลราชธานี
- 7.17 ผู้ร่วมโครงการวิจัยเรื่อง: การสร้างสายพันธุ์ “ไก่เนื้อโคราช” เพื่อการผลิตเป็นอาชีพวิสาหกิจชุมชน
- 7.18 ผู้ร่วมโครงการวิจัยเรื่อง: ผลของการเลี้ยงไก่พื้นเมืองแบบกึ่งปล่อยต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ปริมาณคอเลสเตอรอล และองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อ

## 8. ผลงานวิจัยตีพิมพ์

Khempaka, S., K. Koh, and Y. Karasawa. 2006. Effect of shrimp meal on growth performance and digestibility in growing broilers. *J. Poult. Sci.* 43: 250–254.

- Khempaka, S.,** M. Mochizuki, K. Koh, and Y. Karasawa. 2006. Effect of chitin in shrimp meal on growth performance and digestibility in growing broilers. *J. Poult. Sci.* 43: 339–343.
- Khempaka, S.,** W. Molee, and M. Guillaume. 2009. Dried cassava pulp as an alternative feedstuffs for broilers: effect on growth performance, carcass traits, digestive organs and nutrient digestibility. *J. Appl. Poult. Res.* 18: 487–493.
- Thongkratok, R., **S. Khempaka,** and W. Molee. 2010. Protein enrichment of cassava pulp using microorganisms fermentation techniques for use as an alternative animal feedstuff. *J. Anim. Vet. Adv.* 9(22): 2859–2862.
- Khempaka, S.,** C. Chitsatchapong, and W. Molee. 2011. Evaluation of chitin and protein constituents in shrimp meal on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbial populations, volatile fatty acids and ammonia production in broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 20: 1–11.
- Puttaraksa, P., W. Molee, and **S. Khempaka.** 2012. Meat quality of Thai indigenous chickens raised indoors or with outdoor access. *J. Anim. Vet. Adv.* 11 (7): 975–978.
- Pudpila, U., **S. Khempaka,** W. Molee, and C. Hormta. 2011. Comparison of distillation methods of *Mentha cordifolia* Opiz. essential oil on antibacterial activity for application use in animal feeds. *J. Agri. Sci. and Tech A.* 1: 1336–1340.
- Khempaka, S.,** U. Pudpila, and W. Molee. 2013. The effect of dried peppermint (*Mentha cordifolia*) on growth performance, nutrient digestibility, carcass traits, antioxidant properties and ammonia production in broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 22(4): 904–912.
- Khempaka, S.,** R. Thongkratok, S. Okrathok, and W. Molee. 2014. An evaluation of cassava pulp feedstuff fermented with *A. oryzae*, on growth performance, nutrient digestibility and carcass quality of broilers. *J. Poult. Sci.* 50: 71–79.
- Tiengtam, N., **S. Khempaka,** P. Paengkoum, and S. Boonanutanasarn. 2015. Effects of inulin and Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) as prebiotic ingredients in the diet. *Anim. Feed Sci. Technol.* 127: 120–129.
- Khempaka, S.,** L. Hokking, and W. Molee. 2016. Potential of dried cassava pulp as an alternative energy source for laying hens. *J. Poult. Sci.* 00: 1–11.
- Maliwan, P., **S. Khempaka,** and W. Molee. 2017. Evaluation of various feeding programmes on growth performance, carcass and meat qualities of Thai indigenous crossbred (50%) chickens. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 47(1): 16–25.
- Okrathok, S., P. Pasri, R. Thongkratok, W. Molee, and **S. Khempaka.** 2018. Effects of cassava pulp fermented with *Aspergillus oryzae* as a feed ingredient substitution in laying hen diets. *J. Appl. Poult. Res.* 27(2): 188–197.

- Hang, T.T.T., W. Molee, **S. Khempaka**, and N. Paraksa. 2018. Supplementation with curcuminoids and tuna oil influenced skin yellowness, carcass composition, oxidation status, and meat fatty acids of slow-growing chickens. *Poult. Sci.* 97: 901–909.
- Khempaka, S.**, P. Maliwan, S. Okrathok, and W. Molee. 2018. Digestibility, productive performance, and egg quality of laying hens as affected by dried cassava pulp replacement with corn and enzyme supplementation. *Trop. Anim. Health and Prod.* 50(6): 1239–1247.
- T. T. T. Hang, W. Molee, and **S. Khempaka**. 2018. Linseed oil or tuna oil supplementation in slow-growing chicken diets: Can their meat reach the threshold of a “high in n-polyunsaturated fatty acids” product? *J. Appl. Poult. Res.* 0: 1–12.
- Maliwan, P., **S. Khempaka**, W. Molee, and J.T. Schonewille. 2018. Effect of energy density of diet on growth performance of Thai indigenous (50% crossbred) Korat chickens from hatch to 42 days of age. *Trop Anim Health Prod*: 50(8):1835–1841.
- Maliwan, P., W. Molee, and **S. Khempaka**. 2019. Responses of Thai indigenous crossbred chickens to various dietary protein levels at different ages. *Tropical Animal Health and Production*: 51(6):1427–1439.
- Okrathok, S., and **S. Khempaka**. 2020. Modified-dietary fiber from cassava pulp reduces abdominal fat and meat cholesterol contents without affecting growth performance of broiler chickens. *J. Appl. Poult. Res.* 29:229–239.
- Tsukagoshi, M., M. Sirisopapong, F. Namai, M. Ishida, S. Okrathok, S. Shigemori, T. Ogita, T. Sato, **S. Khempaka** and T. Shimosato. 2020. *Lactobacillus ingluviei* C37 from chicken inhibits inflammation in LPS-stimulated mouse macrophages. *Anim. Sci. J.* 91:1–7.
- Tran, D.H., J.Th. Schonewille, C. Pukkung, and **S. Khempaka**. 2021. Growth performance and accretion of selected amino acids in response to three levels of dietary lysine fed to fast and slow growing broilers. *Poult. Sci.* 100(4): 100998.
- จรรณี จิตส์จางพงศ์ วิทวัช โมฬี และ **สุทิศา เข้มพะกา**. 2552. ผลของการเสริมเปลือกกุ้งป่นในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และการตอบสนองภูมิคุ้มกันของไก่เนื้อ. *วารสารแก่นเกษตร*. 37 (4): 331–338.
- เอกพล พูนชัย **สุทิศา เข้มพะกา** วิทวัช โมฬี และจักร์ โนจากุล. 2553. บทบาทของกลูตามีนต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต การตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน และการพัฒนาระบบทางเดินอาหารสุกรหย่านม. *วารสารแก่นเกษตร*. 38 (1): 39–46.
- พชรพล พะศรี, สุภัตรา โอกระโทก, เมริษา ศิริโสภางษ์, อาภรณ์ คิมเข้ม, วิทวัช โมฬี, อมรรัตน์ โมฬี, ประพจน์ มลิวัลย์, Nadine Gerard, Pascal Mermillod และ **สุทิศา เข้มพะกา**. 2561. ผลของระดับพลังงาน วิตามินซี วิตามินอี และซีลีเนียมในอาหารแม่ไก่ ต่อสมรรถนะการผลิต ระยะเวลาการมีชีวิตร

รอดของอสุจิ และการต้านอนุมูลอิสระในของเหลวจากต่อมสร้างเปลือกไข่. วารสารแก่นเกษตร. 46(1): 63–72.

สุภัตตรา โอกระโทก เมริษา ศิริโสภภาพงษ์ วิทวัช โมฬี และสุทิศา เข้มพะกา. 2562. ผลของการหมักโยอาหารที่สกัดได้จากกากมันสำปะหลัง และกากมันเอทานอล ในหลอดทดลองต่อประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันสายสั้น และกรดแลคติก. วารสารแก่นเกษตร. 47(2): 271–280.

อาภรณ์ คิมเข้ม และสุทิศา เข้มพะกา. 2562. การประเมินคุณสมบัติทางพิษเคมีของหญ้าขัดมอญใบยาว และผลการเสริมในอาหารต่อความเข้มข้นพิวรีน อนุพันธ์พิวรีน และ กรดยูริกในพลาสมาของไก่โคราช. วารสารแก่นเกษตร. 48 (1): 143–152.

สุภัตตรา โอกระโทก เมริษา ศิริโสภภาพงษ์ เพลิน เมินกระโทก และ สุทิศา เข้มพะกา. 2564. ผลของโยอาหารตัดแปลงจากกากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางเดินอาหารและลักษณะสัณฐานวิทยาของลำไส้ในไก่เนื้อ วารสารแก่นเกษตร. 49 (2): 159–163.

## 9. เสนอในการประชุมวิชาการต่างประเทศ

**Khempaka, S.,** M. Mochizuki, K. Koh, and Y. Karasawa. 2005. Effects of shrimp meal on growth performance, digestibility, nitrogen retention and meat color in growing broilers. Japanese Poultry Science Association, Spring Meeting 2005. Tokyo, Japan.

**Khempaka, S.,** K. Koh, and Y. Karasawa. 2005. Growth performance, digestibility and nitrogen retention in growing broiler given diets containing 4 to 16% of shrimp meal. Japanese Poultry Science Association, Autumn Meeting 2005. Kumamoto, Japan.

**Khempaka, S.,** K. Koh, and Y. Karasawa. 2006. High calcium content in shrimp meal had little effect on growth performance in growing broilers. Japanese Poultry Science Association, Spring Meeting 2006. Fukuoka, Japan.

**Khempaka, S.,** K. Koh, and Y. Karasawa. 2007. The *in vitro* measurement of dry matter and crude protein digestibilities of shrimp meal. First International Conference on Sustainable Animal Agriculture in Developing Countries, Kunming Yunnan, China.

**Khempaka, S.,** W. Molee, R. Thongkratoke, C. Chitsatchapong, and E. Poonchai. 2008. Fermentation of cassava pulp with *Aspergillus oryzae* and *Candida utilis* for improved nutrients as an alternative feedstuff for animals. The 13<sup>th</sup> Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. September 22–26, 2008. Hanoi, Vietnam.

**Khempaka, S.,** and W. Molee. 2008. Effect of cassava pulp on growth performance and digestibility in broilers. The 13<sup>th</sup> Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. September 22–26, 2008. Hanoi, Vietnam.



- Molee, W., **S. Khempaka**, and C. Hornta. Effects of dietary tuna oil on performance, egg quality and egg yolk fatty acid composition of laying hens. The 13th Animal Science congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. September 22–26, 2008. Hanoi, Vietnam.
- Khempaka, S.**, C. Chitsatchapong, and W. Molee. 2009. Measurement of chitin efficiencies on growth performance and ammonia production in broilers. The 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries, November 8–11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Chisatchapong, C., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Hornta. 2009. Effect of chitin constituent in shrimp meal on nutrient digestibility, hematology and immune response in broilers. The 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. November 8–11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Thongkratok, R., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Hornta. 2009. Evaluation of fermented cassava pulp on growth performance and nutrient digestibility in broilers. 2009. The 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. November 8–11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Poonchai, E., **S. Khempaka**, W. Molee, and J. Nojakul. 2009. Effect of glutamine supplementation on growth performance and intestinal microbial population of weaned pigs. The 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. November 8–11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Khempaka, S.**, N. Chaiyasit, and W. Molee. 2010. Effect of dietary shrimp meal on microbial populations and ammonia production in broilers administered with *Lactobacillus* spp. and *Bacillus* spp. The 14<sup>th</sup> Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. August 23-27, 2010. Pingtung, Taiwan, Republic of China.
- Molee, W., **S. Khempaka**, C. Chitsatchapong, and P. Puttaraksa. 2010. Effects of dietary Tuna Oil on growth performance and fatty acid composition of meat in Thai Native Chickens. The 14<sup>th</sup> Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. August 23–27, 2010. Pingtung, Taiwan, Republic of China.
- Pudpila, U., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Hornta. 2011. Comparison of distillation methods of *Mentha cordifolia* Opiz. essential oil on antibacterial activity for application use in animal feeds. The 3<sup>rd</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. July 26–29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.

- Suriyawong, T., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Hormta. 2011. The *In Vitro* evaluation of non-starch polysaccharide digestibility of cassava pulp using xylanase enzyme. The 3<sup>rd</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. July 26–29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Khempaka, S.**, and K. Koh. 2011. Effect of covering with acidified sawdust on ammonia volatilization during composting of poultry manure. The 3<sup>rd</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. July 26–29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Yingyuen, S., S. Wongsutthavas, C. Yuanklang, K. Vasupen, S. Bureenok, **S. Khempaka**, and A.C. Beynen. 2011. Effect of dried black cumin and tamarin supplementation on egg performance and lipids concentration in egg yolk of layer hens. The 3<sup>rd</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. July 26–29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Chaokaur, A., **S. Khempaka**, T. Matsumoto, J. Takahashi, and T. Nishida. 2011. Effect of ruminal dosing of mechanical stimulating brush on methane emission from rumen in dry cows. The 3<sup>rd</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. July 26–29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Khempaka, S.**, S. Okrathok, L. Hokking, B. Thuhanon, and W. Molee. 2011. Influence of supplemental glutamine on nutrient digestibility and utilization, small intestinal morphology and gastrointestinal tract and immune organ developments of broiler chickens. World Academy of Science, Engineering and Technology. August 24–26, 2011. Paris, France.
- Molee, W., P. Puttaraksa, S. Pitakwong, and **S. Khempaka**. 2011. Performance, carcass yield, hematological parameters, and feather pecking damage of Thai indigenous chickens raised indoors or with outdoor access. World Academy of Science, Engineering and Technology. August 24–26, 2011. Paris, France.
- Khempaka, S.**, and W. Molee. 2012. An evaluation of glutamine feed supplementation on the immune response, intestinal morphology and growth performance of broilers, at various stages of development. ADSA®-AMPA-ASAS-CSAS-WSASAS Joint Annual Meeting. July 15–19, 2011, Phoenix, Arizona, USA.
- Khempaka, S.**, E. Poonchai, and W. Molee. 2012. Efficacy of glutamine enriched diet on the growth performance, hematology and blood urea nitrogen of weaned pigs. In APE 2012: International Conference on Animal Production and Environment, 13–14 December 2012. Cantho, Vietnam.

- Suriyawong, T., **S. Khempaka**, and W. Molee. 2012. The effects of xylanase enzyme supplementation in diets containing dried cassava pulp on nutrient digestibility and growth performance of broilers. In *APE 2012: International Conference on Animal Production and Environment*, 13–14 December 2012, Cantho, Vietnam.
- Pitagwong, S., W. Molee, **S. Khempaka**, and C. Hormta. 2012. Varying ratios of soybean oil to tuna oil in laying hen diets on productive performance and ratio of omega-6 to omega-3 fatty acids in egg yolk. In *APE 2012: International Conference on Animal Production and Environment*, 13–14 December 2012, Cantho, Vietnam.
- Molee, W., P. Puttaraksa, and **S. Khempaka**. 2012. Effect of rearing systems on fatty acid composition and cholesterol content of Thai indigenous chicken meat. *ICABBBE 2012: International Conference on Agricultural, Biosystems, Biotechnology and Biological Engineering*, September 26–27, 2012, Rome, Italy.
- Okathok, S., **S. Khempaka**, and W. Molee. 2012. Effects on cassava pulp fermented with *A. oryzae* on nutrient digestibility and ammonia production of laying hens. In *APE 2012: International Conference on Animal Production and Environment*, 13–14 December 2012, Cantho, Vietnam.
- Hokking, L., **S. Khempaka**, and W. Molee. 2012. An evaluation of the metabolizable energy and nutrient digestibility of dried cassava pulp in layers. In *APE 2012: International Conference on Animal Production and Environment*, 13–14 December 2012, Cantho, Vietnam.
- Maliwan, P., C. Sripaoraya, P. Nuansritong, and **S. Khempaka**. 2012. Effect of pineapple bran on the growth performance and carcass quality of broilers. In *APE 2012: International Conference on Animal Production and Environment*, 13–14 December 2012, Cantho, Vietnam.
- Molee, W., A. Molee, **S. Khempaka**, C. Hormta, P. Mernkrathoke, T. Chormai, and B. Likitdecharote. The comparison of growth performance, carcass composition, and meat quality between Thai crossbred (Thai indigenous chicken x layer) and male layer chickens. *EggMeat Symposia 2013*, 15–19 September 2013. Bergamo, Italy.
- Khempaka, S.**, S. Terapuntuwat, W. Wongsrikeao, and P. Pakdee. 2013. Responses of broiler chicks to methionine hydroxyl analog and DL-methionine using fish meal or full fat soybean meal as the sole source of protein. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. January 14–15, 2013. Zurich, Switzerland.
- Thukhanon, B., S. Pitagwong, **S. Khempaka**, and W. Molee. 2013. Productive performance and egg quality of laying hens kept under difference rearing systems. 2013. *International*

- Conference on Agriculture Science and Environment Engineering (ICASEE 2013), December 19–20, 2013. Beijing, China.
- Khempaka, S.**, T. Suriyawong, and W. Molee. 2014. Xylanase supplementation improve nutrient digestibility in broilers fed dried cassava pulp. In *EAAP 2014 65<sup>th</sup> Annual Meeting of European Federation of Animal Science*, 25–29 August 2014, Copenhagen, Denmark.
- Maliwan, P., **S. Khempaka**, and W. Molee. 2015. Metabolizable energy requirement of Thai indigenous crossbred (50%) chickens (Korat chickens) from 0–3 weeks of age. *Khon Kaen Agr. J.* 43 Suppl.2: 211 (Abstr.)
- Molee, W., **S. Khempaka**, P. Memkrathoke, and A. Molee. 2014. Effect of free-range raising system on growth performance and carcass traits of “Korat Meat Chickens”. XIVth European Poultry Conference (EPC 2014), June 23–27, 2014. Stavanger, Norway.
- Maliwan, P., **S. Khempaka**, and W. Molee. 2015b. Effects of dietary energy on growth performance of Korat chickens from 3 to 6 weeks of age. In *EAAP 2015 66<sup>th</sup> Annual Meeting of European Federation of Animal Science*, 31 August – 4 September 2015, Warsaw, Poland.
- Khempaka, S.**, P. Pasri, S. Okrathok, T. Suriyawong, L. Hokking, and W. Molee. 2015. Responses of weaned pigs to organic acids on growth performance and intestinal mucosa morphology. In *EAAP 2015 66<sup>th</sup> Annual Meeting of European Federation of Animal Science*, 31 August – 4 September 2015, Warsaw, Poland.
- Sirisopapong, M., A. Khimkem, P. Pasri, S. Chaiyasit, P. Jai boonlue, S. Okrathok, and **S. Khempaka**. 2015. Evaluation of nutrient digestibility of mixed cassava pulp and Napier Pakchong grass for use as an alternative feedstuff in laying hens. The 5<sup>th</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. October 27–30, 2015. Chonburi, Thailand.
- Samdangchai, T., **S. Khempaka**, and W. Molee. 2015. Effect of dietary vitamin E, selenium and omega-3 on fertility and hatchability of SUT female broiler breeders. The 1<sup>st</sup> International Conference on Native Chicken (ICONC2015), February 23–25, 2015. Khon Kaen, Thailand.
- Molee, W., **S. Khempaka**, and A. Molee. 2015. Meat quality of Thai indigenous crossbred chickens kept under free-range raising system. The 66th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP2015), August 31 to September 4, 2015, Warsaw, Poland.

- Yaemphet, T., W. Molee, and **S. Khempaka**. 2016. Effect of long-term feeding of n-6 to n-3 fatty acid ratio in laying hen diets on yolk fatty acid accumulation. The 17<sup>th</sup> Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies, August 22 to 25, 2016, Fukuoka, Japan.
- Maliwan, P., **S. Khempaka**, and W. Molee. 2016. Protein requirement of Korat chickens from 0–3 weeks of age. In EAAP 2016 67<sup>th</sup> Annual Meeting of European Federation of Animal Science, 29 August - 2 September 2016, Belfast, UK.
- Khempaka, S.**, P. Maliwan, and W. Molee. 2016. Mixed enzymes supplementation in laying hens fed dried cassava pulp. In EAAP 2016 67<sup>th</sup> Annual Meeting of European Federation of Animal Science, 29 August - 2 September 2016, Belfast, UK.
- Molee, W., P. Mernkrathoke, **S. Khempaka**, and A. Molee. 2016. Effect of different management systems on performance and carcass traits of crossbred chickens. In EAAP 2016 67<sup>th</sup> Annual Meeting of European Federation of Animal Science, 29 August - 2 September 2016, Belfast, UK.
- Molee, A., W. Molee, **S. Khempaka**, C. Hormta, P. Mernklatoak, T. Chormai, R. Bunnom, N. Tanpol, and B. Likitdejcharoj, 2016. The establishment of female line of alternative meat chicken for smallholder farmer's occupation. In EAAP 2016 67<sup>th</sup> Annual Meeting of European Federation of Animal Science, 29 August - 2 September 2016, Belfast, UK.
- Phocharapon. P., **S. Khempaka**, W. Molee, A. Molee, N. Gerard, and P. Mermillod. 2016. Reproductive performance and fertility response of laying hens as affected by dietary energy and antioxidant substance supplementation. In The 1<sup>st</sup> International Conference on Tropical Animal Science and Production (TASP2016), September 26 to 29, 2016. Bangkok, Thailand.
- Hang, T.T.T., W. Molee, and **S. Khempaka**. 2016. Growth performance, meat quality and plasma TBARS of indigenous crossbred chickens fed curcumin removed turmeric oleoresin. In The 1<sup>st</sup> International Conference on Tropical Animal Science and Production (TASP2016), September 26 to 29, 2016. Bangkok, Thailand.
- Yaemphet, T., W. Molee, and **S. Khempaka**. 2016. Effect of different n-6 to n-3 fatty acid ratio in laying hen diets on egg quality, yolk fat and yolk cholesterol. The 1<sup>st</sup> International Conference on Tropical Animal Science and Production (TASP2016), Bangkok, Thailand, September 26 to 29, 2016.
- Molee, W., T. Yaemphet, and **S. Khempaka**. 2016. Productive performance and yolk fatty acid composition of laying hens fed different dietary n-6 to n-3 fatty acid ratios. The International conference on "Agriculture development in the context of international

- integration: Opportunities and challenges” (ICOAD 2016), December 7 to 8, 2016. Vietnam National University of Agriculture, Hanoi, Vietnam.
- Khempaka, S.,** T. Omura, M. Sirisopapong, A. Khimkem, P. Pasri, S. Chaiyasit, S. Okrathok and W. Molee. 2017. Effects of mixed cassava pulp and Napier Pakchong grass as alternative feedstuff in laying hens diets. In EAAP 2017 68<sup>th</sup> Annual Meeting of European Federation of Animal Science, 28 August - 2 September 2017, Tallins, Estonia.
- Khempaka, S.,** P. Pasri, S. Okrathok, P. Maliwan, M. Sirisopapong, W. Molee, N. Gerard and P. Mermillod. 2018. Energy, vitamin C, vitamin E and selenium affected antioxidant activity in egg yolk and uterine fluid of laying hens. In EAAP 2018 69<sup>th</sup> Annual Meeting of European Federation of Animal Science, 27–31 August 2018, Dubrovnik, Croatia.
- Chaiyasit, S., S. Okrathok, J. Pongsetkul, P. Sangsawad, W. Molee, and **S. Khempaka.** 2019. Effect of low purine diets on uric acid concentration in serum and excreta of Korat chickens. In The 2<sup>nd</sup> International Conference on Tropical Animal Science and Production (TASP 2019) and The 2<sup>nd</sup> International Conference on Native Chicken (ICON 2019), July 9 to 12, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Khimkem, A., O. Jantasaeng, J. Pongsetkul, P. Sangsawad, W. Molee and **S. Khempaka.** 2019. Effects of *Sida acuta* Burm.f. supplementation in diets on serum antioxidant enzyme of Korat chickens. In The 2<sup>nd</sup> International Conference on Tropical Animal Science and Production (TASP 2019) and The 2<sup>nd</sup> International Conference on Native Chicken (ICON 2019), July 9 to 12, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Khempaka, S.,** C. Pukkung, M. Sirisopapong, A. Khimkem, P. Pasri, S. Chaiyasit and S. Okrathok. 2019. Evaluation of mixed cassava pulp and Napier Packing grass for use as feedstuff in laying hen. International Congress on Domestic Animal Breeding Genetics and Husbandry (ICABGEH-2019)”, Prague, Czech Republic.
- Khempaka, S.,** S. Okrathok, M. Sirisopapong and S. Chaiyasit. 2019. Chemical characteristics of modified-dietary fiber from cassava by-products. The 7<sup>th</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. November 8–11, 2019. Pokhara, Nepal.
- Okrathok, S., M. Sirisopapong, P. Pasri, S. Chaiyasit, A. Khimkem, and **S. Khempaka.** 2019. Using modified-dietary fiber from cassava pulp as an insoluble fiber source in broiler diets to enhance gizzard development and nutrient utilization. The 7<sup>th</sup> International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. November 8–11, 2019. Pokhara, Nepal.