



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์

สัตว์บาล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหาร
ต่อการย่อยได้ของอาหาร และสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล

Effects of Feeding Hydrothermal Starch Products in Substitution of Whey on Nutrient
Digestibility and Performance of Weanling Pigs

นามผู้วิจัย นางสาวศุภวรรณ กิตขันธ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อตมามงกูร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุกัญญา รัตนทัพบิมทอง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อตมามงกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหาร
ต่อการย่อยได้ของอาหาร และสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล

Effects of Feeding Hydrothermal Starch Products in Substitution of Whey on Nutrient
Digestibility and Performance of Weanling Pigs

โดย

นางสาวศุภวรรณ กิตขยัน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

พ.ศ. 2552

ศุภวรรณ กิตขันธ์ 2552: ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผง
ในสูตรอาหารต่อการย่อยได้ของอาหารและสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล ปรินญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาวิชาโภชนศาสตร์
และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D. 72 หน้า

การศึกษาผลการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผงในสุกรอนุบาล
แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณค่าทางโภชนะ การย่อยได้ของสารอาหาร และ
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch พบว่า ส่วนผสมของแป้งบริสุทธิและ
แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม (PSFFS) และแป้งข้าวเจ้า (RF) มีโปรตีน 13.0 และ 8.00 ไขมัน 6.50 และ 1.00
เยื่อใย 1.30 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 4,353 และ 4,178 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน 83.32 และ 81.48 ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน 84.18 และ
82.48 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผงในสูตร
อาหารต่อการย่อยได้ของอาหาร โดยใช้สุกรเพศผู้ตอน น้ำหนักเฉลี่ย 12-13 กิโลกรัม จำนวน 18 ตัว แบ่ง
ออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ตัว ให้อาหารทดลอง 3 สูตร คือ สูตรอาหารควบคุม (ใส่หาง
เนยผง) สูตรที่ใช้ PSFFS และสูตรที่ใช้ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อาหารในแต่ละสูตร
มีพลังงานใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และสุกรในแต่ละกลุ่มมีการ
ย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และโปรตีนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การทดลองที่ 3 ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผงต่อ
สมรรถภาพการผลิตและต้นทุนค่าอาหารสุกรอนุบาล โดยใช้สุกรน้ำหนักเริ่มต้นที่ 7-8 กิโลกรัม คละเพศ
จำนวน 120 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ตัว ให้อาหารทดลอง 3 สูตร คือ สูตร
อาหารควบคุม (ใส่หางเนยผง) สูตรที่ใช้ PSFFS และสูตรที่ใช้ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์
พบว่า สมรรถภาพการผลิตของสุกรมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนั้น
สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ PSFFS และ RF ทดแทนหางเนยผงมีต้นทุนค่าอาหารและต้นทุนในการ
เปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสุกร 1 กิโลกรัมต่ำกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้หางเนยผง

Supawan Kidcayan 2009: Effects of Feeding Hydrothermal Starch Products in Substitution of Whey on Nutrient Digestibility and Performance of Weanling Pigs. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Seksom Attamangkune, Ph.D. 72 pages.

Three experiments were conducted in order to elucidate the effects of feeding hydrothermal starch products in weanling pigs. In experiment 1, pure starch and full fat soybean flour (PSFFS) and rice flour (RF) were determined for nutrient composition, digestibility and metabolizable value in weanling pigs. The results showed that PSFFS and RF contained of %CP 13.0 and 8.0, % fat 6.5 and 1.0, %CF 1.3 and 1.0, ME 4,353 and 4,178 Kcal/kg, % apparent fat digestibility 83.32 and 81.48 and % apparent protein digestibility 84.18 and 82.48, respectively. In experiment 2, eighteen castrated male piglets (12-13 kgBW) were subjected to three dietary treatments. Each treatment contained 6 replications with 1 piglet per replication. The dietary treatments were control (sweet whey powder), PSFFS diet (100% sweet whey powder replacement with PSFFS), and RF diet (100% sweet whey powder replacement with RF). No significant difference in dietary ME level, % apparent fat digestibility and % apparent protein digestibility among the treatments were observed in this study. In experiment 3, one hundred and twenty piglets (7-8 kgBW) were assigned to three dietary treatments (as in experiment 2). Each treatment contained 5 replications with 8 piglets per replication. There was not significantly different in piglet performance among dietary treatments. Nevertheless, piglets subjected to PSFFS and RF diets showed lower feed cost and feed cost per gain when compared to the control diet (sweet whey powder diet)

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสกสม อาคมางกูร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวเรศ เรืองพานิช อาจารย์ ดร. สุกัญญา รัตนทับทิมทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรประพันธ์ ส่งเสริม ประธานการสอบ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ สมภาร ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณบริษัทแอมเวทต้า จำกัด ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยและเอื้อเพื่อผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch

ขอขอบคุณบริษัทไบโอ-เจนฟีด มิลล์ และไบโอ-เจนฟาร์ม จ.ลำพูน ที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการผลิตอาหารทดลอง และสถานที่ในการทำวิจัย รวมทั้งคำแนะนำ และการช่วยเหลือต่างๆ ของเจ้าหน้าที่ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของสถานีวิจัยทับกวาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ. แก่งคอย จ. สระบุรี ที่สนับสนุน ช่วยเหลือและให้ความอนุเคราะห์ในการผลิตอาหารทดลองและสถานที่ในการศึกษาการย่อยได้ของผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch และการย่อยได้ของอาหารในสุกรอนุบาล ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์อาหารสัตว์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอน และสนับสนุนด้วยดีตลอดมา และขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ภาควิชาสัตวบาล และคุณเอกพล ฤทธิรัตน์ที่ให้กำลังใจที่ดีในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยอบรมสั่งสอนเลี้ยงดู ห่วงใยและให้การสนับสนุนในการศึกษาโดยตลอด และเป็นกำลังใจที่สำคัญในการทำงานวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ศุภวรรณ กิตขันธ์

เมษายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	29
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	46
สรุป	57
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	58
ภาคผนวก	68
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	72

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	5
2	ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในแป้งชนิดต่างๆ	5
3	คุณสมบัติและอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้งชนิดต่างๆ	7
4	องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ลอย ได้จากการสีข้าว	13
5	องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวชนิดต่างๆ	14
6	ค่าพลังงานของถั่วเหลืองไขมันเต็มทีผลิตด้วยกระบวนการต่างๆ	20
7	ระดับพลังงานและการย่อยได้ของไขมันในสัตว์ปีกที่ได้รับถั่วเหลืองไขมัน เต็มทีผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนแบบต่างๆ	21
8	ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองเอ็กซ์ทราดและถั่วเหลืองเมล็ด	22
9	องค์ประกอบของกรดอะมิโนในถั่วเหลืองเอ็กซ์ทราดเปรียบเทียบกับ ถั่วเหลืองเมล็ด	23
10	คุณค่าทางโภชนาของกากถั่วเหลืองและถั่วเหลืองไขมันเต็ม	24
11	ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในการศึกษาค่าการย่อยได้ของ โภชนาในผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch	32
12	ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมของพรีมิกซ์ไวตามิน-แร่ธาตุ	33
13	ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารในการหาค่าการย่อยได้ของโภชนา ในอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch	37
14	ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมของยาปฏิชีวนะ	38
15	ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารในสูตรอาหารสุกรอายุ 4-7 สัปดาห์	42
16	ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารในสูตรอาหารสุกรอายุ 7-9 สัปดาห์	43
17	องค์ประกอบทางเคมีและค่าการย่อยได้ของผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch	46
18	ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผง ในสูตรอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนาในสุกรอนุบาล	48
19	คุณค่าทางโภชนาในสูตรอาหารของสุกรอนุบาล	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผง ในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล (อายุ 4-7 สัปดาห์)	53
21	ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผง ในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล (อายุ 7-9 สัปดาห์)	53
22	ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผง ในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล (อายุ 4-9 สัปดาห์)	53
23	ต้นทุนค่าอาหารต่อกิโลกรัมและต้นทุนในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม	54

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของอะไมโลส	3
2	โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	4
3	ผลิตภัณฑ์จากข้าวชนิดต่างๆ	12
4	กระบวนการผลิตข้าวเหลืองไขมันเต็ม	19
5	ปริมาณของเอนไซม์ต่างๆในลูกสุกแรกเกิดจนถึงอายุ 7 สัปดาห์	26

ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหาร ต่อการย่อยได้ของอาหารและสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล

Effect of Feeding Hydrothermal Starch Products in Substitution of Whey on Nutrient Digestibility and Performance of Weanling Pigs

คำนำ

การหย่านมเป็นช่วงวิกฤติที่สำคัญของลูกสุกรเนื่องจากลูกสุกรต้องแยกจากแม่ เปลี่ยนสภาพแวดล้อมใหม่ รวมทั้งมีการเปลี่ยนอาหารจากน้ำนมแม่เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่างๆ ทำให้ลูกสุกรเกิดความเครียด ท้องเสีย และชะงักการเจริญเติบโต โดยเมื่อแรกคลอดลูกสุกรจะได้รับสารอาหารต่างๆ รวมถึงภูมิคุ้มกันจากไขมัน น้ำตาล และโปรตีนในน้ำนมแม่สุกร เมื่อหลังหย่านมลูกสุกรจะได้รับแหล่งพลังงานและโปรตีนจากวัตถุดิบธัญพืชแทน แต่เนื่องจากเอนไซม์ภายในร่างกายลูกสุกรยังไม่มีพัฒนาอย่างเต็มที่ โดยเฉพาะเอนไซม์ที่ย่อยแป้ง (amylase) และโปรตีน (protease) ทำให้ลูกสุกรย่อยอาหารได้ไม่หมด เกิดการหมักในลำไส้ใหญ่ จุลินทรีย์ที่เป็นโทษเจริญเติบโต ส่งผลให้ลูกสุกรเกิดอาการท้องเสียได้ ทำให้โดยทั่วไปในการประกอบสูตรอาหารลูกสุกรอนุบาลจึงมีการใช้หางเนยผงเพื่อเพิ่มความน่ากิน เลียนแบบกลิ่น รสชาติ และสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำนมแม่สุกร เพื่อลดการชะงักการเจริญเติบโตของสุกร แต่หางเนยผงที่ใช้ในสูตรอาหารนั้นมีราคาแพง จึงได้มีการหาวัตถุดิบและกรรมวิธีต่างๆ เข้ามาทดแทน เช่น วัตถุดิบประเภทแป้ง และเมื่อนำแป้งไปผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนจะทำให้แป้งสุกพองตัวเป็นเจล (gelatinized starch) ทำให้เอนไซม์ย่อยได้มากขึ้น และอีกทั้งยังเป็นการกระตุ้นความสามารถในการผลิตและการทำงานของเอนไซม์ α -amylase (amylase enhancer) เพิ่มขึ้นอีกด้วย

ดังนั้นจึงคาดหวังว่าการใช้แป้งที่ผ่านกระบวนการทำให้สุกมาแล้วเมื่อนำมาใช้ในสูตรอาหารลูกสุกรอนุบาล จะสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการย่อย และส่งผลให้การเจริญเติบโตดีขึ้น อีกทั้งหากสามารถใช้แป้งสุกทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารสุกรอนุบาลได้จริงจะสามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารลงได้ ในการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาค่าการย่อยได้ทางโภชนาและการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ต่อการย่อยได้ของอาหาร สมรรถภาพการผลิต ต้นทุนค่าอาหาร และต้นทุนในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของสุกรอนุบาล

วัตถุประสงค์

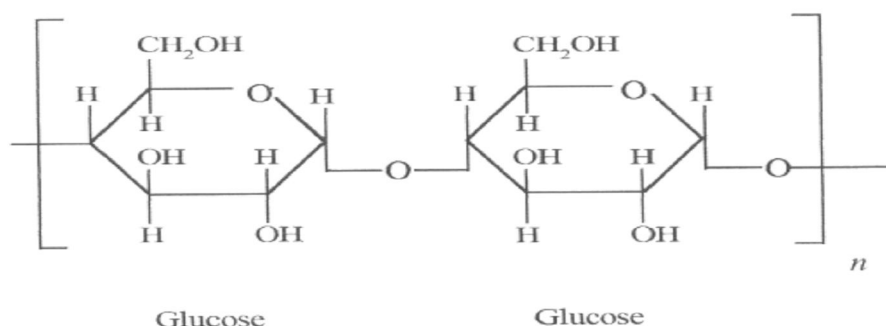
1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางโภชนาและการย่อยได้ของผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ชนิดต่างๆ
2. ศึกษาการย่อยได้ของอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ชนิดต่างๆ ในสูตรอาหารสุกรอนุบาล
3. ศึกษาผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ชนิดต่างๆ ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล
4. ศึกษาผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ชนิดต่างๆ ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารต่อต้นทุนค่าอาหารต่อกิโลกรัมและต้นทุนในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสุกร 1 กิโลกรัม

การตรวจเอกสาร

แป้งและโครงสร้างของแป้ง

แป้ง (starch) จัดเป็น โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ชนิดโฮโมโพลีแซคคาไรด์ (homopolysaccharide) ที่สำคัญที่สุดในธรรมชาติ เกิดจากโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) หลายๆ หน่วยมาต่อกัน สูตรทั่วไป คือ $(CH_2O)_n$ โดยปกติแป้งจะมีอยู่ในเมล็ด ราก และลำต้นของพืช ลักษณะของแป้งจะเป็นเม็ดเล็ก มีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช แป้งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ อะไมโลส และอะไมโลเพกตินที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน (ตารางที่ 1)

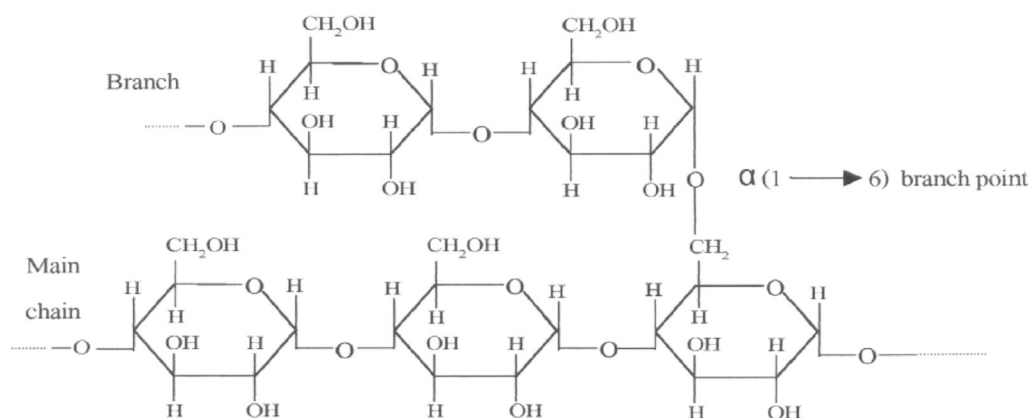
อะไมโลส (amylose) เป็นโพลิเมอร์แบบเชิงเส้น ประกอบไปด้วยหน่วยของ D (+) กลูโคส ประมาณ 500-2,000 มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวไม่มีแขนง ด้วยพันธะ α -1,4 glucosidic linkage (ภาพที่ 1) น้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไปตั้งแต่ 2,000-500,000 โมเลกุล (บุญล้อม, 2546) โดยอะไมโลสที่มีขนาดใหญ่จะอยู่ตรงกลางของแป้ง ส่วนอะไมโลสขนาดเล็กจะอยู่ตามขอบเม็ดแป้ง เช่น ในแป้งพวกรัษฎาพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ และแป้งจากพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง และสาเก มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 1 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา: Voet and Voet (1995)

อะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นโพลิเมอร์แบบเชิงกิ่ง ที่มีโครงสร้างแตกแขนง แต่ละแขนงประกอบด้วยหน่วยกลูโคสประมาณ 2,000,000 หน่วย ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 glucosidic linkage และส่วนที่มีการแตกแขนงเป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมจับกันด้วยพันธะ α -1,6 glucosidic linkage น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 1,000,000 โมเลกุล (ภาพที่ 2) ลักษณะโครงสร้างของอะไมโลเพคตินจะประกอบด้วย ส่วนผลึกที่เรียงตัวกันอย่างหนาแน่น (crystallite region) และส่วนอสัณฐานที่เรียงตัวกันอย่างหลวมๆ (amorphous region) อะไมโลเพคตินมีความสำคัญมากกว่าอะไมโลส ทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์พืชต่างๆ ไปมีอะไมโลเพคตินเป็นองค์ประกอบอยู่ 70-80 เปอร์เซ็นต์ แต่ในแป้งข้าวเหนียวมีอะไมโลเพคตินสูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ (ลัดดา, 2549)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

ที่มา: Voet and Voet (1995)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วย กลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีม่วงแดง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะ จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2543)

แป้งที่ได้จากพืชต่างชนิดจะประกอบด้วยปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่แตกต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติของแป้งแตกต่างกัน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดของแป้ง	ปริมาณอะไมโลส (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณอะไมโลเพคติน (เปอร์เซ็นต์)
ข้าวเจ้า	18.5	81.5
ข้าวสาลี	25	75
มันเทศ	20	80
มันสำปะหลัง	16.7	83.3

ที่มา: Deman (1990)

การเกิดเจลาตินไนซ์ของแป้ง (gelatinization of starch)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีขั้ว (hydrophilic) แต่เม็ดแป้งอยู่ในรูปร่างแห (micelles) ทำให้เม็ดแป้งไม่ละลายน้ำ และเมื่อแป้งอยู่ในน้ำเย็นหรือในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินไนซ์ (ณ.อุณหภูมิห้อง) เม็ดแป้งจะดูดซึมและพองตัวได้เล็กน้อย เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กัน (water bridges) ทำให้มีความต้านทานต่อการไฮโดรไลซ์ (hydrolyse) ซึ่งเม็ดแป้งที่อยู่ในสภาพธรรมชาติจะต้านต่อปฏิกิริยาทางเคมี และการทำงานของเอนไซม์ที่จะจับกับโมเลกุลของแป้งได้น้อย และเมื่อนำเม็ดแป้งมาละลายน้ำและเพิ่มความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาตินไนซ์ ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเข้าไปในโมเลกุลของแป้งได้ ทั้งนี้เพราะที่อุณหภูมิสูงสามารถแยก H-bond ออกได้ ทำให้ OH group ของแป้งที่หลบซ่อนอยู่ในโมเลกุลคลายตัวลง มีโอกาสจับกับน้ำมากขึ้น เกิดการพองตัวและเพิ่มน้ำหนักขึ้นเป็นหลายเท่าตัว โดยสารจำพวกโมเลกุลเล็กๆ อาจจะละลายและกระจายในสารละลาย ส่วนโมเลกุลใหญ่ๆ และยาวจะพองตัวหนืดช่วยพยุงโครงสร้างของแป้งไว้ ส่งผลให้ปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมี กายภาพ ชีวภาพ และจากเอนไซม์เกิดได้ง่ายขึ้น ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้น การพองตัวจะมีมากขึ้น และความหนืด (viscosity) ของสารละลายแป้งจะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้แป้งละลายน้ำได้และน้ำแป้งใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลือน้อยรอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดการหนืด เรียกว่า การเกิดเจลาตินไนซ์ อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาตินไนซ์ ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดความหนืด หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 3) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่แป้งสูงขึ้น จนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ซึ่งเม็ดแป้งจะพองตัวสูงสุด เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ สามารถอุ้มน้ำ และไม่มีการควบแน่นเข้ามาอีก เกิดเป็นเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 90 องศาเซลเซียส และเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนต่อไปอีก พร้อมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งแตกออก ความหนืดลดลง เกิดการยุบตัวของเม็ดแป้ง (breakdown) เรียกว่า ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) และถ้าต่อมอลดอุณหภูมิลงที่ 50 องศาเซลเซียส ความหนืดจะเพิ่มขึ้น เกิดการแตกออกของเม็ดแป้ง และการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดลอกออกมา เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) ความหนืดที่จุดนี้เรียกว่า ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2543) และ

ถ้าเก็บแป้งที่มีลักษณะรีโทรเกรเดชันไว้นาน จะทำให้เกิดการตกผลึก ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสในการย่อยแป้งลดลง (Hongtrakul *et al.*, 1998)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติและอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดของแป้ง	ลักษณะเม็ดแป้ง	เปอร์เซ็นต์อะไมโลส	อุณหภูมิเจลลาติไนซ์ (°C)
บาร์เลย์	กลม	22	59-64
ข้าวโอ๊ต	กลม	27	-
ข้าวสาลี	กลม	26	65-67
ข้าวโพด	กลม	52	85-87
มันฝรั่ง	รูปไข่	23	62-65
ถั่ว	รูปไข่	35	98
แป้งมันสำปะหลัง	-	-	59-69

ที่มา: ทะนง (2522)

¹¹ กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2543)

กรรมวิธีการผลิตแป้งสุก

กรรมวิธีในการทำให้แป้งสุกส่วนใหญ่จะอาศัยไอน้ำและความร้อน โดยเมื่อแป้งสัมผัสกับความชื้นจะเกิดการพองตัวและแปรสภาพเป็นแป้งเปียก (swell and gelatinized) เพิ่มการละลายน้ำได้ ทำให้เอนไซม์เข้าย่อยสลายได้ดีขึ้น แต่ความร้อนที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดแป้งที่ย่อยไม่ได้ (resistant starch) ขึ้นได้ เช่น อาจเกิดการจัดเรียงผลึกใหม่ของอะไมโลส (recrystallization of solubilized amylose) ได้ผลึกคล้ายกับลักษณะผลึกแป้งแบบ B-type ที่มีในธรรมชาติซึ่งย่อยไม่ได้ และเม็ดแป้งที่ฝังตัวในผนังเซลล์ก็ไม่สามารถย่อยได้ ซึ่งความร้อนขึ้นช่วยเพิ่มคุณค่าทางเคมีในอาหารได้ดีกว่าความร้อนแห้ง จึงทำให้เพิ่มการย่อยได้ของแป้งในอาหาร แต่ไม่ได้ช่วยเพิ่มการย่อยได้ในวัตถุดิบที่มีแป้งสูง เช่น ข้าวโพด (สาริธ, 2547)

กระบวนการทำให้แป้งสุกโดยใช้ความร้อนขึ้น มีกรรมวิธีต่างๆ คือ

1. การต้ม (cooking หรือ boiling) มีข้อดีในการช่วยเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะบางชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนจากพืช และมีข้อเสียคือ จะมีการสูญเสียวิตามินบี และกรดอะมิโนบางชนิด

2. การนึ่ง (steaming) มีข้อดีในการช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนะในอาหาร แต่จะมีการสูญเสียวิตามินและกรดอะมิโนบางชนิด

3. การนุบหรืออัดแผ่นอาหารนึ่ง (steam rolling or steam flaking) ใช้น้ำจะถูกส่งเข้าอบวัตถุดิบอาหารในหม้อนึ่งประมาณ 15-20 นาที อุณหภูมิในเมล็ดพืชจะค่อยๆ สูงขึ้นถึง 95-99 °C แล้วเมล็ดจะถูกเคลื่อนย้ายไปแปรรูปต่อเนื่องในการนุบหรืออัดให้เป็นแผ่นบาง (flakes) หรือเป็นแผ่นคลื่น (crimp) ตามต้องการ เม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อนขึ้นจะพองตัวและสุกเป็นลักษณะ gelatinized starch โดยแป้งธัญพืชจะสุกเป็น gelatinized material ที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 °C

4. exploding หรือการระเบิดเมล็ดพืชด้วยไอน้ำภายใต้ความดันสูง เมล็ดพืชถูกนึ่งในหม้อความดันที่มีความหนาแน่นสูง ภายใต้ความดันไอน้ำประมาณ 250 psi เป็นเวลาประมาณ 20 วินาที ไอน้ำจะแทรกซึมเข้าสู่เมล็ดอย่างสม่ำเสมอและเมื่อเมล็ดพืชถูกเคลื่อนย้ายออกสู่บรรยากาศอย่างรวดเร็ว ความดันไอน้ำจะทำให้แป้งสุกพองตัวอย่างรวดเร็ว เพิ่มขนาดเป็นหลายเท่า เมล็ดแตกออกและอาจนำไปแปรรูปต่อเนื่องได้

5. wet extrusion อาหารที่จะเอ็กซ์ทรูดควรบดละเอียดมีความสม่ำเสมอสูง อาหารจะถูกส่งเข้ากระบอกอัดและปรับสภาพด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 95-103 °C เป็นเวลา 30-40 นาที (low temperature, long time: LTLT) ซึ่งในช่วงนี้อาหารจะถูกคนคลุกเคล้าให้ไอน้ำแทรกซึมอย่างทั่วถึงตลอดเวลา หลังจากนั้นอาหารจะถูกอัดผ่านกระบอกอัด อาหารที่ผ่านรูเปิดจะมีอุณหภูมิ 103 °C โครงสร้างเซลล์ในวัตถุดิบถูกทำลาย แป้งจะเกิดการสุก อาหารจะมีลักษณะคล้ายกึ่งแข็งกึ่งเหลวเหนียวเป็นเนื้อเดียวกัน

6. expansion เป็นกรรมวิธีการให้ความร้อนแก่แป้งในอาหาร โดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ และแรงเสียดสีของอาหารที่ถูกอัดโดยแรงอัดสูงภายในกระบอกอัด คล้ายกับการเอ็กซ์ทรูดแบบเปียก มีส่วนต่างกันคือ ช่องอาหารที่อัดแล้วผ่านออกของ expander ไม่เป็นรูจานอัดขนาดเล็กหรือ die เหมือน extruder แต่จะมีลิ้นเปิดปิดรูปกรวย conical discharge valve หรือ pressure piston ที่คอยเปิดปิด โดยอาหารที่ถูกปรับสภาพด้วยไอน้ำแล้วจะถูกอัดโดยความดันสูง และถูกปลดปล่อยให้เคลื่อนออกผ่านช่องเปิดในสภาพกึ่งแข็งกึ่งเหลวภายในเวลาไม่กี่วินาที เมื่อกระทบกับการลดความดันอย่างกะทันหันก็จะเกิดการพองตัวขยายใหญ่ขึ้น อุณหภูมิลดลงเป็นประมาณ 90 °C และความชื้นที่เติมเข้าไปจะระเหยออกอย่างรวดเร็ว อาหารที่ได้สามารถกำหนดขนาดได้ แต่การ expand จะได้ไม่ดีเท่ากับวัตถุดิบที่ผ่านการทำให้แป้งสุกมาแล้ว คือไม่สามารถเพิ่มการ gelatinize ของแป้งที่มีการ gelatinization มาแล้วให้สูงขึ้นได้มากนัก เช่น มันอัดเม็ด ปลายข้าวหรือรำข้าวหนึ่ง (สาโรช, 2547)

Hongtrakul *et al.* (1998) ศึกษาวิธีการต่างๆ ที่ทำให้แป้งในอาหารสุกต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร โดยใช้วิธีการเอ็กซ์ทรูดแบบเปียก การเอ็กซ์ทรูดแบบแห้ง และการ expansion พบว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่นำไปผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดมีการใช้ประโยชน์ได้ของแป้งสุกในอาหารและมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่ผ่านกระบวนการ expansion และสุกรที่ได้รับอาหารที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดแบบเปียกมีการเจริญเติบโตดีที่สุด ($P < 0.05$) สอดคล้องกับ Noland *et al.* (1976) รายงานว่า กระบวนการเอ็กซ์ทรูดอาหารช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของพลังงานและไนโตรเจนในเมล็ดข้าวฟ่าง เช่นเดียวกับ Fapojuwo *et al.* (1987) และ Healy *et al.* (1990) ที่รายงานว่าการเอ็กซ์ทรูดข้าวฟ่างช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของโปรตีนในสุกรขุน ซึ่งขัดแย้งกับ Herkeman *et al.* (1990) รายงานว่าการเอ็กซ์ทรูดข้าวโพดไม่มีผลทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนหรือไลซีนเพิ่มขึ้น แต่การเอ็กซ์ทรูดข้าวโพดช่วยเพิ่มค่าพลังงานให้กับสุกรได้มากกว่าข้าวโพดทั้งเมล็ด และ Mercier (1980) และ Bjorck and Nair *et al.* (1985) รายงานว่าการเอ็กซ์ทรูดข้าวโพดจะช่วยเพิ่มปริมาณของแป้งสุกซึ่งช่วยปรับปรุงกลิ่นและความน่ากินให้กับลูกสุกรหย่านม

Peisker (1994) รายงานว่า ในอาหารลูกสุกรหย่านมที่ใช้ข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการ expansion สามารถปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตได้ ซึ่งดีกว่าอาหารที่ใช้ข้าวโพดบด ($P < 0.05$) ซึ่งขัดแย้งกับ Johnston *et al.* (1997) และ Traylor *et al.* (1997) รายงานว่า ลูกสุกรที่ได้รับอาหาร

ที่ผ่านกระบวนการ expansion มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าอาหารที่อัดเม็ด แต่การ expansion สามารถปรับปรุงคุณภาพการอัดเม็ดได้

การใช้ประโยชน์ได้ของแป้งสุก

ในแป้งแต่ละชนิดมีปริมาณของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินที่เป็นองค์ประกอบและมีความสูงของแป้งที่ต่างกัน จึงทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของแป้งแต่ละชนิดนั้นแตกต่างกันด้วย ซึ่งการย่อยอะไมโลเพกตินจะดีกว่าอะไมโลส เนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลเพกตินมีการแตกแขนงและมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ทำให้เอนไซม์อะไมเลสเข้าไปย่อยได้ง่ายกว่าอะไมโลส แต่การนำแป้งไปใช้ประโยชน์ในลูกสุกรค่อนข้างต่ำ เนื่องจากว่าเอนไซม์อะไมเลสยังมีการพัฒนาไม่เต็มที่ จึงมีการนำแป้งไปผ่านกรรมวิธีการผลิตต่างๆ เพื่อให้แป้งสุกและเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น

เมื่อแป้งสุกเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารของสัตว์จะทำให้มีการย่อยได้เร็วขึ้น ส่งผลให้สัตว์เกิดความเครียดจากการย่อยอาหารลดลง และแป้งที่ย่อยง่ายจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ (non-pathogenic bacteria) ซึ่งจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ (pathogenic bacteria) โดยจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์จะไปแย่งอาหารและพื้นที่การเข้ายึดเกาะที่ผนังลำไส้กับจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ ส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้มูลสัตว์มีกลิ่นเหม็นลดลง

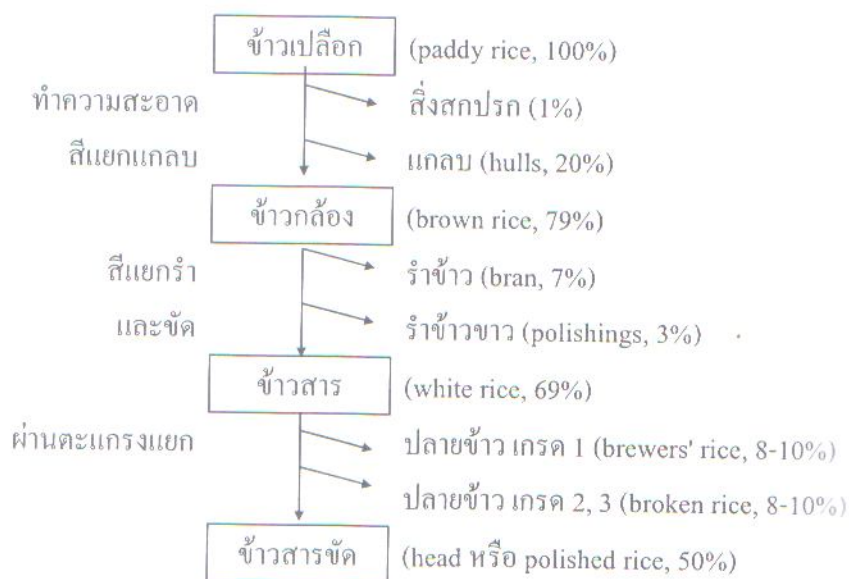
Cunningham (1959) รายงานว่า โครงสร้างของแป้งเป็นปัจจัยที่จำกัดการย่อยได้ของแป้งในอาหารลูกสุกรแรกเกิด การให้ความร้อนแก่แป้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภายในอนุภาคของแป้งในอาหารเป็นเจลาติน ทำให้การทำงานของเอนไซม์ดีขึ้น ดังการทดลองของ Sauer *et al.* (1990) รายงานว่า การนำอาหารที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดแล้วนำกลับมาอัดเม็ด พบว่า ลูกสุกรมีการเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น เนื่องจากความร้อนสามารถไปทำลายพันธะไฮโดรเจนของอะไมโลส ทำให้เกิดตำแหน่งที่ไวต่อการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส ทำให้เอนไซม์อะไมเลสสามารถย่อยแป้งได้ดีขึ้น ส่งผลให้สุกรมีการเจริญเติบโตดีขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Tishenko *et al.* (1985) รายงานว่า ลูกสุกรกินอาหารและมีการย่อยอาหารที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดมากกว่าอาหารที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูด ซึ่งมีผลทำให้ลูกสุกรมีอัตราการเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น และ Vanderpoel

et al. (1989) ศึกษาการนำอาหารผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส พบว่า แป้งมีการใช้ประโยชน์ได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความร้อนจากการเอ็กซ์ทรูดจะทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ของแป้ง ส่งผลให้แป้งสุกและมีการใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Bjorck and Nair (1985) ที่รายงานว่า การเอ็กซ์ทรูดอาหารทำให้แป้งมีการเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปเจลาติน (gelatinize) ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสของเม็ดแป้ง (starch granule) ทำให้มีการย่อยและการใช้ประโยชน์ดีขึ้น

ข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าว (rice and rice products)

ข้าวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตหลักที่สำคัญในมนุษย์และสัตว์ ซึ่งผลิตภัณฑ์จากข้าวแบ่งได้ตามภาพที่ 3 โดยในปัจจุบันมีการนำข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าวมาใช้ในสูตรอาหารสัตว์ ซึ่งข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าวจะมีคุณค่าทางโภชนาการแตกต่างกันตามแหล่งผลิตและประเภทของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4 และ 5) ซึ่งจากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่ารำสกัดน้ำมันมีโปรตีนรวมในปริมาณมากกว่าและมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่ารำชนิดอื่นๆ เนื่องจากว่า รำสกัดน้ำมันได้ผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันออกแล้ว ทำให้มีไขมันที่เป็นแหล่งพลังงานน้อยและส่งผลให้มีปริมาณของโปรตีนรวมสูงขึ้น และจากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า cooked-flake rice มีปริมาณแป้งสุกมากกว่าข้าวทั้งเมล็ดและข้าวทั้งเมล็ดที่ทำให้สุก เนื่องจากข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่เหมาะสมและตีเป็นแผ่นแบนจะทำให้เกิดการสุกได้ง่าย และมีปริมาณของแป้งสุกมาก

ในเมล็ดข้าวจะมีลักษณะเฉพาะคือ มีปริมาณของแป้งสูง และมีระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharide) ต่ำ (Choct, 2002) มีขนาดของเม็ดแป้งเล็ก และมีเม็ดแป้งที่ถูกห่อหุ้ม (starch encapsulation) ต่ำกว่าในข้าวโพด (Slaughter *et al.*, 2001; Testor *et al.*, 2004) มีปริมาณของอะไมโลสต่ำ และมีปริมาณของ lipid – amylase ต่ำกว่าข้าวโพดทำให้สามารถย่อยได้ง่าย (Vandeputte and Delcour, 2004)



ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์จากข้าวชนิดต่างๆ

ที่มา: สารวัช (2547)

1. ข้าวเปลือก (paddy rice, rough rice) มีเยื่อใยสูง เมื่ออบแล้วมีความชื้นประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 8 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.1 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 4.5 เปอร์เซ็นต์ และแป้งรวม 63.7 เปอร์เซ็นต์ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,100 Kcal/kg ไลซีน 0.28 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.26 เปอร์เซ็นต์ โปแตสเซียม 0.30 เปอร์เซ็นต์ มีแกลบปนอยู่ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้พลังงานใช้ประโยชน์ได้ในข้าวเปลือกต่ำกว่าแหล่งวัตถุดิบพลังงานอื่น

Pond and Maner (1984) เปรียบเทียบการใช้ข้าวเปลือกทดแทนข้าวโพดหวาน ในอาหารสุกรขุน พบว่า ข้าวเปลือกเป็นแหล่งพลังงานที่ดีใกล้เคียงกับข้าวโพด แต่สุกรขุนที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกบริโภคอาหารเปลืองกว่าพวกที่ใช้ข้าวโพดเป็นพลังงานหลักประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการสีข้าว

ส่วนประกอบ, % as feed	รำละเอียด	รำสกัดน้ำมัน	ปลายข้าว
วัตถุแห้ง	89.3	89.7	87.5
โปรตีนรวม	12.9	16.5	7.3
ไขมัน	16.0	2.0	0.8
เยื่อใย	8.2	10.5	0.2
เถ้า	9.4	11.2	0.5
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Kcal/kg)	3030	1848	3555
เมทไธโอนีน	0.26	0.32	0.18
ซิสทีน	0.27	0.34	0.15
ไลซีน	0.58	0.78	0.26
ฟีนอลอะลานีน	0.59	0.77	0.38
ทริปโตเฟน	0.10	0.16	0.08

ที่มา: Creswell (1988)

2. ปลายข้าว (broken rice) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการสีข้าว ซึ่งประกอบด้วยคัพภะ (germ) ของเมล็ดและเศษเมล็ดที่แตกหัก และถูกขจัดออกจากเมล็ดข้าวสาร ปลายข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับข้าวโพด คือ โปรตีน 7.8 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.2 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 1.3 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 1.4 เปอร์เซ็นต์ และแป้งรวมประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,300-3,600 Kcal/kg ในเมืองไทยระบบการสีข้าวปลายข้าวจะถูกร่อน และแบ่งแยกออกเป็นหลายเกรดตามขนาด ปลายข้าวเอ 1 เป็นเศษแตกหักของเมล็ดข้าวที่มีขนาดใหญ่ โดยมากแล้วนำไปใช้ในการหมัก แอลกอฮอล์หรือทำอาหารมนุษย์ ส่วนปลายข้าวที่มีขนาดเล็กรวมทั้งคัพภะ เรียกว่า ปลายข้าวซี 3

สาโรช และเขวามาเลย์ (2528) ได้ทดสอบเปรียบเทียบการทดแทนข้าวโพดด้วยข้าวฟ่าง ปลายข้าว หรือมันสำปะหลัง พบว่า สุนัขที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารปลายข้าวมีแนวโน้มการเจริญเติบโตดีกว่าและมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่าสุนัขที่ได้รับสูตรอาหารข้าวฟ่าง และมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวชนิดต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ข้าว		
	Raw-ground	Cooked-ground	Cooked-flaked
พลังงานรวม (Kcal/kg)	3,819.90	3,829.40	3,829.40
ความชื้น	11.90	12.12	11.95
โปรตีนรวม	8.51	8.35	8.31
ไขมัน	1.10	1.05	1.08
เถ้า	0.72	0.94	0.91
แป้ง	76.10	74.55	76.12
แป้งสุก	11.10	51.50	76.20
แป้งที่ย่อยไม่ได้	1.83	1.45	1.95

ที่มา: Vicente *et al.* (2008)

3. ข้าวกล้อง (brown rice) มีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับข้าวโพด และปลายข้าว มีโปรตีน 8.3 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 3.7 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.8 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ประมาณ 3,150 Kcal/kg

4. รำข้าว (rice bran) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวแบ่งได้เป็น

4.1 รำหยาบ (bran with hulls) ประกอบด้วย รำและแกลบสด ในสัดส่วนที่ไม่แน่นอน อาจมีคัพพะหรือจมูกข้าวปนมาด้วยบ้าง คุณค่าทางโภชนาการผันแปรไปตามสัดส่วนของรำและแกลบสดที่ผสมอยู่ มีเยื่อใย 25-39 เปอร์เซ็นต์ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 800-1,300 Kcal/kg โปรตีน 4-7 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2-5 เปอร์เซ็นต์

4.2 รำป่นแแก้ว (bran with germs with hulls) เป็นรำที่ได้จากโรงสีขนาดกลาง ประกอบด้วยรำเป็นส่วนใหญ่ และมีเศษแกลบชิ้นเล็กๆ และคัพพะปะปนอยู่ด้วยเล็กน้อย มองดูด้วยสายตาจะมี รำละเอียดอยู่มากกว่าเศษแกลบ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 1,500-2,000 Kcal/kg

4.3 รำละเอียด (bran with germs) เป็นรำที่ได้จากโรงสีข้าวมาตรฐานอุตสาหกรรม ประกอบด้วยผิวหุ้มเมล็ด ข้าวกล้อง และคัพพะ รวมทั้งอาจมีเศษแป้งที่ได้จากการขัดผิวเมล็ด ข้าวสารปนมาเล็กน้อย มีลักษณะละเอียด เบา สีเหลืองนวล ไม่มีเศษแกลบปน มีโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์

4.4 รำข้าวขาว (polishings) เป็นรำผสมแป้งที่ประกอบด้วยผิวหุ้มเมล็ดข้าวชั้นใน และเศษแป้งที่ได้จากการขัดผิวเมล็ดข้าวสารให้เรียบและเงา ลักษณะเป็นฝุ่นแป้งสีขาว และมีน้ำหนักมากกว่ารำละเอียด

ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ข้าวที่ผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนแบบต่างๆ ในสูตรอาหารสุกร

นพดล (2538) ศึกษาการใช้แป้งปลายข้าวที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูด และระดับของหางเนยผงในอาหารลูกสุกรหย่านม พบว่า ลูกสุกรที่ได้รับแป้งปลายข้าวเอ็กซ์ทรูดเสริมหางเนยผง 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับแป้งปลายข้าวเอ็กซ์ทรูดเสริมหางเนยผงในระดับ 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์ แต่การใช้แป้งปลายข้าวเอ็กซ์ทรูดไม่ช่วยทำให้ลูกสุกรมีสมรรถภาพการผลิตดีขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้แป้งปลายข้าวเอ็กซ์ทรูดเสริมหางเนยผง

Vicente *et al.* (2008) ศึกษาผลของการแทนที่ข้าวโพดด้วยผลิตภัณฑ์ข้าวในสูตรอาหารและระดับการ gelatinization ของแป้งในข้าวต่อการย่อยได้ของสารอาหาร และสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม โดยใช้อาหารแตกต่างกัน 4 สูตร คือ flake corn (84% starch gelatinized), raw rice, cooked rice (52% starch gelatinized) และ cooked rice (76% starch gelatinized) พบว่า ค่าการย่อยได้ของอาหารในระบบทางเดินอาหารทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นตามอายุ และจะเพิ่มขึ้นในสูตรที่ใช้ข้าวมากกว่าในสูตรที่ใช้ข้าวโพด และลูกสุกรที่ได้รับสูตรอาหารที่ใช้ข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตและมีอัตราการแลกเนื้อดีกว่าลูกสุกรที่ได้รับสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพด กระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ข้าวไม่มีผลต่อการย่อยได้และสมรรถภาพการผลิตของสุกร ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lawlor *et al.* (2003) ที่พบว่า การให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ข้าว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโพดในสูตรอาหาร ไม่มีผลในการช่วยเพิ่มการย่อยได้และสมรรถภาพการผลิตในสุกรหย่านม

Li *et al.* (2004) กล่าวว่า การเอ็กซ์ทรูดข้าวกล้องที่ใช้ในสูตรอาหารไม่มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านมดีขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับ Mateous *et al.* (2007) ที่กล่าวว่า การให้ความร้อนแก่ข้าวที่ใช้ในสูตรอาหารมีผลช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และช่วยปรับปรุงอัตราการแลกเนื้อในลูกสุกรให้ดีขึ้น

Yang *et al.* (1992) กล่าวว่า การแทนที่ข้าวโพดด้วยข้าวในสูตรอาหารไม่มีผลทำให้ลูกสุกรมีอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการแลกเนื้อดีขึ้น

Li *et al.* (2007) ศึกษาสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านมที่ได้รับแหล่งพลังงานจากแป้งต่างกัน 4 ชนิดคือ ข้าวโพด ข้าวกล้อง ข้าวเหนียว และ Hi-Maize1043 (resistant starch) พบว่า ลูกสุกรมีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.38, 0.34, 0.31 และ 0.28 กิโลกรัมต่อวันตามลำดับ ($P < 0.01$) และมีประสิทธิภาพการใช้อาหารเท่ากับ 1.65, 1.78, 1.95 และ 1.86 ตามลำดับ ($P < 0.01$)

Hongtrakul *et al.* (1998) ศึกษาการใช้แหล่งของแป้งชนิดต่างๆ ที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดแตกต่างกันต่อสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม โดยใช้ข้าวโพด ปลายข้าว แป้งสาลี และข้าวฟ่างที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดแบบเปียกและแบบแห้ง พบว่า กระบวนการเอ็กซ์ทรูดไม่มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรดีขึ้น และลูกสุกรที่ได้รับอาหารสูตรข้าวโพดมีอัตราการเจริญเติบโตน้อยที่สุด ($P < 0.05$)

Pluske *et al.* (1998) รายงานว่า ในสุกรที่ได้รับอาหารที่ใช้ข้าวในสูตรอาหารจะมีการติดเชื้อจากแบคทีเรีย *E. coli* ที่เป็นสาเหตุของอาการท้องเสียน้อยกว่าสุกรที่ได้รับอาหารข้าวสาลี เนื่องจากในข้าวที่ผ่านกรรมวิธีการทำให้สุกแล้วจะไปยับยั้งการหลั่งอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ในลำไส้เล็ก (Mathews *et al.*, 1999) ทำให้ลูกสุกรมีการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ที่เป็นโทษน้อยลง จึงส่งผลให้ลูกสุกรเกิดอาการท้องเสียลดลง

Alcantara *et al.* (1989) รายงานว่า สุกรที่ได้รับอาหารที่ใช้ข้าวทดแทนข้าวโพดในปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ส่งผลให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อดีขึ้น รวมทั้งช่วยเพิ่มการย่อยได้ของโปรตีนและพลังงานในสูตรอาหาร

ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (full fat soybean: FFS)

ถั่วเหลืองไขมันเต็ม หมายถึง ถั่วเหลืองทั้งเมล็ดที่ทำให้สุก และไม่มีการสกัดไขมัน จึงเป็นได้ทั้งแหล่งโปรตีนและแหล่งพลังงาน แต่จะมีความแตกต่างกันตามกรรมวิธีการผลิต มี trypsin inhibitor และ urease น้อยมาก แป้งมีลักษณะเป็นเจลาคิน นิยมนำมาใช้เฉพาะสูตรอาหาร ลูกสุกร เพราะมีราคาสูง กระบวนการผลิตถั่วเหลืองไขมันเต็มที่ใช้ในอาหารสัตว์ ผลิตโดยให้ความร้อนและแปรรูป 4 วิธี คือ (ภาพที่ 4)

1. roasting โดยการเคลื่อนถั่วเหลืองผ่านห้องอบที่หมุนตัวอยู่ตลอดเวลา ถั่วเหลืองจะสัมผัสกับเปลวไฟโดยตรงเป็นเวลา 3-5 นาที อุณหภูมิของถั่วที่ออกจากห้องอบอยู่ที่ 125 °C ถั่วที่อบแล้วจะนำไปบดก่อนนำมาใช้

2. jet-sploding ถั่วจะไม่สัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง แต่จะถูกส่งเข้าไปในห้องอบที่มีกระแสลมร้อน (อุณหภูมิ 260-280 °C) เป่าผ่านเป็นเวลา 1-3 นาที ความร้อนที่สูงมากก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนของอนุภาค ทำให้ถั่วเหลืองร้อนจากภายในเมล็ดออกข้างนอก อุณหภูมิภายในเมล็ดสูงถึง 90-95 °C และเมื่อออกจากห้องอบถั่วจะถูกบดโดยเครื่องโรลเลอร์มิลล์ (roller mill) ทันที

3. micronizing ถั่วเหลืองจะถูกเคลื่อนผ่านสายพานลำเลียงชนิดที่เขย่าตลอดเวลา ผ่านห้องอบร้อนที่ใช้เป็นความร้อนจากรังสีอินฟราเรด หรือความร้อนจากการแผ่รังสี (radiation) หรือจากแผ่นดินเผา (ceramic) ที่ถูกทำให้ร้อนโดยใช้แก๊ส ถั่วจะผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110-115 °C เป็นเวลา 90 นาที เมื่อสุกแล้วถั่วจะถูกบดโดยเครื่องโรลเลอร์มิลล์ทันที

4. extrusion ถั่วเหลืองจะถูกทำให้ร้อนโดยการอัดแรงดันสูง และการเสียดทาน ในกระบอกอัดของเครื่อง extruder ความร้อนที่เกิดขึ้นจากเครื่องเอ็กซ์ทรูดแห้ง (dry extruder) อาจสูงถึง 140 °C และหากเติมน้ำเข้าไปในเครื่องเอ็กซ์ทรูดเปียก (wet extruder) อุณหภูมิของถั่วจะสูงถึง 103 °C เมื่อถั่วเหลืองถูกอัดผ่านรูอัดออกมา ความดันที่ลดลงอย่างมากจะทำให้โครงสร้างของถั่วถูกทำลาย และขยายตัวอย่างเร็ว กลายเป็นถั่วบดถึงแข็งถึงเหลว และเมื่อทิ้งให้เย็นจะแข็งตัว พร้อมทั้งดูดซึมน้ำมันที่เยิ้มออกมาอีก (De Schutter and Morris, 1990)

กระบวนการผลิตถั่วเหลืองไขมันเต็มมีกรรมวิธีการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน ทำให้ถั่วเหลืองไขมันเต็มมีคุณค่าทางโภชนา และค่าการย่อยได้แตกต่างกันด้วย (ตารางที่ 6, 7, 8 และ 9) เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อน เวลาในการผลิตที่ต่างกัน (พันทิพา, 2547) โดยถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการทำให้สุกจะทำให้มีคุณค่าทางโภชนาและการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร รวมทั้งมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าถั่วเหลืองดิบ

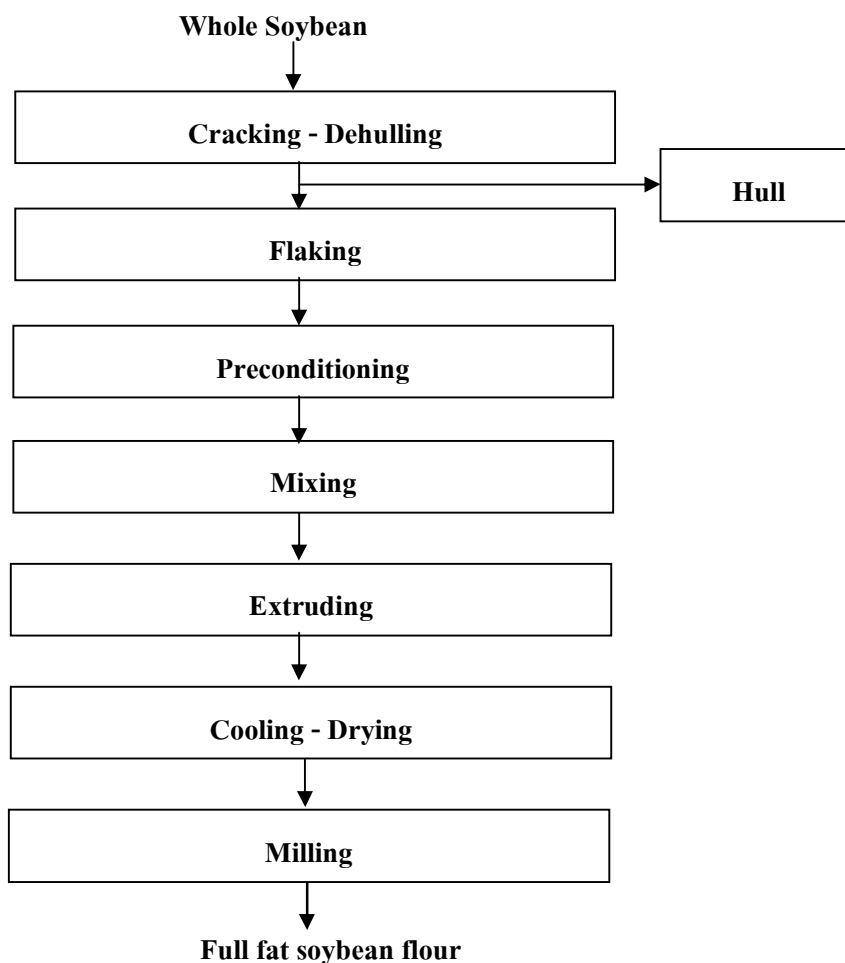
ถั่วเหลืองไขมันเต็มมีโปรตีนเฉลี่ย 37 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 18 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3.3-3.62 Mcal/kg มีกรดไขมันที่จำเป็น วิตามินอี เลซิทินมากกว่าถั่วเหลืองจึงถือได้ว่าเป็นวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของพลังงานและโปรตีนที่ดีเมื่อเทียบกับถั่วเหลือง (ตารางที่ 10)

การใช้ถั่วเหลืองไขมันเต็มที่ผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนแบบต่างๆ ในอาหารสุกร

ถั่วเหลืองไขมันเต็มถือว่าเป็นอาหารโปรตีนจากพืชชั้นดีสำหรับลูกสุกรหย่านม เพราะนอกจากให้โปรตีนคุณภาพดีแล้วยังให้พลังงานส่วนเกินจากไขมัน กรดไขมันที่จำเป็น เลซิทิน และสารอาหารที่ย่อยง่ายแก่ลูกสุกร ลดความเป็นฝืนให้กับอาหาร ทำให้อาหารมีความน่ากิน และการให้ความร้อนแก่ถั่วเหลืองโดยกรรมวิธีต่างๆ เป็นวิธีการทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน (trypsin inhibitor) และเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารอีกด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น ความดิบ และระยะเวลาการให้ความร้อน (Rackis and Gumbmann, 1981)

ถั่วเหลืองเอ็กทราดซ์ที่ทำให้สุกโดยใช้อุณหภูมิ 143 °C ภายในเวลา 30 วินาทีจะมีค่าเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 0.02-0.2 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในสูตรอาหารสัตว์ เพราะสามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้สูงถึง 90-99 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงกว่าถั่วเหลืองดิบถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (McNaughton, 1985)

ถั่วเหลืองไขมันเต็มนั้นสามารถใช้ในสูตรอาหารสุกรรุ่น-ขุนได้ถึง 25-30 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการแปรรูป แต่อย่างไรก็ตามหากใช้ถั่วเหลืองไขมันเต็มในระดับสูงในอาหารอาจส่งผลให้ซากสุกรเหลวได้ (Crenshaw and Danielson, 1985; Danielson, 1987)



ภาพที่ 4 กระบวนการผลิตถั่วเหลืองไขมันเต็ม

ที่มา: ดัดแปลงจาก Mustakas *et al.* (1964)

Papadopoulos (1986) ศึกษาการใช้ถั่วเหลืองไขมันเต็มเอ็กซ์ทราเกรด 13 เปอร์เซ็นต์ในลูกสุกรน้ำหนัก 8-20 กิโลกรัม พบว่า ลูกสุกรมีประสิทธิผลการใช้อาหารดีกว่าสุกรที่ได้รับอาหารถั่วเหลือง และ Dietz *et al.* (1988) และ Sohn and Maxwell (1990) รายงานว่า การเอ็กซ์ทราเกรดแบบเปียกในถั่วเหลืองดิบ และถั่วเหลืองคั่วสามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารได้ โดยลูกสุกรหย่านมที่ได้รับถั่วเหลืองเอ็กซ์ทราเกรดมีอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ย และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Friesen *et al.* (1993) ที่ศึกษาผลของการเอ็กซ์ทราเกรดถั่วเหลืองแบบเปียกต่อการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารพบว่า ลูกสุกรที่ใช้ถั่วเหลืองเอ็กซ์ทราเกรดมีการย่อยได้ของไนโตรเจน และวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นอย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสามารถลดความเข้มข้นของสารยับยั้งทริปซินในถั่วเหลืองดิบ ถั่วเหลืองคั่วและโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นได้ 26.5, 31.2 และ 0.4 มิลลิกรัมของโปรตีน ตามลำดับ และปริมาณสารยับยั้งทริปซินภายหลังการเอ็กซ์ทรูดมีค่าเท่ากันในทุกกลุ่ม สอดคล้องกับการทดลองของ Li *et al.* (1991) กล่าวว่า การเอ็กซ์ทรูดแบบเปียกสามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารของถั่วเหลือง โดยลูกสุกรที่ได้รับถั่วเหลืองเอ็กซ์ทรูดมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น สอดคล้องกับ Decuypere *et al.* (1981) และ Walker *et al.* (1986) ที่พบว่าการเอ็กซ์ทรูดแบบเปียกสามารถเพิ่มค่าการย่อยได้ของไนโตรเจน และการให้ความร้อนแก่ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 25-105 นาที สามารถลดปริมาณสารยับยั้งทริปซิน ซึ่งมีผลทำให้การย่อยได้ของกรดอะมิโนและการเก็บสะสมไนโตรเจนในร่างกาย (N retention) ดีขึ้น

ตารางที่ 6 ค่าพลังงานของถั่วเหลืองไขมันเต็มที่ผลิตด้วยกระบวนการต่างๆ

กระบวนการ	Metabolizable energy for poultry (Kcal/kg)	Nitrogen retention (%)
Extrusion : wet	4,255.44	56
Extrusion : dry	4,210.22	84
Micronized	3,760.40	66
Toasted (roasted)	3,765.16	67
Jet-sploded	3,391.50	63
Raw soybean	3,220.14	30
SBM+oil	4,155.48	60

ที่มา: พันทิพา (2547)

ตารางที่ 7 ระดับพลังงานและการย่อยได้ของไขมันในสัตว์ปีกที่ได้รับถั่วเหลืองไขมันเต็มที่ผ่านมากรรมวิธีการให้ความร้อนแบบต่างๆ

คุณค่าทางโภชนา	วิธีการให้ความร้อน						
	Au	De	We	Me	Js	Ro	Ra
AME ^a (Mcal/kg) ^{1/}	-	4.28	4.16	4.13	3.70	3.78	3.23
TME ^b (Mcal/kg) ^{2/}	3.98	4.01	3.80	3.75	3.48	3.92	-
ไขมันที่ย่อยได้ (%) ¹	92.0	93.5	91.9	89.8	87.3	95.0	-

หมายเหตุ Au: autoclaving

De: dry extruding

We: wet extruding

Mc: micronizing

Js: jet-spining

Ro: roasting

Ra: ถั่วดิบ

^a Apparent metabolizable energy

^b Total metabolizable energy

ที่มา: ^{1/} Wiseman (1984)

^{2/} McNob (1985)

Faubion *et al.* (1982) กล่าวว่า การนำถั่วเหลืองไปผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดมีผลทำให้โปรตีนของถั่วเหลืองเปลี่ยนสภาพไปในทางใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น ส่วนคาร์โบไฮเดรตของถั่วเหลืองซึ่งส่วนใหญ่เป็นแป้งจะถูกทำให้สุก ทำให้แป้งละลายน้ำได้ดีขึ้น เชื้อยามีลักษณะหวมตัวและใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น นอกจากนั้น Noland *et al.* (1976) กล่าวว่า การนึ่งถั่วเหลืองในเครื่อง autoclave ที่ความดัน 704 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 8, 12, 24 และ 36 นาที พบว่า ลูกสุกรที่ได้รับถั่วเหลืองนึ่งเป็นเวลา 12 และ 24 นาที มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าลูกสุกรที่ได้รับถั่วเหลืองนึ่งเป็นเวลา 8 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และทั้ง 3 กลุ่มมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าพวกที่ได้รับถั่วเหลืองนึ่งเป็นเวลา 36 นาที และพวกที่ได้รับกากถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 8 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองเอ็กซ์ทราคต์และถั่วเหลืองเมล็ด

ส่วนประกอบ (%)	ถั่วเหลืองเอ็กซ์ทราคต์			ถั่วเหลืองเมล็ด		
	1	2	3	4	5	6
วัตถุแห้ง	95.40	92.60	91.30	92.00	92.00	90.00
โปรตีน	39.50	37.70	39.10	38.00	37.30	38.00
ไขมัน	20.60	19.40	21.70	18.00	19.20	18.00
เยื่อใย	6.40	5.10	4.90	6.50	6.30	5.00
เถ้า	4.80	-	-	4.50	5.30	4.60
แคลเซียม	-	-	-	0.28	0.22	0.25
ฟอสฟอรัส	-	-	-	0.66	0.43	0.59
พลังงานใช้ประโยชน์						
ได้(Kcal/kg)	-	3,820	-	3,820	-	3,540

ที่มา: 1: Tsen *et al.* (1975)

2: Baylay and Summers (1975)

3: Rudolph *et al.* (1983)

4: Anonymous (1985)

5: Kearn (1982)

6: Allen (1985)

Crenshaw (1983) ใช้ถั่วเหลืองดิบทดแทนการถั่วเหลืองทั้งหมดในอาหารแม่สุกรตั้งแต่ผสมพันธุ์จนถึงวันที่ 110 ของการตั้งท้องแล้วเปลี่ยนเป็นกากถั่วเหลืองในช่วงการให้นม พบว่าแม่สุกรที่กินถั่วเหลืองดิบให้ลูกมากกว่าพวกกินกากถั่วเหลืองถึง 0.3 ตัว/ครอก และเลี้ยงลูกได้รอดมากกว่าถึง 5 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ Crenshaw and Danielson (1985) กล่าวว่า การใช้กากถั่วเหลืองดิบทดแทนสุกรแม่พันธุ์ติดต่อกันในช่วงให้ลูก 3 ครอก ไม่ทำให้สมรรถนะการสืบพันธุ์ของแม่สุกรด้อยกว่ากากถั่วเหลือง และ Young and Smith (1973) ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองในสุกรรุ่น พบว่าอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองและถั่วเหลืองคั่วมีค่าพลังงานย่อยได้ใกล้เคียงกัน และสูงกว่าถั่วเหลืองดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ค่าพลังงานรวมในอาหารที่ใช้

ถั่วเหลืองดิบมีค่าเท่ากับถั่วเหลืองคั่ว และสูงกว่ากากถั่วเหลือง คือมีค่าเท่ากับ 5.54, 5.47 และ 4.85 Kcal/g

ตารางที่ 9 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในถั่วเหลืองเอ็กซ์ทราดเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองเมล็ด

กรดอะมิโน (%)	ถั่วเหลือง				
	เอ็กซ์ทราด ^{1/}	เอ็กซ์ทราด ^{2/}	เมล็ด ^{3/}	เมล็ด ^{4/}	เมล็ด ^{5/}
อาร์จินีน	2.80	2.80	3.11	2.99	2.80
ฮิสทีดีน	1.01	1.01	1.10	0.88	1.01
ไอโซลูซีน	1.65	2.18	2.42	1.91	2.18
ลูซีน	2.84	3.22	3.44	3.08	2.80
เมทไธโอนีน	0.56	0.54	0.60	0.68	0.54
เฟนิลอะลานีน	1.84	2.10	2.33	2.10	2.10
ทรีโอนีน	1.36	1.69	1.88	1.65	1.69
ทรีปโตเฟน	0.38	0.52	0.58	-	0.52
วาเลีน	2.79	2.02	2.24	1.93	2.02
ไกลซีน	1.38	2.00	2.22	1.74	2.00

ที่มา: ^{1/} Rudolph *et al.* (1983)

^{2/} Anonymous (1985)

^{3/} นพดล (2538)

^{4/} Morey and Evans (1983)

^{5/} Allen (1985)

ตารางที่ 10 คุณค่าทางโภชนาของกากถั่วเหลืองและถั่วเหลืองไขมันเต็ม

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	กากถั่วเหลือง	ถั่วเหลืองไขมันเต็ม
โปรตีน	44.0	37.00
ไขมัน	0.80	18.00
เยื่อใย	7.00	5.50
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Mcal/kg)	2.23	3.69
ไลซีน	2.69	2.25
เมทไธโอนีน	0.62	0.53
เมทไธโอนีน+ซิสทีน	1.28	1.07
ทรีโอนีน	1.72	1.41
ทรีปโตเฟน	0.74	0.51
กรดไลโนเลอิก	0.40	8.46
เลซีทีน	-	1.5-2.5
วิตามินอี	2.00	40.0
แคลเซียม	0.29	0.25
ฟอสฟอรัส	0.65	0.58

ที่มา: NRC (1994)

การพัฒนาการทำงานของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารในลูกสุกร

ในระยะแรกคลอดระบบย่อยอาหารของลูกสุกรยังพัฒนาไม่เต็มที่ การผลิตเอนไซม์ภายในทางเดินอาหารสุกรยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากอาหารที่สุกรได้รับในช่วงแรกคือ นม ดังนั้นเอนไซม์ที่ทำงานได้ดีในช่วงแรกคือ เอนไซม์แลคเตส (lactase) ซึ่งจะมีมากในช่วงหลังคลอดจนถึงสองสัปดาห์ และจะค่อยลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่เอนไซม์อะไมเลส (amylase) โปรตีเอส (protease) ไลเปส (lipase) และมอลเตส (maltase) จะค่อยๆ เพิ่มจากแรกคลอดจนถึงพัฒนาได้ในสัปดาห์ที่ 5-6 โดยการผลิตเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารลูกสุกรจะพัฒนามากขึ้นตามอายุ (ภาพที่ 5) โดยเฉพาะเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อนที่ทำหน้าที่ย่อยแป้ง โดยจะสร้างได้เต็มที่ในสัปดาห์ที่ 8 จึงทำให้ลูกสุกรหย่านมที่อายุ 4 สัปดาห์มีการใช้ประโยชน์ได้ของแป้งในอาหารได้ไม่เต็มที่ (Kidder and

Maner, 1980) ในขณะที่เอนไซม์แลคเตสที่ทำหน้าที่ในการย่อยน้ำตาลในนมเริ่มมีการผลิตจากปลายลำไส้เล็กตั้งแต่เป็นตัวอ่อนในท้องแม่สุกรจึงมีระดับสูงตั้งแต่เกิด (Aumaitre and Corring, 1978)

Hartman (1961) รายงานว่า การผลิตเอนไซม์แลคเตสมีปริมาณสูงตั้งแต่แรกคลอด และจะลดลงเรื่อยๆ จนถึง 3 สัปดาห์ เอนไซม์มอลเตส และซูเครสในระยะแรกคลอดมีปริมาณค่อนข้างต่ำ และจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนอายุ 8 สัปดาห์ เอนไซม์แลคเตสพบมากในส่วนเจจูนัม (jejunum) มอลเตส (maltase) และซูเครสพบมากในส่วนเจจูนัมและไอเลียม (ileum)

เอนไซม์ย่อยโปรตีน เช่น เอนไซม์เปปซิน (pepsin) จะมีการผลิตอย่างรวดเร็วตั้งแต่อายุ 3 สัปดาห์ขึ้นไปจนกระทั่งอายุ 7-8 สัปดาห์ (Corring *et al.*, 1978) แต่ทั้งนี้การทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหารจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะอาหารด้วย (Pond and Maner, 1984)

เอนไซม์ย่อยไขมันจะผลิตจากตับอ่อน (pancreatic lipase) และนำดีจากตับในปริมาณที่เพียงพอ ทำให้การย่อยและการดูดซึมไขมันไปใช้ประโยชน์ของลูกสุกรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะไขมันที่อิ่มตัว Aumaitre and Rerat (1968) กล่าวว่า ในสุกรแรกเกิดการผลิตเอนไซม์ที่ย่อยไขมันมีปริมาณเพียงพอในการย่อยไขมันทุกชนิด

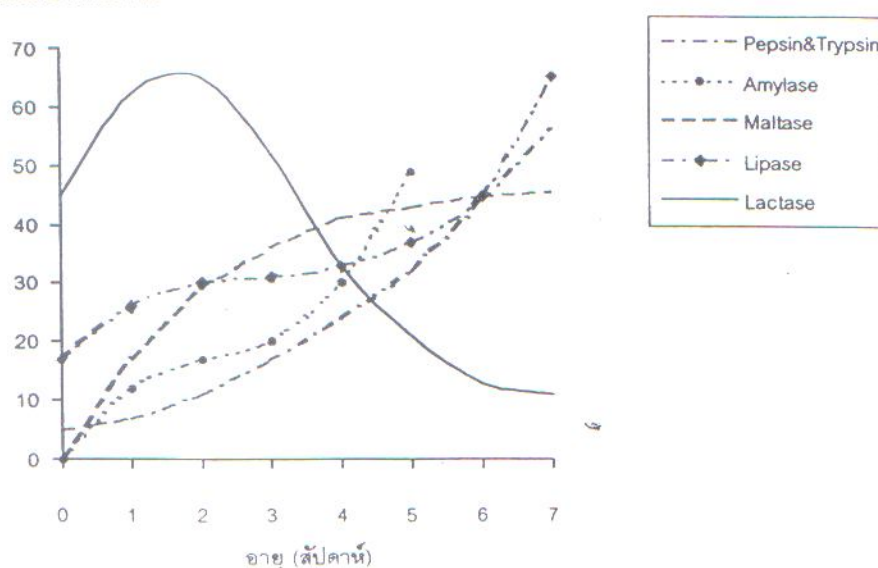
เอนไซม์อะไมเลส (amylase)

อะไมเลสเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยแป้ง ไกลโคเจน และอนุพันธ์ของโพลีแซคคาไรด์ โดยการไฮโดรไลซ์ของพันธะ α -1,4 glucosidic linkage แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ α - amylase, β - amylase และ glucoamylase

α - amylase เป็นเอนไซม์ที่ย่อยมาจากภายในของสายกลูโคสอย่างสุ่ม

β - amylase เป็นเอนไซม์ที่ย่อยมาจากภายนอกของสายกลูโคสและย่อยกลูโคสครั้งละ 2 หน่วยได้เป็นมอลโทส และสามารถเปลี่ยน configuration ของ C ใน glycone จาก α เป็น β ได้ เมื่อย่อยจนถึง α -1,6 glucosidic linkage ปฏิบัติการย่อยจะหยุด

ปริมาณเอนไซม์ต่อ กก. น้ำหนักตัว



ภาพที่ 5 ปริมาณของเอนไซม์ต่างๆ ในลูกสุกรแรกเกิดจนถึงอายุ 7 สัปดาห์

ที่มา: Kirchgessner (1984)

Glucoamylase เป็นเอนไซม์ที่ข่อยมาจากปลายสายกลูโคส แต่จะข่อยกลูโคสครั้งละ 1 หน่วยจาก non reducing end และเมื่อมาถึง α -1,6 glucosidic linkage ของอะไมโลเพคตินและไกลโคเจน (glycogen) การทำงานของเอนไซม์จะลดลง (ทะนง, 2522)

การข่อยและการดูดซึมอาหารประเภทแป้งในสุกร

การข่อยแป้งเริ่มต้นที่ปาก ดับอ่อน และลำไส้เล็ก คือ

ปาก เมื่อสุกรกินอาหารประเภทแป้ง ต่อมาน้ำลายจะกระตุ้นให้มีการหลั่งน้ำลายออกมา โดยมีเอนไซม์ α -amylase ชื่อ ไทยาลิน (ptyalin) ข่อยส่วนของอะไมโลสได้เป็นมอลโทส และข่อย อะไมโลเพคตินได้เด็คซ์ตริน (dextrin) แต่เนื่องจากอาหารอยู่ในปากในระยะสั้นมาก จึงทำให้มีการข่อยแป้งได้น้อย

กระเพาะอาหาร จะไม่มีการข่อยแป้ง เนื่องจากในกระเพาะอาหารมีสภาพเป็นกรดจากการหลั่งกรดเกลือ (HCl; hydrochloric acid) เอนไซม์อะไมเลสจึงไม่สามารถทำงานได้

ลำไส้เล็ก เมื่อสุกรกินอาหารจะมีการกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนโคเลซิสโตไคนิน (CCK; cholecystokinin) จากเซลล์ I ที่ลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม (duodenum) จากนั้น CCK จะกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์อะไมเลส โดยจะย่อยอะไมเลสได้เป็นมอลโทส และย่อยอะไมโลเพคตินได้เด็กซ์ทริน (dextrin) จากนั้นเอนไซม์จากลำไส้เล็กจะย่อยโคแซคคาไรด์ ให้ได้เป็นโมโนแซคคาไรด์ โดยเอนไซม์มอลเตส (maltase) ย่อยมอลโทสให้ได้กลูโคส 2 โมเลกุล เอนไซม์ไอโซมอลเตส (isomaltase) ย่อยเด็กซ์ทรินให้ได้กลูโคส 2 โมเลกุล

เมื่อมีการย่อยแป้งได้เป็นน้ำตาลกลูโคสแล้ว จะมีการดูดซึมที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น ซึ่งภายในลำไส้เล็ก (lumen of small intestine) จะมีส่วนยื่น (villi) เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสสารอาหาร โดยน้ำตาลกลูโคสจะถูกดูดซึมผ่านเซลล์เมมเบรนเข้าภายในเซลล์ และผ่านเมมเบรนของเซลล์ด้านตรงกันข้าม เพื่อออกนอกเซลล์สู่กระแสเลือด โดยมีกลไก คือ

ด้านเซลล์เมมเบรนที่จะดูดซึมจากภายในลำไส้ กลูโคสจะผ่านเซลล์เมมเบรนร่วมกับโซเดียมที่ตำแหน่งโปรตีนจำเพาะ (Na^+ - dependent glucose transporter) ซึ่งถ้าไม่มีโซเดียม กลูโคสจะไม่สามารถผ่านเข้าเซลล์เมมเบรนได้ โดยปกติโซเดียมจะอยู่นอกเซลล์มากกว่าในเซลล์ ซึ่งจะผ่านเข้าเซลล์เมมเบรนโดยอาศัยความเข้มข้นมากไปหาความเข้มข้นน้อย

ด้านเซลล์เมมเบรนที่จะผ่านออกจากเซลล์เพื่อเข้าสู่กระแสเลือด โดยผ่านเซลล์เมมเบรนตรงตำแหน่งที่มีโปรตีนตัวรับกลูโคสชื่อ GLUT-2 และโซเดียมที่อยู่ในเซลล์มีน้อยกว่านอกเซลล์ จะต้องใช้พลังงาน ATP โดยอาศัยเอนไซม์ Na^+ - K^+ ATPase เพื่อให้โซเดียมออกจากเซลล์ และมีการเปลี่ยน K^+ เข้าสู่เซลล์ (นัยนา, 2546)

การผลิตอาหารลูกสุกรอนุบาล

การผลิตอาหารลูกสุกรอนุบาลจะต้องเป็นอาหารที่มีคุณภาพ ย่อยได้ง่าย มีสัดส่วนของโปรตีนและพลังงานสมดุลกัน (protein : energy balance) เนื่องจากลูกสุกรมีการพัฒนาของระบบย่อยอาหารที่ยังไม่สมบูรณ์เต็มที่ จึงทำให้การผลิตเอนไซม์ในการย่อยอาหารโดยเฉพาะเอนไซม์ที่ย่อยแป้ง (เอนไซม์อะไมเลส) มีอยู่ในระดับต่ำและไม่เพียงพอ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากอาหารประเภทแป้งในลูกสุกรจึงมีประสิทธิภาพต่ำ จนกว่าลูกสุกรจะมีการพัฒนาของระบบย่อยอาหารที่สมบูรณ์และสามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้เต็มที่ ซึ่งการพัฒนาการทำงานและปริมาณของ

เอนไซม์ต่างๆ ภายในร่างกาย (endogenous enzyme) จะขึ้นอยู่กับความเป็นกรดของทางเดินอาหาร ในบริเวณที่มีการผลิตเอนไซม์แต่ละชนิด และประสิทธิภาพของลูกสุกรต่ออาหารที่ได้รับ

ในระยะแรกคลอดลูกสุกรจะได้รับแหล่งพลังงานจากไขมันและแลคโตสจากน้ำนมและอาหารเลียราง (creep feed) ซึ่งอาศัยการทำงานของเอนไซม์ไลเปส และแลคเตสในการย่อยที่มีปริมาณเพียงพอและทำงานได้ดีในระบบทางเดินอาหาร แต่เมื่อหลังหย่านมการทำงานของเอนไซม์แลคเตสลดต่ำลง ประกอบกับการเปลี่ยนแหล่งของสารอาหารที่ลูกสุกรได้รับ โดยลูกสุกรจะได้รับแหล่งพลังงานจากวัตถุดิบพืชแทนน้ำนม แต่เนื่องจากเอนไซม์ที่ย่อยแป้งยังมีการพัฒนาไม่เต็มที่ ทำให้ลูกสุกรย่อยอาหารได้ไม่หมด และเกิดความเครียดจากการย่อยอาหาร ส่งผลให้ลูกสุกรชะงักการเจริญเติบโตได้ ทำให้โดยทั่วไปในการประกอบสูตรอาหารลูกสุกรอนุบาลจึงมีการใช้หางเนยผงเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน แต่หางเนยผงนั้นมีราคาแพง จึงได้มีการใช้แป้งเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหาร ซึ่งการย่อยแป้งต้องอาศัยการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสในการย่อย โดยการพัฒนาการผลิตและการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส ต้องอาศัยประสิทธิภาพของลูกสุกรที่ได้รับอาหารประเภทแป้งที่มีคุณภาพและปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งหากลูกสุกรได้รับแป้งที่ย่อยยากและปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้เกิดการบูดเน่าของอาหารในทางเดินอาหาร แบคทีเรียที่ก่อโรคเจริญเติบโต ส่งผลให้ลูกสุกรเกิดการท้องเสียได้ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาการใช้วัตถุดิบประเภทแป้งที่ผ่านกระบวนการทำให้สุกเพื่อช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสให้สามารถทำงานได้เต็มที่ และให้ลูกสุกรสามารถย่อยแป้งได้ง่าย และมีส่วนตกค้างที่จะเกิดการหมักในทางเดินอาหารส่วนปลายน้อย เพื่อส่งผลให้ลูกสุกรมีสมรรถภาพการผลิตที่ดี และลดการเกิดท้องเสียได้ ซึ่ง McDonald *et al.* (1999) กล่าวว่า การให้อาหารสูตรที่มีข้าวขาวสุกและโปรตีนจากสัตว์เป็นวัตถุดิบอาหารพื้นฐาน สามารถช่วยป้องกันการเกิดอาการท้องเสียจากเชื้อ *Escherichia coli* ในลูกสุกรอนุบาลได้ (postweaning colibacillosis: PWC) ซึ่งสอดคล้องกับ Pluske *et al.* (2003) ที่กล่าวว่า ลูกสุกรอนุบาลที่ได้รับแป้งข้าวสุกรร่วมกับโปรตีนจากสัตว์มีผลทำให้มีปริมาณการกินรวมสูงที่สุด ($P < 0.05$) และมีแนวโน้มของการเกิดอาการท้องเสียน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับแป้งข้าวสุกรร่วมกับ HiMize และกลุ่มที่ได้รับแป้งข้าวสุกรร่วมกับ HiMize และถั่ว lupin

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองที่ 1

การศึกษาองค์ประกอบทางโภชนาและค่าการย่อยได้ของผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch จำนวน 2 ชนิดในลูกสุกรอนุบาล

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง

ใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (ดуроค × แลนด์เรซ × ลาร์จไวท์) น้ำหนักเฉลี่ย 12-13 กิโลกรัม เพศผู้ตอน จำนวน 18 ตัว

2. คอกและโรงเรือน

เลี้ยงสุกรในกรงเมแทบอลิกในโรงเรือนระบบเปิดของสถานีวิจัยทับกวาง จ. สระบุรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. เครื่องผสมอาหารแบบนอน ขนาดความจุ 500 กิโลกรัม

4. ขวดและถุงเก็บตัวอย่างปัสสาวะและมูลสุกร

5. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์โครมิกซ์ออกไซด์

6. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีการประมาณ (proximate analysis)

7. เครื่องมือวิเคราะห์พลังงาน (bomb calorimeter)

วิธีการ

1. สัตว์ทดลอง

ใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (ครุอก × แลนด์เรซ × ลาร์จไวท์) เพศผู้ตอน จำนวน 18 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 12-13 กิโลกรัม โดยแบ่งสุกรออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ตัว กลุ่มละ 1 ตัว เลี้ยงบนกรงเมแทบอลิก จนสัตว์สามารถปรับตัวเข้ากับการกินอาหารและสภาพแวดล้อมเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นจึงให้อาหารที่ผสมสารบ่งชี้ (โครมิกซ์ออกไซด์) 0.50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 วัน เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะ

2. อาหารและการให้อาหาร

ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นผลิตภัณฑ์แป้งที่ผ่านกระบวนการทำให้สุกด้วยกรรมวิธี hydrothermal process ของบริษัทแอมเวทต้า จำกัด จำนวน 2 ชนิด ได้แก่

2.1 Pure starch and full fat soybean flour (PSFFS) มีชื่อทางการค้าว่า Startex 2-S ประกอบด้วย ส่วนผสมของแป้งบริสุทธิ์คุณภาพสูงและแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม ลักษณะสีครีม มีกลิ่นและรสชาติคล้ายถั่วเหลืองสุก

2.2 Rice flour (RF) มีชื่อทางการค้าว่า NewTech/Newtex ประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้า ลักษณะสีขาวครีม มีกลิ่นและรสชาติคล้ายข้าวเจ้า

อาหารที่ใช้ในการทดลองอยู่ในรูปอาหารผง แบ่งออกเป็น 3 สูตร (ตารางที่ 11)

สูตรที่ 1 อาหารควบคุม (basal diet)

สูตรที่ 2 อาหารควบคุม 80 เปอร์เซ็นต์ + PSFFS 20 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 3 อาหารควบคุม 80 เปอร์เซ็นต์ + RF 20 เปอร์เซ็นต์

โดยให้สุกรได้รับอาหารวันละ 2 เวลา คือ 08.00 และ 16.00 น. มีจ๊อบน้ำให้สุกรสามารถกินน้ำได้ตลอดเวลา

3. การเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูล

การเก็บมูลสุกรและตัวอย่างปัสสาวะ โดยเริ่มสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วง 3 วันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 3-5) ที่มีการผสมโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร โดยเก็บมูลใส่ถุงพลาสติก ตัวอย่างละประมาณ 200 กรัม โดยมูลที่เก็บนั้นต้องมีสีเขียวของโครมิกซ์ออกไซด์ปรากฏออกมาอย่างสม่ำเสมอ และเก็บปัสสาวะใส่ขวดพลาสติก ตัวอย่างละ 200 มิลลิลิตร วันละ 2 ครั้ง เช้า และเย็น เวลา 08.00 และ 17.00 น. หลังจากนั้นนำตัวอย่างมูลและปัสสาวะมาเติมสารละลายกรดซัลฟริก (H_2SO_4) 6 N เพื่อปรับให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 และนำตัวอย่างเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป และเมื่อทำการวิเคราะห์ จะนำตัวอย่างมาตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และตัวอย่างมูลสุกรจะนำไปทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และบดให้ละเอียด

4. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

4.1 วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง โดยวิธี proximate analysis ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) ได้แก่ การวิเคราะห์หาความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัส วิเคราะห์หาโครมิกซ์ออกไซด์ตามวิธีของ Bolin *et al.* (1952) และวิเคราะห์หาค่าพลังงานโดยใช้ bomb calorimeter (ดวงสมร และอังคณา, 2532)

4.2 วิเคราะห์หาโครมิกซ์ออกไซด์และวิเคราะห์หาค่าพลังงานในมูลและปัสสาวะ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณสูตรอาหารในการทดลองที่ 2 และ 3 ต่อไป

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างมูล ปัสสาวะ และอาหารทดลองมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และโปรตีน และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทั้งสองชนิด

ค่าการย่อยได้แบบปรากฏ (เปอร์เซ็นต์)

$$= 100 - 100 \left[\frac{\text{เปอร์เซ็นต์โครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร} \times \text{เปอร์เซ็นต์โกขนะในมูล}}{\text{เปอร์เซ็นต์โครมิกซ์ออกไซด์ในมูล} \times \text{เปอร์เซ็นต์โกขนะในอาหาร}} \right]$$

ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch

$$= \frac{\text{ME อาหารสูตรควบคุม} - (\text{ME อาหารสูตรผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch} \times 0.8)}{0.2}$$

ตารางที่ 11 ส่วนประกอบวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในการศึกษาค่าการย่อยได้ของโกขนะในผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch

วัตถุดิบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
ข้าวโพด	46.40
รำละเอียด	10.00
น้ำมันรำ	3.65
กากถั่วเหลือง 44 เปอร์เซ็นต์	20.85
กากถั่วเหลืองไขมันเต็ม	15.00
แอล-ไลซีน	0.34
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.17
แอล-ทรีโอนีน	0.13
ไคแคลเซียมฟอสเฟต (P 18)	1.70
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.61
เกลือ	0.46
พรีมิกซ์วิตามิน-แร่ธาตุ ^{1/}	0.25
โครมิกซ์ออกไซด์	0.5
ปริมาณรวม	100.00

หมายเหตุ ^{1/} รายละเอียดส่วนประกอบของพรีมิกซ์วิตามิน-แร่ธาตุ แสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมของพรีมิกซ์ไวตามิน-แร่ธาตุ

วิตามิน	ปริมาณ
วิตามินเอ	7.20 IU (ล้านหน่วยสากล)
วิตามินดี 3	1.44 IU (ล้านหน่วยสากล)
วิตามินอี	12000 หน่วย
วิตามินเค 3	0.80 กรัม
วิตามินบี 1	1.00 กรัม
กรดโฟลิก	0.40 กรัม
กรดแพนโทเทนิค	6.00 กรัม
ไนอาซิน	8.00 กรัม
ไบโอติน	0.04 กรัม
แมงกานีส	32.00 กรัม
เหล็ก	64.00 กรัม
สังกะสี	40.00 กรัม
ทองแดง	72.00 กรัม
ไอโอดีน	0.40 กรัม
ซีลีเนียม	0.10 กรัม
โคบอลต์	0.40 กรัม
สารอนอมคุณภาพอาหารสัตว์	2.80 กรัม
สารปรุงแต่งอาหารสัตว์	10.00 กรัม

การทดลองที่ 2

การศึกษาค่าการย่อยได้ของโกชนะในอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch จำนวน 2 ชนิดทดแทนหางเนยผง

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง

ใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (ดуроค × แลนด์เรซ × ลาร์จไวท์) น้ำหนักเฉลี่ย 12-13 กิโลกรัม เพศผู้ตอน จำนวน 18 ตัว

2. คอกและโรงเรือน

เลี้ยงสุกรในกรงเมแทบอลิคในโรงเรือนระบบเปิดของสถานีวิจัยทับทวง จ.สระบุรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. เครื่องผสมอาหารแบบนอน ขนาดความจุ 500 กิโลกรัม

4. ขวดและถุงเก็บตัวอย่างปัสสาวะและมูลสุกร

5. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีการประมาณ

6. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์โครมิกออกไซด์

7. เครื่องมือวิเคราะห์พลังงาน

วิธีการ

1. สัตว์ทดลอง

ใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (ครุอก × แลนด์เรซ × ลาร์จไวท์) เพศผู้ตอน จำนวน 18 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 12-13 กิโลกรัม โดยแบ่งสุกรออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ตัว กลุ่มละ 1 ตัว เลี้ยงบนกรงเมแทบอลิซึม (metabolism cage) จนสัตว์สามารถปรับตัวเข้ากับการกินอาหารและสภาพแวดล้อมเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นจึงให้อาหารที่ผสมสารบ่งชี้ (โครมิกซ์ออกไซด์) 0.50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 วัน เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างมูล และปัสสาวะ

2. อาหารและการให้อาหาร

อาหารที่ใช้ในการทดลองอยู่ในรูปอาหารผง แบ่งออกเป็น 3 สูตร คือ (ตารางที่ 11)

กลุ่มที่ 1 อาหารควบคุม (ใส่หางเนยผง)

กลุ่มที่ 2 อาหารควบคุมที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มที่ 3 อาหารควบคุมที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์

โดยให้สุกรได้รับอาหารวันละ 2 เวลา คือ 08.00 และ 16.00 น. มีจุ๊บน้ำให้สุกรสามารถกินน้ำได้ตลอดเวลา

3. การเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูล

การเก็บมูลสุกรและตัวอย่างปัสสาวะ โดยเริ่มสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วง 3 วันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 3-5) ที่มีการผสมโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร โดยเก็บมูลใส่ถุงพลาสติก ตัวอย่างละประมาณ 200 กรัม โดยมูลที่เก็บนั้นต้องมีสีเขียวของโครมิกซ์ออกไซด์ปรากฏออกมาอย่างสม่ำเสมอ และเก็บปัสสาวะใส่ขวดพลาสติก ตัวอย่างละ 200 มิลลิลิตร วันละ 2 ครั้ง เช้า และเย็น เวลา 08.00 และ 17.00 น. หลังจากนั้นนำตัวอย่างมูลและปัสสาวะมาเติมสารละลายกรดซัลฟริก (H_2SO_4) 6 N เพื่อปรับให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 และนำตัวอย่างเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป และเมื่อทำการวิเคราะห์ จะนำตัวอย่างมาตั้งให้เย็นที่

อุณหภูมิห้อง และตัวอย่างมูลสุกรจะนำไปทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และบดให้ละเอียด

4. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

4.1 วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง โดยวิธี proximate analysis ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) ได้แก่ การวิเคราะห์หาความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัส วิเคราะห์หาโครมิกซ์ออกไซด์ตามวิธีของ Bolin *et al.* (1952) และวิเคราะห์หาค่าพลังงานโดยใช้ bomb calorimeter (ดวงสมร และอังคณา, 2532)

4.2 วิเคราะห์หาโครมิกซ์ออกไซด์ และวิเคราะห์หาค่าพลังงานในมูล และปัสสาวะ โดยนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างมาคำนวณหาค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และโปรตีน และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร

ค่าการย่อยได้แบบปรากฏ (เปอร์เซ็นต์)

$$= 100 - 100 \left[\frac{\text{เปอร์เซ็นต์โครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร} \times \text{เปอร์เซ็นต์โภชนะในมูล}}{\text{เปอร์เซ็นต์โครมิกซ์ออกไซด์ในมูล} \times \text{เปอร์เซ็นต์โภชนะในอาหาร}} \right]$$

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design, CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) โดย Proc GLM และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดย Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 2003) โดยมีแบบหุนทางสถิติดังนี้คือ

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ

Y_{ij} แทนค่าสังเกตที่ได้จากหน่วยทดลองที่ j ($j = 1, 2, \dots, 6$) ซึ่งได้รับทริทเมนต์ที่ i ($i = 1, 2, 3$)

μ แทนค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด

α_i แทนอิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

ε_{ij} แทนความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตารางที่ 13 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารในการหาค่าการย่อยได้ของโภชนะในอาหารที่ใช้ผลิตก้อน hydrothermal starch

วัตถุดิบ	สูตรอาหาร			ราคา ณ. เดือน ส.ค. (บาท/กก.)
	หางเนยผง	PSFFS	RF	
ข้าวโพด	36.33	31.26	30.67	9.30
กากถั่วเหลือง 46 เปอร์เซนต์	14.20	16.83	17.37	19.55
รำสกัดน้ำมัน	10.17	11.63	12.07	6.60
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	10.00	10.00	10.00	24.37
มันเส้น	10.00	10.00	10.00	6.50
รำละเอียด	8.00	8.00	8.00	8.60
เนื้อและกระดูกหมูปน	2.31	2.90	2.82	23.00
กระดูกปน	2.00	2.00	2.00	17.00
หินฟูน	0.53	0.70	0.53	1.35
เกลือ	0.30	0.55	0.37	4.15
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.13	0.14	0.13	230.00
แอล-ไลซีน	0.16	0.14	0.16	72.00
ทรีโอนีน	0.07	0.08	0.08	98.00
สารเพิ่มกลิ่น	0.07	0.07	0.07	280.00
ยาปฏิชีวนะ ^{1/}	0.53	0.53	0.53	0.53
พรีมิกซ์ไวดามินและแร่ธาตุ ^{2/}	0.20	0.20	0.20	0.20
หางเนยผง	5.00	-	-	41.00
PSFFS	-	5.00	-	25.00
RF	-	-	5.00	18.00
รวม	100.00	100.00	100.00	-
ราคา (บาท/ กิโลกรัม)	14.40	13.90	13.58	-

ตารางที่ 13 (ต่อ)

วัตถุดิบ	สูตรอาหาร			ราคา ณ. เดือน
	ทางเนยผง	PSFFS	RF	ส.ค. (บาท/กก.)
องค์ประกอบทางโภชนาโดยวิธีการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์)				
โปรตีน	20.00	20.00	20.00	-
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Kcal/kg)	3250.00	3253.00	3250.00	-
ไขมัน	5.82	5.91	5.61	-
เยื่อใย	4.59	4.75	4.75	-
แคลเซียม	0.90	1.00	0.94	-
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45	0.45	-
ไลซีน	1.2	1.2	1.2	-
เมทไธโอนีน	0.40	0.40	0.40	-

หมายเหตุ ¹ ส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 14

² ส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 14 ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมของยาปฏิชีวนะ

ยาปฏิชีวนะ	ใน 1 กิโลกรัมประกอบด้วย
ไทอะมุลิน	ไทอะมุลินไฮโดรเจนฟลูมาติก 100 กรัม
โคลิสติน	โคลิสตินซัลเฟต เทียบเท่า โคลิสติน 400 กรัม
คอปเปอร์ซัลเฟต	คอปเปอร์ซัลเฟต เพนทาไฮเดรต 980 กรัม มีทองแดง 245 กรัม
แอมม็อกซิซิลลิน	แอมม็อกซิซิลลินไตรไฮเดรต เทียบเท่า แอมม็อกซิซิลลิน 500 กรัม

การทดลองที่ 3

การศึกษาผลการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch จำนวน 2 ชนิดต่อสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาลและต้นทุนในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสุกร 1 กิโลกรัม

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง

ใช้สุกรหย่านมลูกผสมสามสายพันธุ์ (ดуроค × แลนด์เรซ × ลาร์จไวท์) ที่อายุ 4 สัปดาห์ น้ำหนักเริ่มต้น 7-8 กิโลกรัม จำนวน 120 ตัว เป็นเพศผู้ 60 ตัว เพศเมีย 60 ตัว

2. คอกและโรงเรือน

เลี้ยงสุกรในโรงเรือนระบบปิดของบริษัทไบโอเจน ฟาร์ม ต. คอยติ อ. เมือง จ. ลำพูน โดยแต่ละคอกมีสุกร 8 ตัว เป็นเพศผู้ 4 ตัว และเพศเมีย 4 ตัว

3. ถังใส่อาหารและช้อนตักอาหาร

4. เครื่องชั่งน้ำหนัก ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักสุกร และน้ำหนักอาหาร

วิธีการ

1. สัตว์ทดลอง

ใช้สุกรหย่านมลูกผสมสามสายพันธุ์ (ดуроค × แลนด์เรซ × ลาร์จไวท์) อายุ 4 สัปดาห์ น้ำหนักเริ่มต้น 7-8 กิโลกรัม จำนวน 120 ตัว คละเพศ เป็นเพศผู้ตอน 60 ตัว และเพศเมีย 60 ตัว โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 8 ตัว

2. อาหารทดลอง

สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองจะคำนวณจากค่าการย่อยได้ของ โภชนะในผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch แต่ละชนิดที่ได้จากการทดลองที่ 1 โดยคำนวณให้สูตรอาหารมีองค์ประกอบ และปริมาณของโภชนะตรงกับความต้องการสารอาหารของสุกรในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต ทั้ง 2 ระยะ คือ ระยะแรก (อายุ 4-7 สัปดาห์) และระยะที่สอง (อายุ 7-9 สัปดาห์) โดยสุกรแต่ละกลุ่ม จะได้รับอาหารในรูปอาหารผงที่แตกต่างกัน 3 สูตร (ตารางที่ 15 และ 16) คือ

สูตรที่ 1 อาหารควบคุม (ใส่หางเนยผง)

สูตรที่ 2 อาหารควบคุมที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFES ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 3 อาหารควบคุมที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์

3. การจัดการ

เลี้ยงสุกรในโรงเรือนระบบปิด สุกรได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) มีจุ๊บน้ำ ให้สุกรสามารถกินน้ำได้ตลอดเวลา โดยใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด 5 สัปดาห์

4. การเก็บข้อมูลและบันทึกผล

ทำการเก็บข้อมูลและบันทึกผลการทดลองในแต่ละช่วง คือ ช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์ และ ช่วงอายุ 7-9 สัปดาห์ คือ

4.1 น้ำหนักตัวเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต

4.2 ปริมาณอาหารที่กินในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต

4.3 จำนวนสุกรตาย น้ำหนักสุกรตาย และอาหารที่เหลือในคอกที่มีสุกรตาย

4.4 สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทุกสูตรในแต่ละช่วงการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีของโภชนะ

นำข้อมูลที่บันทึกได้มาคำนวณสูตร ดังนี้

สูตรการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กก.)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวสุดท้าย (กก.)} - \text{น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กก.)}}{\text{จำนวนสุกร (ตัว)}}$$

$$\text{น้ำหนักตัวเพิ่มต่อวัน (กก.)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวสุดท้าย (กก.)} - \text{น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กก.)}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$$

$$\text{อาหารที่กินเฉลี่ย (กรัม)} = \frac{\text{อาหารที่ให้ (กรัม)} - \text{อาหารที่เหลือ (กรัม)}}{\text{จำนวนสุกร (ตัว)}}$$

$$\text{อาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (กรัม)} = \frac{\text{อาหารที่ให้ (กรัม)} - \text{อาหารที่เหลือ (กรัม)}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้อาหาร} = \frac{\text{อาหารที่กิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวเพิ่ม (กรัม)}}$$

$$\text{อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนสุกรตาย (ตัว)} \times 100}{\text{จำนวนสุกรเริ่มต้น (ตัว)}}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (feed cost per gain; FCG)} \\ = \text{ประสิทธิภาพการใช้อาหาร} \times \text{ราคาอาหาร (บาท/กิโลกรัม)} \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ทางเคมี

นำตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการทดลองมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของโภชนะต่างๆ คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัส โดยวิธี proximate analysis ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) และวิเคราะห์พลังงานโดยใช้ bomb calorimeter

แผนการวิจัย

การทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) โดย Proc GLM และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดย Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 2003) โดยมีแบบหน้ทางสถิติดังนี้คือ

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ

Y_{ij} แทนค่าสังเกตที่ได้จากหน่วยทดลองที่ j ($j=1, 2, \dots, 5$) ซึ่งได้รับทริทเมนต์ที่ i ($i=1, 2, 3$)

μ แทนค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด

α_i แทนอิทธิพลของทริทเมนต์ที่ i

ε_{ij} แทนความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตารางที่ 15 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารในสูตรอาหารสุกรอายุ 4-7 สัปดาห์

วัตถุดิบ	สูตรอาหาร			ราคา ณ. เดือน
	หางเนยผง	PSFFS	RF	ส.ก. (บาท/กก.)
ข้าวโพด	40.83	33.47	32.17	9.30
กากถั่วเหลือง 46 เปอร์เซนต์	13.90	21.03	22.33	19.55
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	13.33	13.33	13.33	24.37
มันเส้น	6.67	6.67	6.67	6.50
รำสาลี	4.00	4.00	4.00	7.92
รำละเอียด	4.00	4.00	4.00	8.60
เนื้อและกระดูกหมูปน	4.00	4.00	4.00	23.00
หินปูน	1.04	0.81	0.81	1.35
ไคแอลเซียมฟอสเฟต	0.69	1.03	1.03	30.00
เกลือ	0.53	0.68	0.68	4.15
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.10	0.10	0.08	230.00
แอล-ไลซีน	0.08	0.04	0.07	72.00
ทรีโอนีน	0.01	0.01	0.01	98.00
สารเพิ่มกลิ่น	0.07	0.07	0.07	280.00

ตารางที่ 15 (ต่อ)

วัตถุดิบ	สูตรอาหาร			ราคา ณ. เดือน
	หางเนยผง	PSFFS	RF	ส.ค. (บาท/กก.)
สารเพิ่มความหวาน	0.03	0.03	0.03	250.00
ยาปฏิชีวนะ ^{1/}	0.53	0.53	0.53	0.53
พรีมิกซ์วิตามินและแร่ธาตุ ^{2/}	0.20	0.20	0.20	0.20
หางเนยผง	10.00	-	-	41.00
PSFFS	-	10.00	-	25.00
RF	-	-	10.00	18.00
รวม	100.00	100.00	100.00	-
ราคา (บาท/ กิโลกรัม)	16.86	16.04	15.47	-
องค์ประกอบทางโภชนาการโดยวิธีการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์)				
โปรตีน	22.00	22.00	22.00	-
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้(Kcal/kg)	3329.00	3397.00	3377.00	-
ไขมัน	6.50	6.64	6.04	-
เยื่อใย	3.50	3.50	3.40	-
แคลเซียม	1.00	1.00	1.00	-
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45	0.45	-
ไลซีน	1.27	1.27	1.27	-
เมทไธโอนีน	0.40	0.40	0.40	-

หมายเหตุ ^{1/} ส่วนประกอบแสดงในตารางที่ 14^{2/} ส่วนประกอบแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 16 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารในสูตรอาหารสุกรอายุ 7-9 สัปดาห์

วัตถุดิบ	สูตรอาหาร			ราคา ณ. เดือน
	หางเนยผง	PSFFS	RF	ส.ค. (บาท/กก.)
ข้าวโพด	36.33	31.26	30.67	9.30
กากถั่วเหลือง 46 เปอร์เซ็นต์	14.20	16.83	17.37	19.55
รำสกัดน้ำมัน	10.17	11.63	12.07	6.60
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	10.00	10.00	10.00	24.37
มันเส้น	10.00	10.00	10.00	6.50
รำละเอียด	8.00	8.00	8.00	8.60
เนื้อและกระดูกหมูปน	2.31	2.90	2.82	23.00

ตารางที่ 16 (ต่อ)

วัตถุดิบ	สูตรอาหาร			ราคา ณ. เดือน
	หางเนยผง	PSFFS	RF	ธ.ค. (บาท/กก.)
กระดุกป่น	2.00	2.00	2.00	17.00
หินปูน	0.53	0.70	0.53	1.35
เกลือ	0.30	0.55	0.37	4.15
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.13	0.14	0.13	230.00
แอล-ไลซีน	0.16	0.14	0.16	72.00
ทรีโอนีน	0.07	0.08	0.08	98.00
สารเพิ่มกลิ่น	0.07	0.07	0.07	280.00
ยาปฏิชีวนะ ^{1/}	0.53	0.53	0.53	0.53
พรีมิกซ์วิตามินและแร่ธาตุ ^{2/}	0.20	0.20	0.20	0.20
หางเนยผง	5.00	-	-	41.00
PSFFS	-	5.00	-	25.00
RF	-	-	5.00	18.00
รวม	100.00	100.00	100.00	-
ราคา (บาท/ กิโลกรัม)	14.40	13.90	13.58	-
องค์ประกอบทางโภชนาการโดยวิธีการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์)				
โปรตีน	20.00	20.00	20.00	-
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Kcal/kg)	3250.00	3253.00	3250.00	-
ไขมัน	5.82	5.91	5.61	-
เยื่อใย	4.59	4.75	4.75	-
แคลเซียม	0.90	1.00	0.94	-
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45	0.45	-
ไลซีน	1.2	1.2	1.2	-
เมทไธโอนีน	0.40	0.40	0.40	-

หมายเหตุ ^{1/} ส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 14

^{2/} ส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 12

สถานที่ในการทดลอง

การทดลองที่ 1 สถานีวิจัยทับทวง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. สระบุรี เพื่อศึกษาการย่อยได้ของผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch

การทดลองที่ 2 สถานีวิจัยทับทวง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. สระบุรี เพื่อศึกษาการย่อยได้ของอาหารที่มีการทดแทนหางเนยผงด้วยผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาภาคสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. นครปฐม เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารและค่าการย่อยได้ของอาหารและพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่มีการทดแทนหางเนยผงด้วยผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch

การทดลองที่ 3 โรงเรือนระบบปิด บริษัทไบโอเจน ฟาร์ม ต. คอยติ อ. เมือง จ. ลำพูน

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาภาคสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. นครปฐม เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่มีการทดแทนหางเนยผงด้วยผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch

ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มทำการทดลอง : มกราคม 2551

สิ้นสุดการทดลอง : พฤศจิกายน 2551

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1

ผลการทดลอง

จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาและการย่อยได้ของผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทั้งสองชนิด (ตารางที่ 17) พบว่าผลิตภัณฑ์ PSFFS มีความชื้น เยื่อใย เถ้า เท่ากับ 11.0, 1.30 และ 1.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ RF คือ 12.0, 1.00 และ 0.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ยกเว้น ไขมันและโปรตีนรวมที่แตกต่างกันคือ ในผลิตภัณฑ์ PSFFS มีค่าเท่ากับ 6.50 และ 13.00 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์ RF เท่ากับ 1.00 และ 8.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในผลิตภัณฑ์ PSFFS และผลิตภัณฑ์ RF เท่ากับ 4,352.60 และ 4,177.80 กิโลแคลอรีต่อแป้ง 1 กิโลกรัม ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน เท่ากับ 83.32 และ 81.48 เปอร์เซ็นต์ และค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน เท่ากับ 84.18 และ 82.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 17 องค์ประกอบทางเคมีและค่าการย่อยได้ของผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch

คุณค่าโภชนา (เปอร์เซ็นต์)	PSFFS ^{1/}	RF ^{2/}
ความชื้น	11.00	12.00
ไขมัน	6.50	1.00
เยื่อใย	1.30	1.00
โปรตีนรวม	13.00	8.00
เถ้า	1.20	0.90
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ของแป้ง (Kcal/kg)	4,352.60	4,177.80
ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน	84.18	82.48
ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน	83.32	81.48

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 1 คุณค่าทางโภชนาของผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทั้งสองชนิดมีค่าความชื้น เยื่อใย เถ้าในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นไขมัน และโปรตีนรวมที่ผลิตภัณฑ์ PSFFS มีค่าสูงกว่า เนื่องจากว่าในผลิตภัณฑ์ PSFFS มีถั่วเหลืองไขมันเต็มเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งถั่วเหลืองไขมันเต็มนี้มีไขมันและโปรตีนในปริมาณสูง จึงทำให้ในผลิตภัณฑ์ PSFFS มีไขมันและโปรตีนรวมสูงกว่าผลิตภัณฑ์ RF ที่มีแป้งข้าวเจ้าเป็นองค์ประกอบเพียงชนิดเดียว ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมันและโปรตีนในผลิตภัณฑ์ PSFFS มีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ RF ทั้งนี้เนื่องจากว่าความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch แต่ละชนิด ซึ่งถั่วเหลืองไขมันเต็มในผลิตภัณฑ์ PSFFS มีส่วนประกอบของไขมันและโปรตีนในปริมาณสูงกว่าข้าว ทำให้มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมันและโปรตีนสูงกว่าผลิตภัณฑ์ RF ซึ่ง Juliano (1992) กล่าวว่า ข้าวเป็นแหล่งพลังงานที่ดี มีองค์ประกอบของแป้งสูง แต่มีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งต่ำกว่าธัญพืชชนิดอื่นๆ โดยมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 3,546.20 Kcal/kg (NRC, 1998) ในขณะที่ถั่วเหลืองมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 3,820.00 Kcal/kg (Baylay and Summers, 1975) ซึ่งต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทั้งสองชนิดในการทดลองครั้งนี้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ PSFFS มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าในข้าว (4,177.80 และ 3,546.20 Kcal/kg) และผลิตภัณฑ์ RF มีค่าสูงกว่าถั่วเหลือง (4,352.60 และ 3,820 Kcal/kg) ทั้งนี้เนื่องจากว่า ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทั้งสองชนิดได้ผ่านกระบวนการทำให้สุกด้วยกรรมวิธีการให้ความร้อนขึ้น ทำให้เกิดการสุกของแป้งในวัตถุดิบนั้นๆ จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทั้งสองชนิดมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าข้าวและถั่วเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Wiseman (1984) ที่รายงานว่า การนำถั่วเหลืองไขมันเต็มไปผ่านกระบวนการทำให้สุกด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูดทั้งแบบแห้ง และแบบเปียกมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏสูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 4,280 และ 4,160 Kcal/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำให้สุกที่มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏเท่ากับ 3,230 Kcal/kg

การทดลองที่ 2

ผลการทดลอง

จากการศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะในอาหาร (ตารางที่ 18) พบว่า สุนัขกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรหางเนยผง (ควบคุม) กลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรผลิตภัณฑ์ PSFFS และ กลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานย่อยได้ (Digestible energy; DE) ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ รวมถึงค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และ โปรตีนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ ค่าพลังงานย่อยได้ เท่ากับ 3,207.63, 3,155.84 และ 3,164.98 Kcal/kg ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 3,133.80, 3,136.95 และ 3,126.25 Kcal/kg ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน เท่ากับ 79.68, 79.16 และ 79.34 เปอร์เซ็นต์ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน เท่ากับ 70.10, 70.36 และ 69.21 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรหางเนยผง กลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรผลิตภัณฑ์ PSFFS และกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 18 ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะในสุนักรุ่นบาล

ปัจจัย	หางเนยผง	PSFFS	RF	S.E.	P-value
พลังงานย่อยได้ (Kcal/kg)	3,207.63	3,155.84	3,164.98	15.96	0.0950
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Kcal/kg)	3,133.80	3,136.95	3,126.25	0.15	0.9675
ค่าการย่อยได้แบบปรากฏ (เปอร์เซ็นต์)					
ไขมัน	79.68	79.16	79.34	2.27	0.9348
โปรตีน	70.10	70.36	69.21	2.21	0.7937

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารสูตรที่ใช้หางเนยผง สูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอาหารทั้ง 3 สูตรมีค่าพลังงานย่อยได้ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของอาหารแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้จากการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับพลังงานใช้ประโยชน์ได้จากการคำนวณในสูตรอาหาร แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของผลิตภัณฑ์ PSFFS และ RF จากการทดลองที่ 1 นั้นถูกต้องและสอดคล้องกัน จึงส่งผลให้สุกรกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหารหางเนยผง กลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรผลิตภัณฑ์ PSFFS และ กลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ มีการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และ โปรตีน ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) อาจเนื่องมาจากว่าในสูตรอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และ สูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF มีส่วนประกอบของแป้งสาลีที่เกิดการเจลาติไนซ์ ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนเป็นเจลาติน ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำของแป้งและทำให้เชื้อเอนไซม์เกิดการหลวมตัว ทำให้เอนไซม์ภายในตัวสัตว์สามารถย่อยได้ง่าย Medal *et al.* (2004) รายงานว่าการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบธัญพืชทำให้แป้งภายในเมล็ดธัญพืชเกิดการเจลาติไนซ์ ซึ่งช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของอาหารตลอดระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรอนุบาลได้ และนอกจากนั้นความสามารถในการย่อยแป้งยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของเม็ดแป้ง (granule surface area) โครงสร้างของแป้ง (starch structure) ระดับการจับตัวกันแน่น (crystallinity) อายุของสัตว์ ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการไหลผ่าน และ ความสามารถในการดูดซึม

Vicente *et al.* (2008) รายงานว่า การให้ความร้อนแก่ข้าวเจ้าในสูตรอาหารสุกรอนุบาลจะช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของอาหารให้ดีขึ้นมากกว่าสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดที่ผ่านการให้ความร้อน โดยธัญพืชแต่ละชนิดจะใช้เวลา และอุณหภูมิที่ให้ความร้อนที่แตกต่างกัน แต่การให้ความร้อนที่มากเกินไปจะเพิ่มปริมาณการเกิดแป้งที่ต้านทานต่อการย่อย (resistant starch) ทำให้การย่อยได้ของอาหารในตัวสัตว์ลดลง (Sagum and Arcot, 2000) ซึ่งขัดแย้งกับ Vanderpoel *et al.* (1989) ที่กล่าวว่า กรรมวิธีการให้ความร้อนแก่เมล็ดธัญพืชไม่สามารถช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของอาหารในสุกรอนุบาลได้

Vicente *et al.* (2005) รายงานว่า การใช้แป้งข้าวที่ผ่านการทำให้สุกเป็นแหล่งพลังงานหลักทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารลูกสุกรอนุบาล ส่งผลให้มีการย่อยได้ของวัตถุดิบอื่นที่เรียกว่าวัตถุดิบที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนปลายดีขึ้น และยังส่งผลให้สุขภาพของลำไส้ดีขึ้น เช่น ความสูงของ

วิลโล และอัตราส่วนของความสูงของวิลโลต่อความลึกของคริปต์เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยลดการเกิดอาการท้องเสียหลังหย่านมได้ (Pluske *et al.*, 2002; Hopwood *et al.*, 2004) เนื่องจากว่าเมล็ดข้าวมีปริมาณแป้งเป็นองค์ประกอบสูง ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งต่ำ (Choct, 2002) เม็ดแป้งในข้าวมีขนาดอนุภาคเล็ก ประมาณ 3-8 ไมโครเมตร (Tester *et al.*, 2004) ปริมาณอะไมโลสต่ำ และมีการรวมกันของไขมันกับอะไมโลสต่ำ (Vanderputte and Delcour, 2004) และการให้ความร้อนแก่ข้าวจะไม่เกิดแป้งที่ต้านทานต่อการย่อย หรือเกิดปฏิกิริยามิลลาร์ด (millard reaction) เพราะฉะนั้นจึงทำให้เอนไซม์ในสัตว์ตัวมีการย่อยแป้งข้าวได้ง่าย และสุกรอนุบาลนำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ได้ดี

การทดลองที่ 3

ผลการทดลอง

การวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนะในสูตรอาหาร

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางเคมีในสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง คือ สูตรอาหารที่ใช้หางเนยผง สูตรอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFES และสูตรอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี proximate analysis และการใช้ bomb calorimeter แสดงไว้ในตารางที่ 19 พบว่า ปริมาณโภชนะต่างๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน พลังงานรวม เยื่อใย แคลเซียม และฟอสฟอรัสมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณโภชนะที่ได้จากการคำนวณในสูตรอาหาร (ตารางที่ 15 และ 16)

สมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล

จากการศึกษาด้านสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาลที่ใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทั้ง 2 ชนิดทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหาร (ตารางที่ 20-22) พบว่าในช่วงระยะ 4-7 สัปดาห์ และช่วงระยะ 7-9 สัปดาห์ สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้หางเนยผง สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFES และสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราการเจริญเติบโต และน้ำหนักตัวสุดท้ายมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จึงส่งผลให้สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้

ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ มีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างกับสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้หางเนยผง

ตารางที่ 19 คุณค่าทางโภชนาในสูตรอาหารของสุกรอนุบาล

โภชนะ (เปอร์เซ็นต์)	สูตรอาหาร					
	อายุ 4-7 สัปดาห์			อายุ 7-9 สัปดาห์		
	หางเนยผง	PSFFS	RF	หางเนยผง	PSFFS	RF
โปรตีน	21.60	21.92	21.79	20.09	20.05	20.09
ไขมัน	6.46	6.34	5.9	5.83	6.00	5.72
เยื่อใย	3.88	3.85	3.87	4.97	5.05	4.90
แคลเซียม	1.02	0.98	0.98	0.86	1.02	0.86
ฟอสฟอรัส	0.72	0.70	0.73	0.85	0.84	0.85
พลังงานรวม ^{1/}	4,554.64	4,519.87	4,508.21	4,543.51	4,512.94	4,517.26

หมายเหตุ ^{1/} หน่วยเป็น Kcal/kg

ในช่วงระยะ 4-7 สัปดาห์ (ตารางที่ 20) สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้หางเนยผง สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 533.45, 564.54 และ 561.75 กรัม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร เท่ากับ 2.02, 1.93 และ 1.82 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 267.80, 295.90 และ 309.30 กรัม และน้ำหนักตัวสุดท้าย เท่ากับ 13.18, 13.73 และ 14.00 กิโลกรัม ตามลำดับ

ในช่วงระยะ 7-9 สัปดาห์ (ตารางที่ 21) สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้หางเนยผง สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 1,212.76, 1,252.95 และ 1,246.05 กรัม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร เท่ากับ 2.10, 2.13 และ 2.12 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 576.43, 591.57 และ 589.14 กรัม และน้ำหนักตัวสุดท้าย เท่ากับ 21.25, 22.01 และ 22.25 กิโลกรัม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาสมรรถภาพการผลิตรวมตลอดการทดลองช่วงระยะ 4-9 สัปดาห์ (ตารางที่ 22) พบว่า สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์มีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างกับสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้หางเนยผง คือ สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้หางเนยผง สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนหางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 793.18, 824.19 และ 827.23 กรัม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร เท่ากับ 2.01, 1.98 และ 1.95 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 394.88, 417.65 และ 424.53 กรัม ตามลำดับ

ต้นทุนในการผลิตอาหาร 1 กิโลกรัม

ต้นทุนในการผลิตอาหาร 1 กิโลกรัม นั้น (ตารางที่ 23) พบว่าสูตรอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสูตรอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF มีราคาต้นทุนต่ำกว่าสูตรอาหารที่ใช้หางเนยผง โดยสูตรอาหารที่ใช้หางเนยผง สูตรอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสูตรอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF มีต้นทุนในการผลิตอาหารในช่วงระยะ 4-7 สัปดาห์ต่อกิโลกรัม เท่ากับ 16.86, 16.04 และ 15.47 บาท ตามลำดับ และในช่วงระยะ 7-9 สัปดาห์ เท่ากับ 14.40, 13.89 และ 13.58 บาท ตามลำดับ และต้นทุนเฉลี่ยตลอดการทดลองในการผลิตอาหารเฉลี่ยต่อกิโลกรัม เท่ากับ 15.63, 14.96 และ 14.52 บาท ตามลำดับ

ต้นทุนในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม

ต้นทุนในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 23) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้หางเนยผง สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF มีต้นทุนในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมในช่วงระยะ 4-7 สัปดาห์ เท่ากับ 34.05, 30.96 และ 28.61 บาท ตามลำดับ ในช่วงระยะ 7-9 สัปดาห์ เท่ากับ 30.25, 29.58 และ 28.79 บาท ตามลำดับ และต้นทุนในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมตลอดการทดลอง เท่ากับ 31.42, 29.63 และ 28.31 บาท ตามลำดับ

ตารางที่ 20 ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารต่อ
สมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล (อายุ 4-7 สัปดาห์)

ปัจจัย	หางเนยผง	PSFFS	RF	S.E.	P-value
น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กิโลกรัม)	7.82	7.81	7.82	0.05	0.9562
น้ำหนักตัวสุดท้าย (กิโลกรัม)	13.18	13.28	14.00	0.18	0.1995
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	267.80	295.90	309.30	8.71	0.1820
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	533.45	564.54	561.75	10.18	0.4130
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	2.02	1.93	1.82	0.02	0.4533

ตารางที่ 21 ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารต่อ
สมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล (อายุ 7-9 สัปดาห์)

ปัจจัย	หางเนยผง	PSFFS	RF	S.E.	P-value
น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กิโลกรัม)	13.18	13.73	14.00	0.24	0.1995
น้ำหนักตัวสุดท้าย (กิโลกรัม)	21.25	22.01	22.25	0.30	0.2809
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	576.43	591.57	589.14	4.70	0.8248
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	1212.76	1252.95	1246.05	12.41	0.5455
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	2.10	2.13	2.12	0.01	0.9616

ตารางที่ 22 ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารต่อ
สมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล (อายุ 4-9 สัปดาห์)

ปัจจัย	หางเนยผง	PSFFS	RF	S.E.	P-value
น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กิโลกรัม)	7.82	7.81	7.82	0.003	0.9562
น้ำหนักตัวสุดท้าย (กิโลกรัม)	21.25	22.01	22.25	0.30	0.2809
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	394.88	417.65	424.53	10.88	0.2800
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	793.18	824.19	827.23	8.96	0.2922
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	2.01	1.98	1.95	0.02	0.7330

ตารางที่ 23 ต้นทุนค่าอาหารและต้นทุนในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (FCG)

	ต้นทุนค่าอาหาร ^{1/}			ต้นทุนในการเปลี่ยนอาหาร เป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม		
	ทางเนยผง	PSFFS	RF	ทางเนยผง	PSFFS	RF
ช่วง 4-7 สัปดาห์	16.86	16.04	16.17	34.05	30.96	29.42
ช่วง 7-9 สัปดาห์	14.40	13.89	13.94	30.25	29.58	29.55
ช่วง 4-9 สัปดาห์	15.63	14.96	15.05	31.42	29.63	29.35

หมายเหตุ ^{1/} หน่วยเป็นบาทต่อกิโลกรัม

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนทางเนยผงในสูตรอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต พบว่า สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนทางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ มีสมรรถภาพการผลิตเทียบเท่ากับสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ทางเนยผง เนื่องจากว่า ในการทดลองนี้ลูกสุกรได้รับผลิตภัณฑ์แป้งสุกที่ง่ายขึ้น ทำให้มีการกระตุ้นการผลิตและการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสได้ดี ทำให้ลูกสุกรได้รับพลังงานในส่วนของแป้งขัดเซพพลังงานในส่วนของแลคโตสในทางเนยผงได้ดี และการใช้กระบวนการให้ความร้อนแก่อาหารจะช่วยเพิ่มรสชาติ และความน่ากินของอาหาร (Mercier, 1980) จึงทำให้สุกรในทุกกลุ่มมีสมรรถภาพการผลิตไม่ต่างกัน

นอกจากนั้นอาจเป็นผลเนื่องจากว่า สุกรในแต่ละกลุ่มการทดลองมีการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของอาหารไม่ต่างกัน ถึงแม้ว่าจะมีการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทดแทนทางเนยผงในสูตรอาหารถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากว่าในการทดลองครั้งนี้ได้มีการคำนวณสูตรอาหารให้มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้และโปรตีนรวมที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการคำนวณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้จากผลการทดลองที่ 1 ทำให้สุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF ทดแทนทางเนยผง 100 เปอร์เซ็นต์ มีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างจากสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ทางเนยผง ซึ่งจากการทดลองในส่วนนี้แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้จากผลการทดลองที่ 1 นั้นถูกต้อง และนอกจากนั้นอาจจะ

เป็นผลเนื่องจากว่าผลิตภัณฑ์แป้ง PSFS และ RF ทั้งสองชนิดนั้นผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้น ทำให้เกิดการสุกของแป้ง โครงสร้างของแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเจลาติน (gelatin) ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำของแป้งและทำให้เยื่อใยมีลักษณะหลวมตัว โดยความร้อนไปทำลายพันธะไฮโดรเจนของอะไมโลส (amylose) ทำให้เกิดจุดที่ไวต่อการย่อยของเอนไซม์อะไมเลส (amylase) และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของเม็ดแป้งกับเอนไซม์อะไมเลส ทำให้ลูกสุกรย่อยอาหารได้ดี การใช้ประโยชน์ของอาหารดีขึ้น (Vanderpoel *et al.*, 1989) และการย่อยแป้งที่รวดเร็วจะส่งผลดีต่อลูกสุกรในการเกิดความเครียดในการย่อยอาหารน้อยลง ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ (pathogenic bacteria) ในระบบทางเดินอาหารลดลง ส่งผลต่อการลดการเกิดท้องเสีย ทำให้สุกรมีสุขภาพที่ดีขึ้น ส่งผลให้สุกรทั้งสองกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch มีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างกับสุกรกลุ่มที่ได้รับทางเนยผง ซึ่งขัดแย้งกับนพดล (2538) ที่ศึกษาการใช้แป้งปลายข้าวเอ็กซ์ทรูดร่วมกับหางนมผงที่ระดับ 0, 5, 10 เปอร์เซ็นต์ในอาหารลูกสุกรหย่านม พบว่าลูกสุกรในกลุ่มที่ได้รับแป้งปลายข้าวเอ็กซ์ทรูดร่วมกับหางนมผงที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับแป้งปลายข้าวเอ็กซ์ทรูดเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่ได้รับแป้งปลายข้าวเอ็กซ์ทรูดร่วมกับหางนมผงที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากแป้งปลายข้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้สุกโดยการเอ็กซ์ทรูดมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างให้อยู่ในรูปเจลาติน โดยความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนของ อะไมโลสทำให้เกิดจุดที่ไวต่อการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของเม็ดแป้งกับเอนไซม์อะไมเลส นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากหางนมผงมีการย่อยได้ของโปรตีนสูงกว่าถั่วเหลือง และระดับของกรดอะมิโนที่จำเป็นตลอดจนการใช้ประโยชน์ได้มากกว่าโปรตีนจากแหล่งอื่น ทำให้สุกรกลุ่มที่ได้รับแป้งปลายข้าวเอ็กซ์ทรูดร่วมกับหางนมผงที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด Vicente *et al.* (2008) รายงานว่า การใช้ข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน สามารถเพิ่มค่าการย่อยได้ของอาหารและช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านมได้ ในขณะที่ Hongtrakul *et al.* (1998) พบว่ากระบวนการให้ความร้อนโดยการเอ็กซ์ทรูดแบบเปียกแก่ข้าวโพด แป้งข้าวโพด ปลายข้าว และแป้งสาลี ไม่มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านมไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) อาจเนื่องจากวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดมีแป้งเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนและไอน้ำ จะทำให้เกิดการสุกของแป้ง เอนไซม์ภายในตัวสัตว์สามารถย่อยได้ง่ายขึ้น จึงส่งผลให้สุกรมีการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบใกล้เคียงกัน

ทางด้านต้นทุนในการผลิตอาหาร 1 กิโลกรัมนั้นพบว่า สูตรอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch มีต้นทุนในการผลิตอาหารต่ำกว่าสูตรอาหารที่ใช้หางเนยผง เนื่องจากว่า ผลิตภัณฑ์แป้งทั้งสองชนิด คือ PSFFS และ RF มีราคาต่อกิโลกรัมต่ำกว่าราคาของหางเนยผง (แป้ง PSFFS ราคา 25 บาทต่อกิโลกรัม แป้ง RF ราคา 18 บาทต่อกิโลกรัม และหางเนยผง ราคา 41 บาทต่อกิโลกรัม) จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตอาหารต่ำกว่า และสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และสูตรที่ใช้ผลิตภัณฑ์ RF มีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่า จึงทำให้มีต้นทุนในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่ำกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้หางเนยผง ดังนั้นจึงสามารถใช้ผลิตภัณฑ์ PSFFS และ RF ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารของ ลูกสุกรอนุบาล เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้

สรุป

จากการศึกษาผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch จำนวน 2 ชนิด ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารสุกรอนุบาล สรุปได้ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ PSFFS (ส่วนผสมของแป้งบริสุทธ์และแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม) และ ผลิตภัณฑ์ RF (แป้งข้าวเจ้า) มีค่าองค์ประกอบทางโภชนาการคือ ผลิตภัณฑ์ PSFFS มีความชื้น เยื่อใย ถั่ว ไขมัน โปรตีนรวม เท่ากับ 11.0, 1.30, 1.20, 6.50 และ 13.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ RF มีความชื้น เยื่อใย ถั่ว ไขมัน โปรตีนรวม เท่ากับ 12.0, 1.00, 0.90, 1.00 และ 8.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 4,353.00 และ 4,178.00 Kcal/kg ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน เท่ากับ 83.32 และ 81.48 เปอร์เซ็นต์ และค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน เท่ากับ 84.18 และ 82.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. การใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทั้งสองชนิดทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารลูกสุกรอนุบาล 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของโภชนาการในอาหาร

3. ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch ทั้งสองชนิดสามารถนำมาใช้ทดแทนหางเนยผงในสูตรอาหารสุกรอนุบาลได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตโดยรวมของลูกสุกร

4. การเลี้ยงสุกรอนุบาลด้วยสูตรอาหารที่ใช้ผลิตภัณฑ์ hydrothermal starch สามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้ประมาณ 0.60 บาทต่อกิโลกรัม และลดต้นทุนค่าอาหารในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมได้ประมาณ 1-2 บาท

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีแป้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ดวงสมร ถินเจิมศิริ และอังคณา หาญบรรจง. 2532. การวิเคราะห์และการประเมินคุณภาพอาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทะนง ภัทรชพันธุ์. 2522. เอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นพดล อัดตนากุล. 2538. การใช้แป้งปลายข้าวและหัวเหลืองที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรักต์ในอาหารลูกสุกรหย่านม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2546. ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์. ธนบรรณการพิมพ์, เชียงใหม่.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2547. หลักการอาหารสัตว์: หลักโภชนศาสตร์และหลักการประยุกต์เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ลัดดา แก้วตา. 2549. ผลของรูปแบบอาหารและระดับมันสำปะหลังต่อกระบวนการอัดเม็ดการย่อยได้ของสารอาหารและสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สาโรช คำเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง พิมพ์ครั้งที่ 2. หจก. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น.

_____, และเขาวมาลย์ คำเจริญ. 2528. การใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์ สุกร เป็ด และไก่. วารสารเผยแพร่ ฉบับที่ 1 ชุมนุมนสหกรณ์ผู้เลี้ยงสุกร จำกัด, กรุงเทพฯ.

- Alcantara, P. E., E. D. Cordova, M. O. Vileta and M. E. Naldo. 1989. Substitution values of rice bran (D1) and rough rice (Palay) for corn in growing finishing swine rations. **J. Anim. Sci. Philipp.** 15. 1-11.
- Allen, R. D. 1985. **Feedstuffs ingredient analysis table.** Feedstuffs (1985 Reference Issue). 57: 25.
- Anonymous. 1985. **The use of full energy soybeans in poultry ration.** p 18. อ้างโดย นพดล อัดตนากุล. 2538. การใช้แป้งปลายข้าวและถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดในอาหารลูกสุกรหย่านม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- A.O.A.C. 1990. **Official Methods of Analysis.** 15th ed. Association of official; Analytical Chemist, Inc., Virginia.
- Aumaitre, A. and T. Corring. 1978. Development of digestive enzyme in the piglet from birth 8 wk. II. Intestine and intestinal disaccharidase. **Nutr. Metab.** 22: 224-255.
- _____, and A. Rerat. 1968. Digestive enzyme in piglets during weaning: Pancreatic lipase. **World Rev of Anim Prod.** 8: 54.
- Baylay, H. S. and J. D. Summers. 1975. Nutritional evaluation of extruded full-fat soybeans and rapeseeds using by pigs and chicken. Can. **J. Anim. Sci.** 55: 441
- Bjorck, I., T. Matoba and B. M. Nair. 1985. In vitro enzymatic determination of the protein nutritional value and the amount of available lysine in extruded cereal-based products. **Agric. Biol. Chem.** 49: 945-951.
- Bolin, D.W., R. P King and E.W. Klosserman. 1952. A simplified method for determination of chromic oxide when used as an index substance. **Science.** 116: 634-635.

- Choct, M. 2002. **Non starch polysaccharides: Effect on nutritive value**. CABI Pulb., Wallingford, UK.
- Corring, T., A. Aumaitre and G. Durand. 1978. Development of digestive enzymes in the piglet from birth to 8 weeks. I. pancreas and pancreatic enzyme. **Nutr. Metab.** 22: 231-243.
- Creswell, D. 1988. **Amino acid composition of feedgrade rice by-products from several countries**, pp. 474-479. In T.H. Applewhite., ed. Proc. World Congr. Veget. Protein Utilization in human foods and animal feedstuffs. American oil Chemists Society, Champaign, Illinois, U.S.A.
- Crenshaw, M. 1983. **Raw Soybeans in swine diets**. In “1983 Nebraska Swine Research Report, U.S.A.
- _____, and M. Danielson. 1985. **Raw soybean for gestation and lactation diets**. In “1985 Nebraska Swine Research Report, U.S.A.
- Cunningham, H. M. 1959. Digestion of starch and some of its degradation products by newborn pigs. **J. Anim. Sci.** 18: 964-975.
- Danielson, M. 1987. **Supplementing growing-finishing diets with roasted soybean**. In “1987 Nebraska Swine Research Report “ Univ. Nebraska, NE., U.S.A.
- Decuyper, J. A., A. Meeusen and H. K. Henderickx. 1981. Influence of the partial replacement of milk protein by soybean protein isolates with different physical properties on the performance and nitrogen digestibility of early-weaned pigs. **J. Anim. Sci.** 53: 1011-1018.
- Deman, JM. 1990. **Carbohydrate**. In : Principles of Food Chemistry. 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, Newyork.

- De Schutter, A. C. and J. R. Morris. 1990. **Soybean: Full fat**, pp. 439-452. In P. A. Thacker, and R. N. Kirkwood. Eds. Nontraditional Feed Source for Use in Swine Production. Butterworth Publ. MA., U.S.A.
- Dietz, G. N., C. V. Maxwell and D.S. Buchanann. 1988. Effect of protein source on performance of early weaned pigs. **J. Anim. Sci.** 66: 314 (Abstr.).
- Fapojuwu, O. O., J. A. Maga and G. R. Jansen. 1987. Effect of extrusion cooking on in vitro protein digestibility of sorghum. **J. Food Sci.** 52: 218-219.
- Faubion, J. M., R. C. Hoseney and P. A. Seib. 1982. Functionality of gain components in extrusion. **Cer. Fd. Wld.** 27(5): 212-215.
- Friesen, J. L., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, K. C. Behnke and L. J. Kats. 1993. The effect of moist extrusion of soy products on growth performance and nutrient utilization in the early weaned pigs. **J. Anim. Sci.** 71: 2099-2109.
- Hartman, P. A., V. W. Hays, R. O. Baker, L. H. Neagle and D. V. Catron. 1961. Digestive enzyme development in the young pig. **J. Anim. Sci.** 20: 114-123.
- Healy, B. J., J. D. Hancock, P. J. Bramel-Cox, Bb. T. Richert, C. F. Klopfenstein and M. D. Witt. 1990. Selection for increased in vitro digestibility improves feeding value of sorghum grain. **J. Anim. Sci.** 68 398. (Abstr.).
- Herkeman, K. L., S. L. Rodhouse, T. L. Veum and M. R. Ellersieck. 1990. Effect of extrusion on the ileal and fecal digestibilities of lysine in yellow corn in diets of young pigs. **J. Anim. Sci.** 68: 2414-2424.

- Hongtrakul, K., R. D. Goodband, K. C. Behnke, J. L. Nelssen, M. D. Tokach, J. R. Bergstrom, W. B. Nessmith, Jir and I. H. Kim. 1998. The effects of extrusion processing of carbohydrate sources on weanling pig performance. **J. Anim. Sci.** 76: 3034-3042.
- Hopwood, D. E., D. E. Pethick, J. R. Pluske and D. J. Hampson. 2004. Additional of pearl barley to a rice-based diet for newly weaned piglets increase the viscosity of the intestinal contents, reduces starch digestibility and exacerbates post-weaning colibacillosis. **Br. J. Nutr.** 9, 419-427.
- Johnston, S. L., S. L. Traylor, R. H. Hines, J. D. Hancock, K. C. Behnke and S. P. Sorrell. 1997. Expander condition of complex nursery diets affect growth performance of weanling pigs. **J. Anim. Sci.** 75: 72. (Abstr.).
- Juliano, B. O. 1992. Structure, chemistry and function of rice grain and its fractions. **Cereal Foods World.** 37: 772-779.
- Kearl, L. C. 1982. **Nutrient requirements of ruminants in developments countries.** In. Feedstuffs Insitute, Utah Agric. Exp. Sta., Utah State Univ., Utah.
- Kidder, D. E. and M. J. Manners. 1980. The level and distribution of carbohydrates in the small intestine mucosa of pigs from 3 weeks of age to maturity. **Br. J. Nutr.** 43: 141-153.
- Kirchgessner, M. 1984. **Tieremahrung.** 6th ed. DLG-Verlag, Frankfurt, Germany.
- Lawlor, P. G., G. P. Lynch, P. J. Caffrey and V. O'Doherty. 2003. Effect of cooking wheat and maize on the performance of newly weaned pigs. 1. Age and weight at weaning. **J. Anim. Sci.** 76: 251-261.

- Li, D. F., J. L. Neleen, P. G. Reddy, F. Blecha, R. D. Klemm, D. W. Giesting J. D. Hancock, G. L. Allee and R. D. Goodband. 1991. Measuring suitability of soybean products for early weaned pigs with immunological criteria. **J. Anim. Sci.** 69: 3299-3307.
- Li, J., L. Defa, Y. Yin, X. S. Piao, J. H. He, G. P. Chen and J. C. Shu. 2004. Performance, nutrient digestibility and intestinal disaccharidase activity of weaner / grower pig given diet containing extruded Chinese store brown rice with exogenous enzyme supplement. **J. Anim. Sci.** 79: 429-438.
- Li, T. J., R. L. Haung, G. Y. Wu, Y. C. Lin, Z. Y. Jiang, X. F. Kong, W. Y. Chu, Y. M. Zhang, P. Kang, Z. P. Hou, M. Z. Fan, Y. P. Liao and Y. L. Yin. 2007. Growth performance and nitrogen metabolism in weaned pigs fed diets containing different sources of starch. **Livest. Sci.** 109: 73-76.
- Mateos, G. G., F. Martin, M. A. Latorre, B. Vicente and R. Lazaro. 2007. The effect of inclusion of oat hulls in pig diets based on raw or cooked rice and maize. **Anim. Feed Sci. Technol.** 135: 100-112.
- Mathews, C.J., R. J. MacLeod, S. X. Zheng, J. W. Hanrahan, H. P. Bennett and J. R. Hamilton. 1999. Characterization of the inhibitory effect of boiled rice on intestinal chloride secretion in guinea pig crypt cells. **Gastroenterology.** 116: 1342-1347.
- McDonald, D. E., D. W. Pethick, J. R. Pluske and D. J. Hampson. 1999. Adverse effects of soluble non-starch polysaccharide (gaur gum) on piglet growth and experimental colibacillosis immediately after weaning. **Res. Vet. Sci.** 67: 245-250
- McNab, J. 1985. **Determination of the nutritional value of processed full fat soybeans for poultry.** Proc. Onidol-cis Symposium, III Congres sur le soja. Paris, Fance.

- McNaughton, J. L. 1985. **Feed quality control**. The American soybean Association, pp. 56-57.
 อ้างโดย นพวรรณ ไชยานุกลิตติ. ม.ป.ป. การใช้ถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธีต่างๆ เป็นอาหาร
 เสริมโปรตีนเลี้ยงลูกสุกรหย่านมก่อนกำหนด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย
 เกษตรศาสตร์.
- Medal, P., M. A. Lactorre, J. C. de Blas, R. Lazaro and G. G. Mateos. 2004. Heat processing of
 cereals in mass or pellet diets for young pigs. **Anim. Feed Sci. Technol.** 113: 127-140.
- Mercier, C. 1980. **Structure and digestibility alteration of cereal starches by twin screw
 extrusion cooking**. In: P. Linli, Y. Malkki, J. Olkku and J. Larinkari (Ed.) Food process
 Engineering. Vol. I. Food Process System. pp 795-807. Applied Science Publishers,
 New York.
- Morey, D. D. and J. J. Evans. 1983. Amino acid composition of six grains and winter wheat
 forage. **Cer. Chem.** 60: 461. (Abstr)
- Muskatas, G. O., E. L. Griffin, Jr., L. E. Allen and O. B. Smith. 1964. Production and nutritional
 evaluation of extrusion-cooked full-fat soybean flour. **J. of the Amer Oil Chemist Soci,**
 41 (9): 607-614.
- NRC. 1994. **Nutrient Requirements of Poultry**. 9th ed. National Academy of Sciences
 National Academy Press, Washington, D.C.
- _____. 1998. **Nutrient Requirements of Swine**. 10th ed. National Academy Press,
 Washington, D.C.
- Noland, P. R., D. R. Cambell, R. K. Gage, Jr., R. N. Sharp and Z. B. Johnson. 1976. Evaluation
 of processed soybeans and grains in diets for young pigs. **J. Anim. Sci.** 43: 763-769.

Papadopoulos, G. 1986. **The use of extruded fullfat soybeans in the diets of growing-prefattening pigs.** American Soybean Association. Brussels, Belgium.

Peisker, M. 1994. An expander on weat bran in piglets rations. **Extrusion communiqué.** 7 (2): 18-21.

Pond, W. G. and J. H. Maner. 1984. **Swine production and nutrition.** The AVI Publishing Co., Westport, Connecticut, U.S.A.

Pluske, J. R., B. Black, D. W. Pethick, B. P. Mullan and D. J. Hampson. 2003. Effects of different sources and levels of dietary fiber in diets on performance, digesta characteristics and antibiotic treatment of pigs after weaning. **Anim. Feed Sci. Technol.** 107: 129-142.

_____, Z. Durmic, D. W. Pethick, B. P. Mullan and D. J. Hampson. 1998. Confirmation of the role of rapidly fermentable carbohydrate in the expression of swine dysentery in pig after experimental infection. **J. Nutr.** 128: 1737-1744.

_____, D. W. Pethick, D. E. Hopwood and D. J. Hampson. 2002. Nutritional influences on some major enteric bacterial disease of pigs. **Nutr Res Rev.** 15: 333-371.

Rackis, J. J. and M. R. Gumbmann. 1981. **Protease inhibitors: Physiological properties and nutritional significance,** pp. 203-207. *In* L. O. Robert (ed.). Antinutrients and natural toxicants in foods. Food and Nutrition Press, Inc., Westport, Connecticut.

Rudolph, B. C., L. S. Boggs, D. A. Knabe, T. D. Tanksley, Jr. and S. A. Anderson. 1983. Digestibility of nitrogen and amino acids in soybean products for pigs. **J. Anim. Sci.** 57: 373. (Abstr)

SAS. 2003. **SAS/STAT User' Guide.** SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.

- Sagum, R. and J. Arcot. 2000. Effect of domestic processing method on the starch, non-starch polysaccharides and in vitro starch and protein digestibility of three varieties of rice with varying level of amylose. **Food Chem.** 70: 107-111.
- Sauer, W. C., R. Mosenthin and A. B. Pierce. 1990. The utilization of pelleted, extruded and repelleted diets by early weaned pigs. **Anim. Feed Sci Tech.** 31: 269.
- Slaughter, S. L., P. R. Ellis and P. J. Butterworth. 2001. An investigation of the action of porcine pancreatic enzyme α -amylase on native and gelatinize starches. **Biochem. Biophys. Acta.** 1525: 29-36.
- Sohn, K. S. and C. V. Maxell. 1990. Effect of source of dietary protein on performance of early weaned pigs. **Oklahoma Exp. Sta.** Mp 129: 288.
- Tester, F., J. Karkalas and X. Qi. 2004. Starch-composition, fine structure and architecture. **J. Cereal Sci.** 39: 151-165.
- Tishenko, P. I., A. M. Sovol' en and O. L. Ivanova. 1985. Productivity and metabolic variables in young pigs in relation to weaning age and technology of feed preparation. **Byulleten' Vsesoyuznogo.** 78: 20.
- Tsen, C. C., E. P. Farrell, W. J. Hoover and P. R. Crowley. 1975. Extruded soy product from whole and dehulled soybeans cooked at various temperatures for bread and cookie fortification. **Cer. Fd. Wld.** 20: 413-418.
- Traylor, S. L., S. L. Johnnton, K. C. Behnke, J. D. Hancock, P. Sorrell, F. J. Fairchild and R. H. Hines. 1997. Condition during expander processing affect nutrient digestibility in finishing pigs fed corn and sorghum-base diets. **J. Anim. Sci.** 75 (Suppl. 1): 64. (Abstr.)

- Vanderpoel, A. F. B., Den Hartog, Th. Van Den Abeele, H. Boer and D. J. Van Zuilichem. 1989. Effect of infrared irradiation or extrusion processing of maize on its digestibility in piglets. **Anim. Feed Sci. and Tech.** 26: 29-43.
- Vanderputte, G. E. and J. A. Delcour. 2004. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: A focus on rice starch. **Carbohydr. Polym.** 58: 245-266.
- Vicente, B., D. G. Valencia, R. Lazaro, M. P. Serrano and G. G. Mateos. 2005. Use of rice in substitution of corn in diets for young pigs. **J. Anim. Sci.** 83 (Suppl. 1): 334
- _____,_____, M. Perez-serrano, R. Lazaro and G. G. Mateos. 2008. The effect of feeding rice in substitution of corn and the degree of starch gelatinization of rice on the digestibility of dietary components and productive performance of young pigs. **J. Anim. Sci.** 86: 119-126.
- Voet, D. and J. G. Voet. 1995. **Biochemistry.** 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Walker, W. R., C. V. Maxwell, F. N. Owens and D. S. Buchanan. 1986. Milk versus soybean protein sources for pigs: I. Effects on performance and digestibility. **J. Anim. Sci.** 63: 505.
- Wiseman, J. 1984. **Feed International.** Feb. 1994. p. 14.
- Yang, L. F., D. T. Chen and A. Hsu. 1992. Effect of rice grain on performance, carcass characteristics and nutrient digestibility on growing-finishing pig feed pellet diet. **J. Livest. Res. Taiwan.** 25: 189-196.
- Young, L. G. and G. C. Smith. 1973. Processing soybeans with sodium hydroxide and coppersulfate for pigs. Can. **J. Anim. Sci.** 53: 587.

ภาคผนวก

วิธีการวิเคราะห์หาโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารและมูล

อุปกรณ์

1. เตาหย่อย (Kjeldahl apparatus)
2. เตาหลอมพลาสติก (Kjeldahl flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
3. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50, 100 และ 1000 มิลลิลิตร
4. กรวยกรอง (funnel)
5. กระดาษกรอง (filter paper) เบอร์ 40
6. เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย (spectrophotometer)

สารเคมีที่ใช้

1. สารโซเดียมโมลิบเดต
2. กรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์
3. กรดเปอร์คลอริกความเข้มข้น 70-72 เปอร์เซ็นต์

การเตรียมสารเคมี

1. สารออกซิไดซิงรีเอเจนต์ (oxidizing reagent)

ชั่งโซเดียมโมลิบเดต (sodium molybdate) 23.50 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร นำไปวางลงในอ่างน้ำเย็น จากนั้นค่อยเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ 300 มิลลิลิตร แบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร (พัก 5-10 นาที แล้วค่อยใส่ครั้งต่อไป) โดยค่อยๆ เทลงตามขอบของขวดวัดปริมาตร เสร็จแล้วเติมกรดเปอร์คลอริก (HClO_4) ความเข้มข้น 70-72 เปอร์เซ็นต์ 400 มิลลิลิตร แบ่งใส่ครั้งละ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำมาใช้

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการย่อย

1.1 ชั่งตัวอย่างใส่เจตาห์พลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร โดยชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 1.5 กรัม และชั่งตัวอย่างมูลประมาณ 0.5 กรัม

1.2 เติมน้ำละลายออกซิไดซิงรีเอเจนต์ 12 มิลลิลิตร

1.3 นำไปย่อยบนเตาย่อยด้วยไฟปานกลางจนสารเป็นสีเหลืองหรือสีส้มและมีไอน้ำเกาะบริเวณผิวด้านในของหลอด ในขณะที่ย่อยทำการเขย่าพลาสติกเป็นครั้งคราว เพื่อให้ตัวอย่างที่ติดอยู่รอบๆพลาสติกถูกย่อยจนสมบูรณ์ จากนั้นนำออกมาใส่ช่องดูดควัน ทิ้งไว้ให้เย็น

1.4 เติมกรดเปอร์คลอริก 3 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยต่ออีกครั้งจนปรากฏไอน้ำบริเวณผิวด้านในของพลาสติก ทิ้งไว้สักครู่ จึงนำออกมาใส่ช่องดูดควัน ทิ้งไว้ให้เย็น

2. ขั้นตอนปรับปริมาตร

เทสารละลายที่ได้จากการย่อยลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร นิดล้างด้วยน้ำกลั่น 3-4 ครั้ง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

3. ขั้นตอนการกรอง

กรองสารละลายที่ปรับปริมาตรแล้วด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40

4. ขั้นตอนการวัดค่าการดูดกลืนแสง

นำสารละลายที่กรองแล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank โดยปรับค่าการดูดกลืนแสงของ blank ให้เป็นศูนย์ด้วยการตั้ง auto zero

5. ขั้นตอนการคำนวณ

จากวิธีการดังกล่าวเราสามารถคำนวณหาปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในตัวอย่างอาหาร และมูลที่ได้จากการทดลอง ดังสมการ

$$\text{ปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{A \times EF \times \text{mlAl} \times 1000}{1000 \times W}$$

A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

mlAl = ปริมาตรของสารละลายที่ได้หลังจากขั้นตอนการปรับปริมาตร

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ย่อย

EF = $\frac{\text{ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโครมิกซ์ออกไซด์ระดับต่างๆ จากการทำ standard curve}}{\text{ค่าการดูดกลืน}}$

หมายเหตุ ค่า EF โดยปกติมีค่า 389-400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวศุภวรรณ กิตขันธ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	29 เมษายน 2528
สถานที่เกิด	จ. สุราษฎร์ธานี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตสัตว์) มหาวิทยาลัยทักษิณ (พ.ศ. 2550)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-