



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์

สัตวบาล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ดอาหาร  
การย่อยได้ของโภชนะและสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล

Effects of Corn Particle Size and Feed Pellet Size on Pellet Processing, Nutrient  
Digestibility and Performance of Weanling Pigs

นามผู้วิจัย นางสาวอรัญ ลิ้นถ้ายี่

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาคมานุกร, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐชนก อมรเทวภัทร, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาคมานุกร, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ดอาหาร  
การย่อยได้ของโภชนะ และสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล

Effects of Corn Particle Size and Feed Pellet Size on Pellet Processing,  
Nutrient Digestibility and Performance of Weanling Pigs

โดย

นางสาวอรทัย ลิ่นฤทัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

พ.ศ. 2552

อรรถัย ลีนฤณี 2552: ผลของขนาดอนุภาคของข้าวโพด และขนาดของเมล็ดอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ดอาหาร การย่อยได้ของโภชนะ และสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D. 74 หน้า

การวิจัยเปรียบเทียบผลของขนาดอนุภาคของข้าวโพด และขนาดของเมล็ดอาหาร ต่อกระบวนการอัดเม็ดอาหาร ค่าการย่อยได้ของโภชนะและสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาคือขนาดอนุภาคของข้าวโพดที่บดผ่านรูดะแกรงขนาด 2 และ 3 มม. และปัจจัยด้านขนาดของเมล็ดอาหารคือที่ขนาด 2.8 และ 3.8 มม. การศึกษาด้านกระบวนการอัดเม็ดพบว่า การบดข้าวโพดผ่านตะแกรงขนาด 2 และ 3 มม. ส่งผลให้ได้ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 644 และ 773 ไมครอน ตามลำดับ ( $P<0.05$ ) และไม่พบปฏิกริยาร่วมของทั้งสองปัจจัยต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า แต่พบว่าขนาดเมล็ดอาหารมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยกระบวนการอัดเม็ดอาหารขนาด 3.8 มม. ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า ( $P<0.01$ ) และให้ประสิทธิภาพในการผลิตข้าวโม่งสูงกว่าการอัดเม็ดอาหารขนาด 2.8 มม.นอกจากนั้นพบว่าอาหารที่มีขนาด 3.8 มม. ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน ทำให้ต้นทุนในการผลิตอาหารต่ำที่สุด สำหรับการศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะในอาหารสุกรอนุบาลใช้สุกรอนุบาลทำการทดลองจำนวน 24 ตัว น้ำหนักประมาณ 8-9 กิโลกรัม เลี้ยงในกรงเมแทบอลิซึมเป็นเวลา 14 วัน ผลการศึกษาพบว่า มีปฏิกริยาร่วมของขนาดอนุภาคของข้าวโพด และขนาดของเมล็ดอาหารต่อค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหาร โดยอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน และ อัดเม็ดอาหารขนาด 2.8 มม. มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหารต่ำที่สุด ( $P<0.05$ ) และพบว่า อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหาร ( $P<0.05$ ) และ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนมากกว่า ( $P<0.05$ ) อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน ทางด้านการศึกษาสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาลในสุกรอนุบาลแยกเพศจำนวน 1,488 ตัว (ตัวผู้ตอน 744 ตัว, ตัวเมีย 744 ตัว) น้ำหนักประมาณ 9-11 กิโลกรัม แบ่งกลุ่มการศึกษาออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำๆ ละ 62 ตัว สุกรทั้งหมดถูกเลี้ยงในโรงเรือนระบบปิด เป็นเวลา 32 วัน ผลการศึกษาไม่พบปฏิกริยาร่วมของขนาดอนุภาคของข้าวโพด และขนาดของเมล็ดอาหาร แต่พบว่าขนาดอนุภาคของข้าวโพดมีอิทธิพลต่อสมรรถภาพการผลิตสุกรอนุบาล โดยสุกรอนุบาลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาด 644 ไมครอน มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่า ( $P<0.05$ ) และต้นทุนอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม น้อยกว่า ( $P<0.05$ ) กลุ่มสุกรอนุบาลที่ได้รับอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน โดยกลุ่มสุกรที่ได้รับอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน และขนาดของเมล็ดอาหาร 3.8 มม. มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวและต้นทุนอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ของสุกรอนุบาลต่ำที่สุด

Orathai Linruesee 2009: Effects of Corn Particle Size and Feed Pellet Size on Pellet Processing, 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. 74 pages.

Three experiments were conducted in order to determine the effects of corn particle size (2 and 3 mm. diameter hammer mill sieve screen) and feed pellet size (2.8 and 3.8 mm. diameter) on pellet processing characteristics, feed nutrient digestibility and growth performance of weanling pigs. Grinding corn with 2 and 3 mm. diameter hammer mill sieve screen produced the average corn particle size of 644 and 773 microns, respectively. Feed pellet size of 3.8 mm. showed lower in energy consumption and better in production capacity compared to 2.8 mm. feed pellet size. No interaction between corn particle size and feed pellet size was observed in any pellet processing characteristics. Nevertheless, the combination of 3.8 mm. feed pellet size and 773 microns of ground corn had the lowest pellet processing cost. Twenty four weanling pigs with average body weight between 8-9 kg. were placed to individual metabolic cage and subjected to 4 dietary treatments for 14 days. The results indicated that ground corn with 773 microns particle size had higher ( $p < 0.05$ ) in feed's apparent metabolizable energy (AME) and apparent protein digestibility compared to 644 microns ground corn. However, feed contained 773 micron ground corn with 2.8 mm. pellet size showed the lowest in dietary AME compared to the other combinations. One thousand and eighty eight weanling pigs (744 castrated and 744 female weanling pigs) with the average body weight between 9-11 kg. were randomly assigned to 4 dietary treatments. Each treatment consisted of 6 replications with 62 weanling pigs per replication. All the weanling pigs were raised in evaporative cooling house for 32 days. Weanling pigs fed diet with 644 microns ground corn had better ( $p < 0.05$ ) feed conversion rate and feed cost per gain compared to these fed 773 microns ground corn. The combination of 644 microns ground corn and 3.8 mm. pellet size showed better feed conversion rate and the lowest feed cost per gain compared to the other groups.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสม อาคมามงกูร อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวเรศ เรืองพานิช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชนก อมรเทวกัทร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และอาจารย์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านการศึกษาและให้คำแนะนำและข้อคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ และยังได้ช่วยเรียบเรียงและแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นซึ่งส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ นายสัตวแพทย์ชนพลิส เสริมศักดิ์ศศิธร ที่ให้โอกาสในการศึกษา ตลอดจน เจ้าหน้าที่และพนักงานทุกท่านใน บ.พนัส โภคภัณฑ์ จำกัด และ บ.ฟาร์มสุกรพนัส โภคภัณฑ์ จำกัด จ.ชลบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ คณะ อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่ให้คำปรึกษา แนะนำการวิเคราะห์ ขนาดอนุภาคของข้าวโพด และเจ้าหน้าที่สถานีวิจัยทับทิม มหาวินิจฉัยเกษตรศาสตร์ จ.สระบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือในการเลี้ยงสุกรเพื่อศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อคำจันทร์ คุณแม่พรรณฉวี ลิ่นฤทัย นายกฤษณ์พงษ์ พิภพเจริญ เด็กหญิง กิรติกา พิภพเจริญ และเพื่อนร่วมงานบริษัทพนัส โภคภัณฑ์ จำกัด ที่ให้กำลังใจในการปฏิบัติงาน รวมถึง น้องๆ นิสิตปริญญาโท ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี เป็นกำลังสำคัญในการปฏิบัติงาน จาก ความตั้งใจและความพยายามในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่บิดา มารดา ที่ข้าพเจ้าเคารพรัก เป็นอย่างยิ่ง และ เด็กหญิงกิรติกา พิภพเจริญ บุตรสาวผู้เป็นกำลังใจสำคัญที่สุดในชีวิต

อรทัย ลิ่นฤทัย

พฤษภาคม 2552

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการทดลอง	29
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	42
สรุปผลการทดลอง	60
ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	62
ภาคผนวก	68
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	74

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบทางโภชนาการของข้าวโพด สำหรับสุกร	4
2	เปรียบเทียบขนาดตะแกรงที่มีการใช้สำหรับบดอาหาร	7
3	ขนาดของข้าวโพดจากตะแกรงขนาดต่างๆ ของเครื่องแฮมเมอร์มิลล์	11
4	ผลของขนาดของอนุภาคข้าวโพดบด ต่อค่าการย่อย ของสารอาหารได้ในสุกร	14
5	ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบต่อการเจริญเติบโตของสุกร	15
6	ขนาดของข้าวโพดและข้าวฟ่างที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบด และการอัดเม็ด	17
7	ขนาดของข้าวโพด ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบด การอัดเม็ด และความ คงทนของเม็ดอาหาร	18
8	ผลของลักษณะเม็ดอาหารต่อประสิทธิภาพการผลิตสุกร	23
9	แสดงขนาดของเม็ดอาหารที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตของสุกร	24
10	ประสิทธิภาพในการผลิตอาหารสุกรอัดเม็ดที่มีขนาดเส้น ผ่าศูนย์กลาง 3 และ 4 มม.	25
11	ผลของขนาดข้าวโพดและลักษณะของอาหารที่มีต่อประสิทธิภาพ การผลิตสุกรขุน และค่าการย่อยได้ของ โภชนะ	27
12	องค์ประกอบวัตถุดิบของอาหารทดลองและคุณค่าทาง โภชนะที่ได้จากการคำนวณ	31
13	วิธีการให้อาหาร การเก็บมูล และปัสสาวะ	35
14	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง	42
15	ผลของขนาดตะแกรงบดที่มีต่อประสิทธิภาพการบดข้าวโพด	43
16	อุณหภูมิ ความชื้น ในการผลิตอาหารสุกรอนุบาลและความหนาแน่นของ อาหารอัดเม็ด	47
17	สมรรถภาพการผลิตอาหารสุกรอนุบาล	49
18	ผลวิเคราะห์ ค่าการย่อยได้ ของโภชนะ	53
19	ประสิทธิภาพการผลิตสุกรอนุบาล	56

**สารบัญตาราง (ต่อ)**

ตารางผนวกที่	หน้า
1      อนุกรมสำหรับวิเคราะห์วัตถุบอาหารสัตว์และอาหารสัตว์	70
2      ผลการวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทางโภชนะของมูลสุกร	72
3      ปริมาณอาหาร และมูลของสุกร ที่ศึกษาค่าการย่อยได้ ในระยะเวลา 5 วัน	73
4      ผลวิเคราะห์พลังงานที่สันดาปได้ในอาหาร มูล และ ปัสสาวะ	73

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะหัวค้อน 4 แฉก ในเครื่องแฮมเมอร์มิลล์	10
2	ตะแกรงบดแฮมเมอร์มิลล์	11
3	ผลของอนุภาคข้าวโพดต่อประสิทธิภาพการผลิตบด	16
4	อาหารอัดเม็ดขนาดต่างๆ และอาหารผง	19

ผลของขนาดอนุภาคของข้าวโพด และขนาดของเม็ดอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ด  
อาหาร การย่อยได้ของโภชนะ และสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล

**Effects of Corn Particle Size and Feed Pellet Size on Pellet Processing,  
Nutrient Digestibility and Performance of Weanling Pigs**

คำนำ

การเลี้ยงสุกรในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะเลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูป เนื่องจากกระบวนการอัดเม็ดอาหารทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของอาหารมากขึ้น ประสิทธิภาพการผลิตของสุกรที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดยังมีค่าสูงกว่าอาหารผง ทั้งนี้สืบเนื่องจากการอัดเม็ดจะทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของพลังงาน และโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น (Pond and Maner, 1984) ซึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์อัดเม็ดจำเป็นต้องบดก่อนเพื่อลดขนาดของวัตถุดิบให้มีขนาดใกล้เคียงกัน การบดเป็นการปรับเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เป็นการเพิ่มการย่อยได้ของสารอาหารเนื่องจากช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ทำให้เอนไซม์สามารถทำการย่อยได้มากขึ้น ทำให้สามารถผสมอาหารเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย และเพิ่มประสิทธิภาพในการอัดเม็ด การเลี้ยงสุกรจึงนิยมใช้อาหารเม็ดที่ประกอบด้วยวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผ่านการบดจนมีความละเอียดมาก มาใช้ในการประกอบสูตรอาหารของสุกร ระยะเลียงรางและอาหารสุกรระยะเล็ก (pre-starter) อย่างไรก็ตามการบดที่ละเอียด มีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มมากขึ้น ใช้เวลาในการบดนานขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการผลิตต่อวันลดลง นอกจากนี้ในด้านของสมรรถภาพการผลิตพบว่า การเลี้ยงสุกรด้วยอาหารเม็ดที่ประกอบด้วยวัตถุดิบที่ละเอียดมากนั้น จะส่งผลให้เกิดความผิดปกติของกระเพาะอาหารในส่วนของกาเกิดแผลหลุม (ulceration) และ การเกิดคีราตินปกคลุม (keratinization) (Regina *et al.*, 1999)

นอกจากขนาดของอนุภาควัตถุดิบแล้ว พบว่าขนาดของอาหารอัดเม็ดยังมีผลให้เกิดความแตกต่างต่อต้นทุนการผลิตด้วยเช่นกัน โดยพบว่าในการอัดเม็ดอาหารที่มีขนาดใหญ่ จะมีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าอาหารที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงขนาดของอาหารเม็ดและขนาดของวัตถุดิบที่เหมาะสม สำหรับการผลิตอาหารสุกร โดยในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการศึกษาผลของขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ดอาหาร การย่อยได้ของโภชนะและสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล เพื่อให้สามารถผลิตสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหาร ต่อประสิทธิภาพการอัดเม็ดอาหาร
2. เพื่อศึกษาผลของขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหาร ต่อค่าการย่อยได้ของโภชนะในสุกรอนุบาล
3. เพื่อศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล

## การตรวจเอกสาร

### ข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในอาหารสัตว์ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือข้าวโพดไร่ (field com) ที่รู้จักในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ ข้าวโพดหัวบุบหรือหัวนุ่ม (dent com) และข้าวโพดหัวแข็ง (flint com) ซึ่งเป็นการเรียกตามลักษณะของเมล็ด ข้าวโพดหัวบุบมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซี เมย์ส อินเดนทาตา (*Zea mays indentata*) เมื่อเมล็ดแห้งตรงส่วนหัวด้านบนสุดจะมีรอยบุ๋มลงไป ซึ่งเป็นส่วนของแป้งสีขาว (white starch) สีของเมล็ดอาจเป็นสีขาว สีเหลือง หรือสีอื่นๆ แล้วแต่สายพันธุ์ นิยมปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา และข้าวโพดหัวแข็ง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซี เมย์ส อินดูราตา (*Zea mays indurata*) ส่วนบนสุดของเมล็ดมีสีเหลืองและเมื่อแห้งจะแข็งมากมีปลูกกันมากในเอเชีย และอเมริกาใต้ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่คนไทยนิยมปลูกกันอยู่เป็นข้าวโพดชนิดหัวแข็ง (พันทิพา, 2539)

ข้าวโพดที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ของโลก ในปี พ.ศ.2551/52 คาดว่า ผลผลิตโลกมี 785.25 ล้านตัน ลดลงร้อยละ 0.87 จากปี พ.ศ. 2550/51 เนื่องจากสหรัฐอเมริกาลดพื้นที่ปลูก ร้อยละ 7.2 สหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิตอันดับ 1 และจีนเป็นผู้ผลิตอันดับ 2 ของโลก ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปีพ.ศ. 2551/52 จะมีความต้องการประมาณ 800.37 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 3.03 เนื่องจากประเทศสหรัฐอเมริกามีนโยบายใช้ข้าวโพดทำเอทานอลเพิ่มขึ้น โดยในปีพ.ศ. 2551/52 มีแผนการใช้ข้าวโพด ร้อยละ 33 ของผลผลิตทั้งหมดเพื่อผลิตเอทานอล ซึ่งเพิ่มจากปีที่ผ่านมาใช้ ร้อยละ 26 นอกจากนี้ ประเทศอาร์เจนตินา บราซิล จีน เม็กซิโก อินโดนีเซีย มีความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ผลผลิตส่วนใหญ่จะใช้ในประเทศผู้ผลิต ส่วนในประเทศไทย ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร คาดว่า ในปี พ.ศ. 2551/52 มีผลผลิตรวม 3.74 ล้านตันเพิ่มขึ้นจากปีก่อน ร้อยละ 1.77 โดยแหล่งผลิตสำคัญ ได้แก่ จังหวัดเพชรบูรณ์ นครราชสีมา ตาก ลพบุรี นครสวรรค์ เชียงราย อุทัยธานี สระแก้ว พิษณุโลก เลย มีผลผลิตคิดเป็นร้อยละ 75 ของทั้งประเทศ ผลผลิตเฉลี่ย ไร่ละ 600 - 630 กิโลกรัม ความต้องการใช้ในประเทศมี 3.867 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปีที่แล้วร้อยละ 0.99 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ออกสู่ตลาดมากในช่วงเดือนกันยายน - ธันวาคม คิดเป็นสัดส่วน ร้อยละ 85 ของผลผลิตทั้งปี (สมาคมผู้ผลิตปลาป่น, 2552)

วิธีการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใช้ได้หลายรูปแบบ แต่ข้าวโพดที่เหมาะสมแก่การใช้เป็นอาหารสัตว์ ควรเป็นข้าวโพดในลักษณะบด ก่อนนำมาเลี้ยงสัตว์จึงต้องบดก่อนเพื่อให้การย่อยและการผสมได้ผลดีขึ้น เมล็ดข้าวโพดบด (ground com, cracked com หรือ corn meal) คือ เมล็ดข้าวโพดที่สีออกจากฝักแล้ว

นำมาบดหรือทำให้แตกออก การบดไม่ควรบดให้ละเอียดเกินไป ข้าวโพดที่บดแล้วจะเก็บไว้ได้นาน ต้องมีความชื้นไม่เกิน 12% ข้าวโพดบดสามารถใช้ผสมอาหารได้ดีถึง 70 - 80% โดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ (พันทิพา, 2539)

### คุณค่าทางโภชนาการของข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในอาหารสัตว์ มีแป้ง 65% มีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy , ME) สูง แต่มีคุณภาพโปรตีนค่อนข้างต่ำ เนื่องจากขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นคือ ไลซีน และทริปโตเฟน (พันทิพา, 2539) มีเยื่อใยต่ำ จึงมีค่าการย่อยได้สูงอีกทั้งข้าวโพดมีไขมันอยู่สูงประมาณ 3 - 6% เมื่อเปรียบเทียบกับธัญพืชอื่นๆ คุณค่าทางโภชนาการของข้าวโพดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางโภชนาการของข้าวโพดสำหรับสุกร

รายการ	ส่วนประกอบ (as fed basis)
ความชื้น (%)	11.00
พลังงานที่ย่อยได้ (kcal/kg)	3,525
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg)	3,420
พลังงานสุทธิ (kcal/kg)	2,395
โปรตีน (%)	8.30
ไขมัน (%)	3.90
เยื่อใยที่ไม่ถูกย่อยด้วยสารละลายที่เป็นกลาง (%)	9.60
เยื่อใยที่ไม่ถูกย่อยด้วยกรด (%)	2.80
แคลเซียม (%)	0.03
ฟอสฟอรัส (%)	0.28
ไลซีน (%)	0.26
ทริปโตเฟน (%)	0.06
ทรีโอนีน (%)	0.29
เมทไธโอนีน (%)	0.17

ที่มา: NRC, 1998

## การบดวัตถุดิบ

การบดวัตถุดิบอาหารคือ การทำให้วัตถุดิบอาหารหรือวัสดุต่างๆ มีขนาดชิ้นเล็กลง การลดขนาดของวัตถุดิบทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ การบดเป็นการลดขนาดของวัตถุดิบด้วยอุปกรณ์ใช้แรงกระทำด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน เพื่อให้ได้มาซึ่งความสม่ำเสมอของวัตถุดิบอาหารสัตว์

การบดเป็นการแปรรูปวัตถุดิบอาหารที่ใช้บ่อยที่สุดและมีราคาถูกที่สุดวิธีหนึ่ง (สาโรช, 2547) ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ การบดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการประกอบสูตรอาหาร ส่วนใหญ่เป็นผลผลิตจากการเกษตร เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง และส่วนที่เหลือจากอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน จำเป็นต้องมีการแปรสภาพให้มีขนาดเล็กลง และมีขนาดใกล้เคียงกันก่อน จึงจะผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเฉพาะข้าวโพดมีขนาดเมล็ดใหญ่มีความจำเป็นต้องทำให้มีขนาดเล็กลงได้ขนาดตามที่ต้องการ เพื่อที่จะสามารถทำการผสมอาหารให้เข้ากันได้อย่างทั่วถึง มีลักษณะทางกายภาพของอาหารที่ดี ไม่เกิดการแยกชั้นกันของอาหารและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ซึ่งจะส่งผลต่อสมรรถภาพของการผลิตของสัตว์

## วัตถุประสงค์ของการบด

1. เพิ่มการย่อยได้ การบดเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบ ทำให้เอนไซม์เข้าย่อยได้มากขึ้น
2. ผสมวัตถุดิบอาหารสัตว์ให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ดี เนื่องจากการบดทำให้ขนาดของวัตถุดิบเล็กลง และมีความสม่ำเสมอ ทำให้สัตว์ไม่สามารถเลือกกินวัตถุดิบอาหารสัตว์เฉพาะชนิดสัตว์จึงได้รับอาหารที่คุณค่าทางอาหารสม่ำเสมอครบถ้วน
3. เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการอาหารให้ง่ายขึ้นเนื่องจากวัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก จะสามารถลดความชื้นได้ง่ายทำให้วัตถุดิบมีความชื้นต่ำ ง่ายต่อการจัดเก็บ เพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของอาหารอัดเม็ด (สาโรช, 2547)

## ขนาดอนุภาคของวัตถุคิบ

ขนาดของวัตถุคิบอาหารสัตว์ที่ผ่านการบดรูปร่างของวัตถุคิบจะไม่แน่นอนทั้งรูปทรงและขนาดปัจจุบันจึงนิยมใช้การร่อนผ่านตะแกรงตามวิธีของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้จำแนกขนาดของวัตถุคิบอาหารสัตว์ที่สามารถผ่านตะแกรงเบอร์ต่างๆ โดยให้ค่าเฉลี่ยไว้ดังนี้

Coarse คือ อนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 3/8 , 4, 8 mesh (หยาบหรือขนาดใหญ่)

Medium คืออนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 14 และ 28 mesh (ขนาดปานกลาง)

Fine คืออนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 48 และ 100 mesh (ละเอียด) (พันทิพา, 2539)

อย่างไรก็ตาม ในการบดแต่ละครั้ง วัตถุคิบมักจะแตกออกมาได้หลายขนาด และหลายรูปทรง จึงทำให้ไม่สามารถระบุชัดเจนว่าเป็นขนาดอนุภาคที่ละเอียดหรือหยาบ

ในการบดวัตถุคิบอาหารสามารถกำหนดขนาดของอนุภาคอาหารได้โดยการเลือกชนิดของรูตะแกรง American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 1983) รายงานว่า การระบุขนาดของอนุภาควัตถุคิบอาหารมักระบุเป็นค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิตของอนุภาค (geometric mean diameter: GMD หรือ  $D_{gw}$ ) ซึ่งมีหน่วยในการวัดเป็นไมครอน และวัดค่าความสม่ำเสมอทางเรขาคณิตของอนุภาคตัวอย่างที่บด (geometric standard deviation: GSD หรือ  $S_{gw}$ ) โดยที่

$$1 \text{ ไมครอน} = \frac{1}{1,000,000} \text{ เมตร}$$

$$\text{ดังนั้น } 1 \text{ ไมครอน} = \frac{1}{1,000} \text{ มิลลิเมตร}$$

## ตารางที่ 2 เปรียบเทียบขนาดตะแกรงที่มีการใช้สำหรับบดอาหาร

USBS Sieve No. (number)	Tyler Designation (mesh)	ASTM Designation (microns)	Actual No. of Openings (per lineal inch)	Sieve Opening USBS Spec	
				(inch)	(mm.)
4	4	4760	4.22	0.187	4.76
5	5	4000	4.98	0.157	4.00
6	6	3360	5.81	0.132	3.36
7	7	2830	6.80	0.111	2.83
8	8	2380	7.89	0.0937	2.38
10	9	2000	9.21	0.0787	2.00
12	10	1680	10.72	0.0661	1.68
14	12	1410	12.58	0.0555	1.41
16	14	1190	14.66	0.0469	1.19
18	16	1000	17.15	0.0394	1.00
20	20	840	20.16	0.0331	0.84

ที่มา: Schofield (2005)

วิธีมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์ขนาดและความสม่ำเสมอของวัตถุดิบอาหารสัตว์และอาหารสัตว์ผสมคือ การเขย่าวัตถุดิบผ่านชุดอนุกรมและตะแกรงร่อน Tyler หรือ U.S sieve (ณัฐชนก, 2548) โดยอนุกรม Tyler จำแนกตะแกรงร่อน โดยใช้จำนวนของรูเปิดของตาข่ายต่อนิ้ว ในขณะที่ U.S sieve จำแนกรูเปิดของตะแกรงแบบไม่เฉพาะเจาะจงและไม่คำนึงถึงจำนวนของตาข่ายต่อนิ้ว แต่ทำการจำแนกขนาดรูเปิดเป็นไมครอน ซึ่งอนุกรมทั้ง 2 สามารถใช้ทดแทนกันได้ (Timothy J.H., n.d.) ตารางที่ 2 จะแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของชุดอนุกรมและตะแกรงร่อน และพบว่าค่า GSD จะผกผันกับความสม่ำเสมอของวัตถุดิบอาหารหรืออาหารผสม คือเมื่อค่า GSD มีค่าต่ำแสดงให้เห็นว่ามีความสม่ำเสมอของวัตถุดิบอาหารสูง

### เครื่องบดวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในโรงงานอาหารสัตว์

เครื่องบดวัตถุดิบ (grinder) ที่ใช้อยู่ใน โรงงานอาหารสัตว์ปัจจุบันมีหลายประเภท ซึ่งใช้แรง 3 แรงผสมกัน ประกอบด้วย แรงบีบอัด (compression) แรงกระแทก (impact) และแรงเฉือน (shear)

ซึ่งจะขึ้นกับลักษณะและชนิดของเครื่องมือที่ใช้บด (ณัฐชนก, 2548) เพื่อให้เมล็ดพืชแตกและขนาดลดลงจนสามารถลอดผ่านลอดผ่านรูตะแกรงขนาดต่างๆ ที่เลือกใช้

เครื่องบดวัตถุดิบได้รับการพัฒนาตามวัตถุประสงค์จำเพาะจนมีความหลากหลายในด้านประสิทธิภาพการบด ความสิ้นเปลืองพลังงาน ในการเลือกใช้งานประเภทของเครื่องบด จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ประสิทธิภาพการทำงาน และความเหมาะสมของลักษณะงาน การเลือกเครื่องบดให้เหมาะสมกับวัตถุดิบเป็นสิ่งที่สำคัญ ก่อนที่จะทำการบด ต้องพิจารณาถึงลักษณะวัตถุดิบที่ต้องการบดก่อน เช่น ความแข็ง ลักษณะโครงสร้างของวัตถุดิบ ปริมาณเชื้อใย ฯลฯ

โดยเครื่องบดวัตถุดิบอาหารที่ใช้มากในโรงงานอาหารสัตว์ในประเทศไทยมี 2 ชนิด ได้แก่

1. เครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์ (hammer mill) การลดขนาดของวัตถุดิบด้วยเครื่องแฮมเมอร์มิลล์เป็นการใช้แรงกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างหัวค้อนกับวัตถุดิบ เป็นเครื่องบดวัตถุดิบ นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและใช้มากในการบดวัตถุดิบสำหรับการผลิตอาหารสัตว์บด เช่น อาหารสัตว์ปีก สุนัข และสัตว์เคี้ยวเอื้อง (สาโรช, 2547) อนุภาคจากการบดด้วยเครื่องแฮมเมอร์มิลล์อยู่ในช่วง 400-1200 ไมครอน

2. เครื่องบดโรลเลอร์มิลล์ (roller mill) เป็นเครื่องบดที่ใช้หลักการทำงาน ของลูกกลิ้ง 2 ลูกหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน ด้วยความเร็วเท่ากันหรือต่างกันได้ โดยลูกกลิ้งจะมีลักษณะเป็นร่อง ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ใช้ในการบดวัตถุดิบ เช่น ถั่วเหลืองไขมันเต็ม

### เครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์

เครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์ เป็นเครื่องบดอาหารแบบอนุกรมประสม มีส่วนประกอบสำคัญคือ หีบบดอาหารที่เป็นโลหะหล่อทรงกระบอก แกนกลางเป็นเพลาติดกับค้อนลักษณะเป็นใบเหล็กสี่เหลี่ยม (ชำระศักดิ์, 2550) สามารถใช้ได้ทั้งวัตถุดิบที่แข็ง เป็นผลึก มีเชื้อใยสูง พืชต่างๆ และวัตถุดิบที่มีความนุ่มเหนียว

ณัฐชนก (2548) รายงานว่าการบดวัตถุดิบอาหาร โดยใช้เครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์เป็นการใช้แรงกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างหัวค้อนกับวัตถุดิบ โดยวัตถุดิบที่ต้องการบดจะถูกถ้ำเลียงเข้าสู่เครื่องบดและตกลงด้วยแรงโน้มถ่วง จากนั้นวัตถุดิบจะถูกหัวค้อนพาเข้าสู่บริเวณที่ปลายหัวค้อนเพิ่ม

ความเร่ง (acceleration zone) เพื่อให้ความเร็วของวัตถุเพิ่มขึ้นจนเท่ากับความเร็วรอบ (tip speed) ของเครื่องบด ขณะที่วัตถุถูกพาไปตามการเหวี่ยงของหัวค้อนจะถูกทำให้เล็กลงเนื่องจากการกระทบกันระหว่างวัตถุกับวัตถุ และการกระทบระหว่างวัตถุกับหัวค้อน ขนาดของวัตถุที่เท่ากับหรือเล็กกว่าขนาดของรูตะแกรงจะลอดผ่านรูตะแกรงออกไปได้ซึ่งในระหว่างที่วัตถุลอดผ่านรูตะแกรง จะเกิดการขัดสี ทำให้รูปร่างของวัตถุที่ลอดผ่านรูตะแกรงมีลักษณะเป็นทรงกลมผิวเรียบ การลดขนาดจะเกิดขึ้นในช่วงแรกบนตะแกรง โม่มากที่สุด และเรียกช่วงดังกล่าวว่า บริเวณการบดขั้นแรก (primary destruction zone) ส่วนของวัตถุอาหารที่ยังมีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรงและยังไม่สามารถลอดผ่านรูตะแกรงออกมาได้ก็จะถูกตีหรือทุบไปจนกระทั่งมีขนาดเล็กจนสามารถลอดผ่านรูตะแกรงออกมาได้ เราจึงสามารถกำหนดขนาดชิ้นของวัตถุอาหารที่ต้องการบดหรือความละเอียดของการบดด้วยการกำหนดขนาดของรูตะแกรงบดเป็นหลัก (อุทัย, ม.ป.ป.)

### ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการบดแฮมเมอร์มิลล์

ประสิทธิภาพของการบดวัตถุดิบอาหารสัตว์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆของเครื่องบด และวัตถุ เพื่อให้วัตถุดิบมีความสม่ำเสมอ ได้ขนาดตามที่ต้องการ ลดการสูญเสียของวัตถุดิบ และพลังงานที่ใช้ในการบดต่ำ โดยให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด จำเป็นต้องมีการควบคุม ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการบด

### อิทธิพลของเครื่องจักรต่อประสิทธิภาพการบด

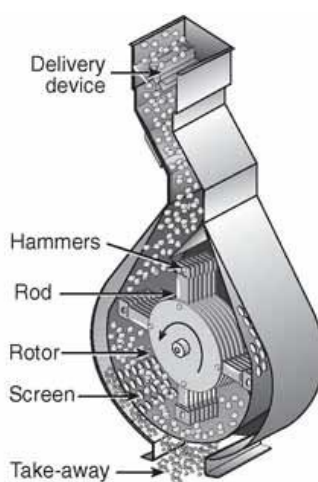
ประสิทธิภาพการบดวัตถุดิบ การสูญเสียวัตถุดิบขณะบด หรือขนาดอนุภาคของวัตถุที่ได้ ขึ้นอยู่กับการทำงานและลักษณะของเครื่องจักรด้วย โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบดวัตถุดิบ อาจจำแนกได้ดังนี้ คือ

1. อัตราการป้อนวัตถุดิบ ควรที่จะต้องมีอัตราการป้อนวัตถุดิบอย่างสม่ำเสมอเข้าสู่ห้องบด ซึ่งอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการป้อนลำเลียงวัตถุดิบ ได้แก่ ระบบลำเลียงชนิดสั่น (vibratory feeder) และระบบลำเลียงชนิดปล่องหมุน (rotary feeder) (ณัฐชนก, 2548)

2. ความเร็วรอบของการบด มีความสัมพันธ์ต่อขนาดอนุภาคของวัตถุดิบอาหารที่ผ่านการบด (ความเร็วรอบของการบดสูงส่งผลให้ได้ขนาดอนุภาคอาหารที่มีขนาดละเอียดมากขึ้น) (ณัฐชนก,

2548) รายงานว่า ความเร็วรอบของเครื่องบดแฮมเมอร์มีลล์ส่วนใหญ่อยู่ที่ 5,300 – 7,700 เมตรต่อนาที หรือ 13,000 – 18,000 ฟุตต่อนาที ถ้าความเร็วรอบช้าเกินไปทำให้การกระทบระหว่างหัวค้อนกับวัตถุบดลดลง แต่ถ้าความเร็วรอบเร็วเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการขับเครื่องเครื่องบด

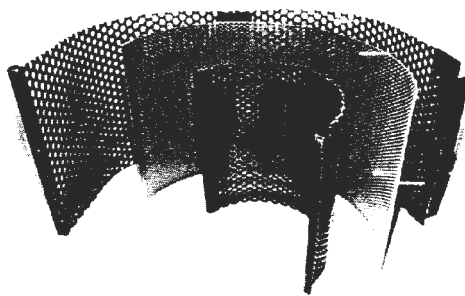
3. จำนวนและลักษณะของหัวค้อน เป็นส่วนที่สร้างแรงดันและแรงกระทบระหว่างวัตถุกับวัตถุ หรือวัตถุกับหัวค้อน เครื่องบดที่มีจำนวนหัวค้อนมากจะเพิ่มพื้นที่ให้วัตถุตีกระทบกับหัวค้อนมากขึ้น แฮมเมอร์มีลล์ที่มีจำนวนหัวค้อน 8 แถวให้ประสิทธิภาพการบดดีกว่าแฮมเมอร์มีลล์ที่มีหัวค้อนเพียง 4 แถว (ณัฐชนก, 2548) (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ลักษณะหัวค้อน 4 แถว ในเครื่องแฮมเมอร์มีลล์

ที่มา: Kim, 1996

4. ลักษณะตะแกรงและขนาดของรูเปิดบนตะแกรง (ภาพที่ 2) ตะแกรงที่นิยมใช้ในเครื่องบดแฮมเมอร์มีลล์มี 3 ชนิด คือ ตะแกรงแบบเต็มวง (full circle screen) ตะแกรงบดครึ่งวง (half circle screen) และตะแกรงบดแยก ขนาดของรูตะแกรงมีผลโดยตรงต่อ ขนาดของอนุภาคที่ได้ ประสิทธิภาพการบด อัตราการผลิต การเลือกขนาดรูเปิดของตะแกรงบดขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ ลักษณะของเมล็ดธัญพืช ความชื้นในวัตถุดิบ (Timothy, n.d.) การใช้ตะแกรงละเอียดในการบดจะต้องใช้พลังงานมากกว่าตะแกรงหยาบ และตะแกรงที่มีพื้นที่มากจะช่วยให้บดได้เร็วขึ้น (สาโรช, 2547) ขนาดตะแกรงที่เท่ากัน อาจทำให้ขนาดของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ได้ เนื่องจากปัจจัยจากวัตถุดิบและส่วนประกอบอื่นๆ ของเครื่องบด ตัวอย่างเช่นการบดข้าวโพดผ่านตะแกรงขนาด 3.2 มม. ส่งผลให้ได้ขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่แตกต่างกันคือขนาด 800 ไมครอน (Steven, 1987) ขนาด 597 ไมครอน (Wandra *et al.*, 1995a) และขนาด 539-624 ไมครอน (Robert, n.d) ดังแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 2 ตะแกรงบดแฮมเมอร์มิลล์ (hammer mill)

ที่มา: Owens and Heimann (1994)

ตารางที่ 3 ขนาดของข้าวโพดจากตะแกรงขนาดต่างๆ ของเครื่องแฮมเมอร์มิลล์

ขนาดตะแกรง(มม.)	ขนาดวัตถุบด(ไมครอน)	แหล่งอ้างอิง
6.3	1000	
3.2	800	Steven (1987)
1.6	550	
9.5	885	
3.2	597	Wandra <i>et al.</i> , (1995a)
1.2	408	
9.5	800	Wandra <i>et al.</i> , (1995b)
1.6	419	
10.0	870	ภาวินี (2549)
3.0	638	
6.3	722-877	Robert (n.d)
3.2	539-624	

5. ระบบดูดอากาศ เป็นระบบที่ช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพการบดและขนาดอนุภาคของวัตถุบดให้ดีขึ้นเนื่องจากจะช่วยลดแรงดันภายในห้องบดให้ลดลง (Timothy J.H., n.d.) ระบบดูดอากาศเป็นระบบที่ช่วยดึงและดูดอากาศ รวมทั้งอนุภาคให้ลอดผ่านตะแกรงบด ป้องกันการเกิดชั้นของอนุภาควัตถุบดที่เกาะอยู่บนรูเปิดของตะแกรงบด (fluidized bed of material) การเกิดชั้นดังกล่าวจะขัดขวางการลอดผ่านรูเปิดของอนุภาค ทำให้วัตถุบดสะสมอยู่บนชั้นของตะแกรง และเป็นผลทำให้

มอเตอร์ทำงานหนัก โดยการหมุนเหวี่ยงหัวค้อนให้เร็วขึ้น เพื่อคั้นให้อุ่นภาคที่ขวางอยู่ลอดผ่านรู ตะแกรงออกไปได้ นอกจากนี้อุณหภูมิที่ขวางยังทำให้เกิดการลดขนาดอนุภาคของวัตถุดิบลดลง ไปเรื่อยๆ เนื่องจากวัตถุดิบมีการขัดสีกันตลอดเวลา ทำให้เกิดเป็นฝุ่นที่ไม่ต้องการ และหากมีการ สะสมของฝุ่นมากเกินไปสามารถทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ (ณัฐชนก, 2548)

### อิทธิพลของวัตถุดิบต่อประสิทธิภาพการบด

คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ทำการบด เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการบด โดย คุณสมบัติและลักษณะของวัตถุดิบที่มีผลต่อการบด ดังนี้

#### 1. ความละเอียดของวัตถุดิบที่ต้องการ

จากการศึกษาของ Wandra *et.al.*, (1995a) รายงานว่า การบดอาหารให้มีความละเอียดมาก เครื่องบดจะมีกำลังการผลิตหรือปริมาณอาหารที่บดได้ต่อหน่วยเวลาลดลง อีกทั้งต้องใช้ปริมาณ กำลังงานหรือพลังงานในการบดอาหารต่อหน่วยของอาหารสูงขึ้น อาหารยิ่งบดหยาบมากเท่าใด ปริมาณการบดต่อหน่วยเวลาจะเพิ่มขึ้น และปริมาณการใช้พลังงานในการบดก็จะลดลงด้วย

#### 2. ความชื้นของวัตถุดิบอาหาร

ความชื้นและความหนาแน่นของวัตถุดิบก่อนบด มีผลต่อประสิทธิภาพการบดอย่างมาก คือ เมื่อเมล็ดวัตถุดิบมีความชื้นสูงจะเป็นผลให้เมล็ดมีความยืดหยุ่นมาก การบดกระแทกทำได้ยากขึ้น จึงทำให้แนวโน้มของประสิทธิภาพการบดลดลง และจากงานวิจัยของ Kansas State University ที่ได้ศึกษาวิจัยถึงผลของความหนาแน่นของเมล็ดของวัตถุดิบต่อประสิทธิภาพการบด พบว่าวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นต่ำจะลดประสิทธิภาพการบดลงถึงร้อยละ 45 เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นสูง (ณัฐชนก, 2548) วัตถุดิบที่สามารถบดได้ดีควรมีความชื้นไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ (สาโรช, 2547)

#### 3. ระดับไขมันในวัตถุดิบ

วัตถุดิบอาหารมีไขมันสูงจะทำให้วัตถุดิบอาหารมีลักษณะลื่น เมื่อเครื่องบดทำการตีหรือขุด สิววัตถุดิบอาหารให้มีขนาดเล็กลง ทำให้บดละเอียดได้ยากขึ้น อาหารมีแนวโน้มจะติดในเครื่องบด

มากขึ้นเพราะผ่านรูตะแกรงได้ยาก แต่ถ้าวัตถุดิบที่มีไขมันต่ำจะบดง่าย แต่มีอัตราการสูญเสียโดยเป็นฝุ่นสูง (สาโรช, 2547)

#### 4. ปริมาณเยื่อใยและความฟุ้งของอาหาร

อาหารมีปริมาณเยื่อใยและความฟุ้งสูงจะมีผลให้ทำการบดยากขึ้น ทั้งนี้เพราะเยื่อใยมีลักษณะเหนียวและลดขนาดขึ้นให้เล็กลงได้ยาก นอกจากนี้อาหารที่มีเยื่อใยสูงจะเคลื่อนตัวไปกับก้อนบดมากกว่าจะเกาะกับผนังห้องบด ทำให้ชุดเครื่องบด (grinding element) ทำงานได้ไม่เต็มที่ และอาจทำให้เครื่องบดติดขัด และอาหารที่ผ่านการบดรูดผ่านรูตะแกรงได้ยาก อุทัย (ม.ป.ป), สาโรช (2547)

#### 5. ชนิดของวัตถุดิบ

ปัจจัยทางด้านชนิดของวัตถุดิบนั้นจะเกี่ยวข้องกับชนิดของแป้ง เช่นมันสำปะหลังมีแป้งอ่อนบดง่าย มีการสูญเสียเป็นฝุ่นสูง ข้าวโพดมีแป้งแข็งห่อหุ้มอยู่ภายนอก บดให้มีขนาดเล็กลงยากกว่า แป้งอ่อนภายใน จึงสูญเสียพลังงานในการบดสูงกว่าการบดมันสำปะหลัง

#### ขนาดของอนุภาควัตถุดิบต่อการย่อยได้ของโภชนะ

เมล็ดธัญพืชที่มีเปลือกแข็ง เช่น ข้าวโพดนั้นพบว่า การบดจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบ ทำให้เอนไซม์ในทางเดินอาหารของสัตว์สามารถทำงานได้ทั่วถึง เอนไซม์สามารถย่อยสลายสารอาหารต่างๆได้ง่าย สัตว์สามารถนำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ ขนาดของวัตถุดิบมีผลต่อค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ของอาหาร วัตถุแห้งโปรตีน พลังงาน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกร วัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับเอนไซม์มากส่งผลให้เอนไซม์เข้าย่อยกับวัตถุดิบ ทำให้เกิดการย่อยได้มากกว่า จากการทดลองของ Wandra *et al.* (1995b) พบว่าวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาค 400 ไมครอน มีพื้นที่ผิวมากกว่าวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า ส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ในโตรเจน และ พลังงานที่สันดาปได้ (gross energy, GE) มากกว่า ( $P=0.001$ ) โดยพบว่าหากวัตถุดิบมีขนาดเล็กลง พื้นที่ผิวและค่าการย่อยได้ของโภชนะของอาหารจะสูงขึ้น (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลของขนาดของอนุภาคข้าวโพดบดต่อค่าการย่อยของสารอาหารในสุกรขุน

รายการ	ขนาดอนุภาคของข้าวโพด (ไมครอน)			
	1000	800	600	400
พื้นที่ผิว (ซม. <sup>2</sup> /กรัม)	68.0	81.0	91.0	118.0
วัตถุแห้ง (%)	84.1	85.1	86.1	87.3
การย่อยได้ของไนโตรเจน (%)	79.0	79.8	80.8	83.7
พลังงานรวม (%)	83.3	84.6	85.7	87.5

คัดแปลงจาก: Wandra *et al.* (1995b)

#### ขนาดของอนุภาควัตถุดิบต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร

คุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร ได้แก่ ขนาด รูปทรง ความนุ่ม ความแข็ง ความเหนียว ความหยาบของอาหาร มีอิทธิพลต่อการกินอาหารทั้งสิ้น แม้จะไม่มากเท่ากลิ่นและรสของอาหาร โดยพบว่าอาหารที่บดละเอียดทำให้สัตว์ เช่น สุกร กินอาหารได้มากกว่าอาหารที่บดหยาบ ตลอดจนช่วยเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารให้สูงขึ้น แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดพืชที่บดด้วย (Lawrence, 1985)

การเลี้ยงสุกรด้วยอาหารที่ใช้ข้าวโพดบด หรือธัญพืชอื่นๆ ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก ในช่วง 900-700 และน้อยกว่า 600 ไมครอน จะมีผลให้การเจริญเติบโต และ ประสิทธิภาพการใช้อาหารที่สูงกว่าอาหารที่มีขนาดอนุภาคของข้าวโพดใหญ่กว่า 1,000 ไมครอน (ตารางที่ 5) Baker and Herman. (1995) ศึกษาขนาดของข้าวโพดในสุกรหย่านม พบว่า ประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรดีขึ้นถึง 4.5% เมื่อลดขนาด ข้าวโพดจาก 877 เป็น 625 ไมครอน โดยทำให้อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น และการกินอาหารมากขึ้นเพียงเล็กน้อย ขนาดของอนุภาคข้าวโพดที่เหมาะสมในการผลิตอาหาร สุกร ข้าวโพด - กากั่วเหลือง เพื่อเลี้ยงสุกร เมื่อใช้เครื่องบดแบบแฮมเมอร์มิลล์ ขนาดของอนุภาคข้าวโพด คือ 700 ไมครอน และทุกๆ 100 ไมครอน ที่ขนาดอนุภาคข้าวโพดลดลง จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของสุกร ได้ 1-5% แต่จะมีผลเพิ่มอุบัติการณ์ การเกิดแผลหลุมในกระเพาะ (gastric ulcer) Regina *et al.* (1999) ได้รายงานว่ ขนาดอนุภาคของอาหารที่มีขนาดเล็กนั้นจะเพิ่มการคลุกเคล้าอาหารที่สุกรกินเข้าไปกับน้ำย่อยมากกว่า เมื่อน้ำย่อยต่างๆ หลั่งออกมาในส่วน of กระเพาะหรือ fundus gland region สามารถคลุกเคล้าได้ดีกว่าจึงทำให้มีโอกาสสัมผัสกับ mucosa ในหลอดอาหารที่มีเซลล์ป้องกันการย่อยที่น้อยและสามารถสัมผัสกับกระเพาะอาหารบ่อยครั้ง แล้วส่งผลให้เกิด gastric ulcer ตามมา ซึ่ง

ตรงข้ามกับสุกรที่ได้อาหารที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า จะเกิดการแยกชั้นกันทำให้มีโอกาสนในการสัมผัสในส่วนของ esophageal region ได้น้อย และลดประสิทธิภาพการผลิตในโรงงาน เพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิต ใช้พลังงานในการผลิตเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลง ทั้งนี้ขนาดที่เหมาะสมควรจะอยู่ประมาณ 700 – 900 ไมครอน เนื่องจากจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตอาหารต้นทุนของอาหารจะต่ำกว่าอาหารที่ที่ใช้อุณหภูมิของข้าวโพดต่ำกว่า 700 ไมครอน

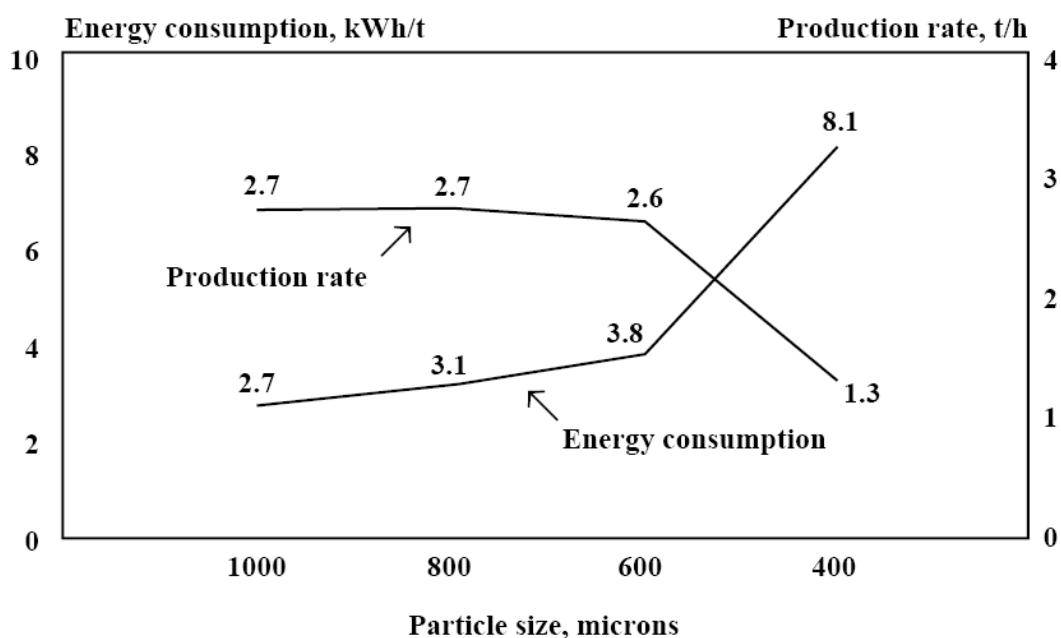
**ตารางที่ 5** ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร

รายการ	ขนาดอนุภาควัตถุดิบ(ไมครอน)			น้ำหนักสุกร (กก.)	จำนวน (ตัว)	ธัญพืช	แหล่งอ้างอิง
	>1000	700-900	<600				
ADG(kg)	0.71	0.79	0.74	19-55	36	ข้าวโพด	Mahan <i>et al.</i> , (1966)
Gain:Feed	0.337	0.329	0.341				
ADG(kg)	0.62	0.74	0.73	25-70	72	ข้าวสาลี	Lawrence (1983)
Gain:Feed	0.322	0.366	0.362				
ADG(kg)	0.68	-	0.73	35-97	160	ข้าวโพด	Hedde <i>et al.</i> , (1985)
Gain:Feed	0.266	-	0.288				
ADG(kg)	0.686	-	0.719	32-91	192	ข้าวโพด	Giesemann <i>et al.</i> , (1990)
Gain:Feed	0.257	-	0.279				
ADG(kg)	0.696	-	0.699	32-91	192	ข้าวฟ่าง	Giesemann <i>et al.</i> , (1990)
Gain:Feed	0.259	-	0.272				
ADG(kg)	-	1.00	0.99	54-120	70	ข้าวฟ่าง	Cabreta <i>et al.</i> , (1994)
Gain:Feed	-	0.295	0.316				
ADG(kg)	-	1.02	1.04	54-120	70	ข้าวฟ่าง	Cabreta <i>et al.</i> , (1994)
Gain:Feed	-	0.290	0.307				
ADG(kg)	0.98	0.98	0.99	55-115	160	ข้าวโพด	Wandra <i>et al.</i> (1995a)
Gain:Feed	0.298	0.305	0.321				

#### ขนาดของอนุภาควัตถุดิบต่อค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิต

การบดวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลง จะใช้พลังงานหรือกำลังในการผลิตมากกว่าวัตถุดิบขนาดใหญ่ กำลังการบดอาหารจะผันแปรกับเวลาที่ใช้ในการบด ยิ่งบดวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลงเท่าไร ปริมาณการบดต่อชั่วโมงจะลดต่ำลง

Wandra *et al* (1995a) รายงานว่า ในการบดข้าวโพดให้มีขนาดเล็ก จะส่งผลให้ปริมาณการบดต่อชั่วโมงของข้าวโพดลดต่ำลง และส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้น (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ผลของอนุภาคข้าวโพดต่อประสิทธิภาพการผลิตบด

ที่มา: Wandra *et al.*, (1995a)

การบดวัตถุดิบให้มีขนาดที่เหมาะสมมีความเกี่ยวข้องกับการอัดเม็ดของอาหาร ดังเช่นการทดลองของ Healy *et al.*, (1994) ที่พบว่าการผลิตอาหารในสุกรระยะเล็ก โดยแบ่งอาหารออกเป็น 2 ระยะคือ ระยะที่ 1 (0-14 วัน) และระยะที่ 2 (14 – 35 วัน) โดยในการทดลองจะมีการใช้ข้าวโพดและข้าวฟ่างในสูตรอาหาร จากการทดลองพบว่า การบดข้าวโพดให้มีขนาดอนุภาค 300 ไมครอนใน 1 ชั่วโมงสามารถบดข้าวโพดได้เพียง 0.65 ตัน แต่ถ้าบดวัตถุดิบให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นเป็น 900 ไมครอน จะสามารถบดข้าวโพดได้ถึง 1.76 ตัน เช่นเดียวกับการบดข้าวฟ่าง (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ขนาดของข้าวโพด และข้าวฟ่างที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบดและการอัดเม็ด

รายการ	ข้าวโพด (ไมครอน)				ข้าวฟ่าง (ไมครอน)			
	900	700	500	300	900	700	500	300
ขนาดของวัตถุดิบ(ไมครอน)	919	702	487	369	902	741	512	345
<b>การบด</b>								
- พลังงานไฟฟ้า,kWh/t	5.3	9.2	15.7	24.5	1.7	2.8	3.8	20.1
- ปริมาณการผลิต,t/h	1.76	0.97	0.63	0.65	5.95	4.12	2.37	0.74
การอัดเม็ด(อาหารระยะที่1)								
- พลังงานไฟฟ้า,kWh/t	30.2	29.0	29.1	29.2	31.4	31.6	29.8	30.4
การอัดเม็ด(อาหารระยะที่2)								
- พลังงานไฟฟ้า,kWh/t	38.3	37.4	36.4	36.7	37.7	40.5	37.2	37.8
<b>คุณภาพเม็ด</b>								
การอัดเม็ด(อาหารระยะที่1)								
- ฝุ่น,%	3.5	3.6	3.8	3.8	3.5	2.9	3.1	2.9
- ความคงทนของเม็ดอาหาร,%	97.3	95.3	95.3	96.0	96.0	95.3	94.7	97.3
การอัดเม็ด(อาหารระยะที่2)								
- ฝุ่น,%	7.6	6.5	6.0	5.6	8.8	7.1	7.9	6.5
- ความคงทนของเม็ดอาหาร,%	91.0	90.0	89.7	90.8	90.9	88.8	84.9	86.2

ดัดแปลงจาก: Healy *et al.*,(1994)

ดังนั้นขนาดอนุภาคของวัตถุดิบที่เหมาะสม สามารถทำให้ต้นทุนการผลิตอาหารเม็ดต่ำที่สุด โดยที่ประสิทธิภาพการผลิตสุกสูงที่สุดได้ ในการผลิตอาหารอัดเม็ดจึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยในการผลิต ทั้งในส่วนของประสิทธิภาพในการบดและการอัดเม็ดรวมกัน เช่นเดียวกับการทดลองของ Wandra *et al.*, (1995b) ในสุกรขุนซึ่งพบว่า เมื่อบดข้าวโพดให้มีขนาดเล็กที่ 400 ไมครอน จะใช้พลังงานในการบดมากกว่าขนาด 1000 ไมครอนถึง 3 เท่า ประสิทธิภาพการบดจะต่ำกว่า ในขณะที่ประสิทธิภาพการอัดเม็ดใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ขนาดของข้าวโพด ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบด การอัดเม็ด และความคงทนของเม็ดอาหาร

รายการ	1000	800	600	400
พลังงานในการบด (ตัน/ชม.)	2.70	3.10	3.80	8.10
ปริมาณในการบด (ตัน/ชม.)	2.7	2.7	2.6	1.3
พลังงานในการอัดเม็ด (ตัน/ชม.)	10.7	10.9	10.0	10.6
ปริมาณในการอัดเม็ด (ตัน/ชม.)	1.4	1.4	1.3	1.4
ความคงทนของเม็ดอาหาร (%)	78.8	79.4	82.4	86.4

คัดแปลงจาก: Wandra *et al.* (1995b)

#### ขนาดของอนุภาควัตถุดิบต่อประสิทธิภาพการผสมและคุณภาพเม็ดอาหาร

การบดเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของวัตถุดิบ เพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมความร้อน ความชื้นในกระบวนการอัดเม็ด และทำให้แรงยึดเกาะ ระหว่างอนุภาคของวัตถุดิบจากการที่มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ดังนั้นการลดขนาดของวัตถุดิบลง ให้เหมาะสมจะเป็นการเพิ่มคุณภาพในทางกายภาพของเม็ดอาหารด้วย โดย Reimer (1992) ได้กล่าวว่าขนาดของอนุภาควัตถุดิบมีบทบาทต่อคุณภาพเม็ดอาหาร 20%

ขนาดอนุภาคเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการผสมของวัตถุดิบอาหารสัตว์ จากการศึกษาโดย Martin (1983) ถึงผลของขนาดอนุภาคข้าวโพด และข้าวฟ่างที่บดด้วยเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์และโรลเลอร์มิลล์ พบว่า ข้าวโพดและข้าวฟ่างที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะใช้เวลาผสมนานกว่าข้าวโพดและข้าวฟ่างที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เพื่อให้เกิดการผสมที่สมบูรณ์ โดยระยะเวลาการผสมให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การผสม (coefficient of variation, CV) ที่น้อยกว่า 10 % และ Amornthewaphat (1999) พบว่า เมื่อขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้นจาก 400 เป็น 1,200 ไมครอน เวลาที่ใช้ในการผสมให้สมบูรณ์ (CV น้อยกว่า 10) จะใช้เวลานานขึ้น

ในส่วนของคุณภาพเม็ดอาหาร Healy *et al.*, (1994) ได้ทำการศึกษขนาดของข้าวโพดและข้าวฟ่างขนาดอนุภาค 900,700,500 และ 300 ไมครอน ในการผลิตอาหารสุกรอนุบาลทั้ง 2 ระยะ พบว่าคุณภาพเม็ดอาหารใกล้เคียงกันมาก และเมื่ออาหารมีความคงทนมาก ปริมาณฝุ่นในอาหารนั้นก็ยิ่งน้อยลงด้วย (ตารางที่ 6) ส่วน Wandra *et al.*, (1995b) ศึกษาผลของอาหารอัดเม็ดที่ประกอบด้วย

ข้าวโพดขนาดอนุภาค 1000 800 600 และ 400 ไมครอน พบว่าเมื่อขนาดของอนุภาคลดลง ค่าความคงทนของเม็ดอาหารเพิ่มจาก 78.8 79.4 82.4 และ 86.4 (ตารางที่ 7)

### การอัดเม็ด

การอัดเม็ดอาหาร คือการทำอาหารให้เป็นก้อนหรือเม็ดแน่นด้วยเครื่องอัดเม็ด โดยการอัดเม็ดผ่านเข้าไปในรูของจานอัด (die hold) โดยใช้แรงอัดทางกายภาพ เครื่องอัดเม็ดประกอบด้วยจานอัดและลูกกลิ้ง ทำหน้าที่ดันให้อาหารที่ผสมไอน้ำผ่านรูเปิดของจานอัด ขึ้นเป็นรูปร่างทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดอาหารเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเปิดและความยาวของเม็ด ขึ้นกับชนิดของอาหารสัตว์ที่ผลิต สูตรอาหาร และความหนาของจานอัด (die) ด้วย จานอัดเป็นแม่พิมพ์ในการกำหนดขนาดรวมไปถึงคุณภาพทางกายภาพของเม็ดอาหาร (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 อาหารอัดเม็ดขนาดต่างๆ และอาหารผง

ที่มา: Manafi and Naik (2009)

### ลักษณะของเม็ดอาหาร

เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการอัดเม็ดอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตสัตว์ รูปร่างและขนาดของอาหารอัดเม็ดที่เหมาะสมก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญ รูปร่างและขนาดของอาหารอัดเม็ดมีหลายขนาด (ภาพที่ 4) ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของสัตว์ รูปร่างและขนาดของเม็ดอาหารสัตว์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Pellets จะเป็นแท่งขนาดเล็ก ประมาณ 3/32 - 3/8 นิ้ว
- Cube มีหลายรูปแบบ แผ่น กกลม สีเหลี่ยม มีขนาดใหญ่กว่า Pellets มีขนาดประมาณ ½ - 1 นิ้ว

- Blocks เป็นการอัดอาหารเข้าไปในแม่พิมพ์ มีขนาดประมาณ 11 - 15 นิ้ว
- Crumble เป็นอาหารบดทำมาจากการบด Pellets สำหรับสัตว์ระยะเล็ก

เพื่อให้การอัดเม็ดได้เม็ดอาหารที่มีคุณภาพ ทั้งทางโภชนาการ ทางกายภาพ และกำลังการผลิตที่เหมาะสมต้องพิจารณาทั้งปัจจัยจากวัตถุดิบ และวิธีการผลิตร่วมกัน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพอาหาร

### กรรมวิธีในการอัดเม็ดอาหารสัตว์

หลังจากผสมวัตถุดิบอาหารสัตว์ให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว จึงทำการอัดเม็ดอาหาร กรรมวิธีในการอัดเม็ดอาหารประกอบด้วย การปรับสภาพอาหารก่อนการอัดเม็ด การอัดอาหารผ่านรูของจานอัด และการทำให้เย็น ดังรายละเอียด (Moran, 1989)

1. การปรับสภาพอาหารก่อนการอัดเม็ด อาหารที่อัดเม็ดจะปรับสภาพด้วยไอน้ำก่อนหรือไม่ปรับก็ได้ แต่ส่วนใหญ่มักจะปรับก่อน การปรับสภาพด้วยไอน้ำทำได้โดยการพ่นไอน้ำเข้าไปในอาหาร พร้อมผสมคลุกเคล้าตลอดเวลา นาน 10-30 วินาที แล้วเคลื่อนเข้าสู่จานอัด ในขั้นตอนนี้มีผลให้ความชื้นของอาหารเพิ่มขึ้นประมาณ 5% และอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 70-90 °C

2. การอัดผ่านรูของจานอัด อาหารที่จะอัดเม็ดถูกอัดผ่านรูของจานอัด โดยแรงอัดของลูกกลิ้งที่มีผิวเป็นร่องจับอาหาร (roller) จานอัดที่ใช้มีรูหลายขนาด และมีความหนาประมาณ 7-10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของรู แรงเสียดสีที่เกิดขึ้นขณะที่อาหารอัดผ่านรูจะเกิดความร้อนเพิ่มเติม ความชื้นในอาหารช่วยให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ทำให้แป้งสุก ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปถึงการจับเป็นเม็ดของอาหาร โดยเม็ดอาหารที่ผ่านออกมาจากรูอัดจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 5 °C หากอาหารได้รับการปรับด้วยไอน้ำและ 2.5 °C ถ้าไม่ได้รับการปรับด้วยไอน้ำก่อน

3. การปล่อยให้เม็ดอาหารเย็นและแห้ง อาหารเม็ดที่ผ่านจานอัดจะร้อน จึงใช้ลมเป่าให้ค่อยๆ เย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 6-8 °C และความชื้นก็จะถูกระเหยออกไป

จนเหลือเท่ากับอาหารผงก่อนการพ่นด้วยไอน้ำ หลังจากนั้นก็จะถูกลำเลียงเข้าสู่ drying cyclone เพื่อให้อุณหภูมิจากอาหารเท่ากับอุณหภูมิกากาศ และผ่านตะแกรงร้อนเพื่อแยกเอาผงหรือเม็ดอาหารที่แตกหักออก

### การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการอัดเม็ด

ความร้อนและความชื้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการอัดเม็ด ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารสัตว์ (Moran, 1989; Fairfield, 2005) ดังนี้คือ

1. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้ง ผลึกแป้งที่เกิดจากการที่เฮลิกซ์ของอัมัยโลส (amylose) ถูกรวบรวมและอัดเรียงกันอยู่ โดยที่มีอัมัยโลเพคติน (amylopectin) เป็นตัวเชื่อมต่อให้อยู่รวมกัน แนวการเรียงเฮลิกซ์จะเรียงตั้งฉากกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้น้ำสามารถแทรกซึมเข้าสู่เม็ดแป้งได้ ความร้อนชื้นกระตุ้นอัตราการแทรกซึมของน้ำเข้าสู่เม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวและสูญเสียสภาพการเรียงตัวแบบผลึกไป แป้งสุก (gelatinized starch) จะเกิดขึ้น แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างการอัดผ่านรูของจานอัดจะกระตุ้นการหลอมของเม็ดแป้งทำให้มีการปลดปล่อย โพลีเมอร์ของแป้งออกมามากขึ้น โพลีเมอร์ของแป้ง amylose และ amylopectin ที่ถูกปลดปล่อยออกมาถูกย่อยโดยเอนไซม์ได้ง่ายการย่อยของแป้งในอาหารที่ผ่านการอัดเม็ด จะสูงกว่าแป้งที่ผ่านเพียงเฉพาะขั้นตอนของการปรับไอน้ำเพียงอย่างเดียว (สาโรช, 2547)

2. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน โปรตีนในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ของธัญพืชส่วนใหญ่เป็น prolamine ซึ่งเป็นโปรตีนทรงกลม แทรกซึมอยู่กับเม็ดแป้ง แต่ในพืชบางชนิด เช่น ข้าวสาลี โปรตีน ไม่ได้อยู่ในรูปทรงกลม แต่แทรกซึมอยู่ในผนังเซลล์ เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนชื้น โดยเฉพาะโปรตีนใน cell matrix จะเปลี่ยนรูปเป็นสายใยเหนียวเชื่อมเกาะเม็ดแป้งกับชิ้นส่วนอื่นๆ ของอาหาร แรงยึดเกาะของสายโปรตีน นี้จะสูงสุดและคงตัวเมื่ออาหารถูกอัดผ่านรูของจานอัดเม็ด อย่างไรก็ตามหากอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 90-100 °C แรงยึดเกาะของสายโปรตีนจะสลายไป และความเหนียวของแป้งจะลดลง (สาโรช, 2547)

3. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเยื่อใย เยื่อใยในเอนโดสเปิร์มของเมล็ดธัญพืชมาจากเซลล์ซึ่งผนังเซลล์ไม่ค่อยมีความแข็งแรง และสามารถหลอม เมื่อถูกความร้อนชื้น ของการอัดเม็ด จึงเรียกผนังเซลล์แบบนี้ว่าเป็น solubility fiber ซึ่งมี glucan และ pentosan hemicelluloses เป็นส่วนประกอบผนังเซลล์ของ เอนโดสเปิร์ม ธัญพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในแง่การหลอมละลายได้ของเยื่อใยในผนังเซลล์

## ประโยชน์ของการอัดเม็ดอาหารสัตว์

นอกเหนือจากการลดการสูญเสียอาหารในรูปฝุ่น การอัดเม็ดยังทำให้สัตว์ได้รับโภชนาการที่มีความสมดุลสม่ำเสมอ นอกจากนี้ความร้อนชื้น และแรงในการอัดเม็ด ช่วยเพิ่มการย่อยได้ของโภชนาหลัก ทำให้ระดับการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาสูงขึ้น อีกทั้งเพิ่มความน่ากิน สัตว์สามารถกินอาหารได้มากขึ้น และสามารถทำลายเชื้อโรคเช่น *Salmonella spp.* ที่ปนเปื้อนในวัตถุดิบหรืออาหารสัตว์ได้ (Fairfield, 2005)

สิ่งที่สำคัญที่สุดระหว่างขั้นตอนการอัดเม็ดก็คือ อุณหภูมิและความชื้น การเติมน้ำให้ได้ในปริมาณมากที่สุดในแต่ละสูตรอาหาร และความเร็วของไอน้ำ จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ยืดอายุการใช้งานของงานอัด และลดการเป็นฝุ่นในอาหาร โดยที่สูตรอาหารมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นจะทำให้วัตถุดิบนุ่ม ลดการเสียดสีของวัตถุดิบ ตลอดจนช่วยหล่อลื่นให้อาหารเคลื่อนผ่านรูอัดง่ายขึ้น (สาโรช, 2547)

## ผลของการอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตสุกร

สุกรที่ได้รับอาหารอัดเม็ดมีอัตราเฉลี่ยของการเพิ่มน้ำหนักตัว 6-7% ประสิทธิภาพของการใช้อาหาร เพิ่มขึ้น 7-10% และกินอาหารลดลง 1-2% เมื่อเทียบกับอาหารผง (Pond and Maner, 1984) ผลดีของการอัดเม็ดต่อการใช้โภชนาในอาหารสุกร เกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุหลายประการ

1. เยื่อใยในอาหารเม็ดลดลง และเมื่อรวมกับการทำให้แป้งสุก มีผลทำให้การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานในอาหารเพิ่มขึ้น
2. ความร้อนและแรงอัดช่วยเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสในอาหาร แต่จะไม่มีผลกระทบต่อการใช้แคลเซียม
3. ความร้อนและความชื้นในกระบวนการอัดเม็ดจะเพิ่มระดับการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนทริปโตเฟน ในอาหาร และข้าวโพคให้สูงขึ้น
4. ความร้อนจะสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Salmonella spp.* ที่ปนเปื้อนในอาหาร ลดปัญหาการเกิดโรคในสุกรที่เกิดจากเชื้อ *Salmonella spp.*

5. สุกรสามารถกินอาหารที่มีเยื่อใยได้สูงขึ้น เนื่องจากการอัดเม็ดจะช่วยลดความฟามของอาหาร

ประโยชน์ของการอัดเม็ดอาหารไม่ได้มีต่อสัตว์เท่านั้น ยังส่งผลดีต่อการจัดการในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ด้วย อาทิ เพิ่มความหนาแน่นของอาหาร ลดความเป็นฝุ่นในโรงงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการลำเลียงอาหารภายในโรงงาน

อาหารอัดเม็ดจะให้อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อที่ดีกว่าอาหารผง ทั้งในสุกรระยะอนุบาลและรุ่น - ชุน ในส่วนของการกินนั้นส่วนใหญ่อาหารผงจะสูงกว่าอาจจะเนื่องจากลักษณะของอาหารที่เป็นผง อาจเกิดการหกหล่นในขณะที่สุกรกิน จึงทำให้การกินมากกว่าส่งผลให้ได้อัตราการแลกเนื้อที่สูงกว่า (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ผลของลักษณะเม็ดอาหารต่อประสิทธิภาพการผลิตสุกร

ระยะสุกร	จำนวน	อาหาร	ADG(kg/d)	FI(g/d)	FCR	แหล่งอ้างอิง
อนุบาล	96	ผง	0.27	0.44	1.61	Jansen and Becker (1965)
		เม็ด	0.24	0.37	1.54	
รุ่น- ชุน	379	ผง	0.75	-	3.45	Hanke <i>et al.</i> , (1972)
		เม็ด	0.80	-	3.23	
อนุบาล- ชุน	120	ผง	0.69	2.52	3.70	Baird (1973)
		เม็ด	0.72	2.43	3.33	
รุ่น- ชุน	120	ผง	0.67	2.28	3.45	Tribble <i>et al.</i> , (1980)
		เม็ด	0.71	2.10	2.94	
อนุบาล	48	ผง	0.61	1.35	2.22	Skoch <i>et al.</i> , (1983)
		เม็ด	0.67	1.36	2.04	
รุ่น- ชุน	48	ผง	0.75	2.79	3.70	Skoch <i>et al.</i> , (1983)
		เม็ด	0.79	2.89	3.70	
อนุบาล	-	ผง		0.31	1.52	Walker <i>et al.</i> , (1989)
		เม็ด		0.55	1.37	

### ขนาดของเม็ดอาหารที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิต

อาหารที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ จะใช้เวลาในการอัดเม็ดที่น้อยและใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตที่ต่ำกว่า และ อาหารที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ใช้งานอัดที่บาง ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการอัดเม็ด ได้มีการทดลองที่หลากหลายในต่างประเทศ ส่วนใหญ่อาหารที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กกว่า จะให้ประสิทธิภาพการผลิตที่ดีกว่า (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ขนาดของเม็ดอาหารที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตของสุกร

ระยะ	จำนวน	ขนาดเม็ดอาหาร ,mm	ADG g/d	ADFI,g	G/F	แหล่งอ้างอิง
รุ่น-ขุน	208	4.8	820	2490	0.33	Luce <i>et al.</i> , (1973)
		6.4	850	2590	0.33	
		9.5	820	2490	0.33	
รุ่น-ขุน	66	4.8	660	2170	0.30	Harris <i>et al.</i> , (1979)
		6.4	660	2500	0.26	
รุ่น-ขุน	1360	5.0	490	1940	0.25	Hanrahan (1984)
		10.0	490	1999	0.25	
อนุบาล						
วันที่ 0-9	210	2.0	151	134	1.127	Traylor <i>et al.</i> , (1996)
		4.0	148	132	1.121	
		8.0	165	162	1.019	
		12.0	158	142	1.113	
วันที่ 0-29	210	2.0	362	510	0.710	Traylor <i>et al.</i> , (1996)
		4.0	371	516	0.719	
		8.0	362	541	0.669	
		12.0	364	532	0.684	

Lavorel *et al.* (1984) ได้ทำการศึกษาผลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดอาหารในสุกรอนุบาลโดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของอาหารที่ 2.5 มิลลิเมตร (มม.) ขนาด 3.0 มม. และขนาด 5.0 มม. และอาหารผงในสูตรอาหาร พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของสุกรที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่มี

เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มม. จะสูงกว่ากลุ่มอื่นในช่วง 2 สัปดาห์แรก และมีความมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ในสัปดาห์ที่ 3 และที่ 4 ส่วนในกลุ่มสุกรรุ่นและขุน

ปัจจุบันอาหารสุกรอนุบาลที่ผลิตในประเทศไทย 2548 รายงานว่าอาหารสุกรที่ผลิตเพื่อการค้ำนนั้นขนาดของเม็ดอาหารส่วนใหญ่จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. และอาหารสุกรรุ่น-ขุน จะประมาณ 3-4 มม. โกสินทร์ (2548) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอาหารผงและอาหารเม็ดต่อประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพซาก และลักษณะของกระเพาะอาหาร ในสุกรระยะ เล็ก รุ่น และขุน โดยแบ่งอาหารทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 อาหารผง กลุ่มที่ 2 อาหารอัดเม็ดขนาด 3 มม. กลุ่มที่ 3 อาหารอัดเม็ดขนาด 4 มม. โดยทั้ง 3 กลุ่มให้อาหารชนิดเดียวกันตลอดระยะเวลาการทดลอง ส่วนกลุ่มที่ 4 อาหารอัดเม็ดขนาด 3 มม. ในระยะเล็กและอาหารอัดเม็ดขนาด 4 มม. ในระยะรุ่น-ขุน พบว่าสุกรที่ได้รับอาหารเม็ด ทั้ง 3 กลุ่มมีประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ดีกว่าสุกรที่เลี้ยงด้วยอาหารผง ( $P<0.01$ ) สุกรที่ได้รับอาหารเม็ดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม. จะมีแนวโน้มการกินอาหาร ( $P=0.28$ ) และอัตราการเจริญเติบโต ( $P=0.30$ ) ที่ดีกว่ากลุ่มอื่น และมีประสิทธิภาพการผลิตอาหารของอาหารเม็ดที่เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4 มม. จะสูงกว่า เนื่องจากใช้พลังงานในการผลิตต่ำกว่า และได้อัตราการผลิตอาหาร ต้น/ชั่วโมงที่มากกว่า (ตารางที่ 10)

**ตารางที่ 10** ประสิทธิภาพในการผลิตอาหารสุกรอัดเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 และ 4 มม.

รายการ	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดอาหาร(มม.)	
	3.0	4.0
สุกรระยะเล็ก		
- พลังงาน (กิโวลต์/ตัน)	3.56	3.50
- อัตราการผลิตอาหาร (ตัน/ชม.)	12.12	12.69
สุกรระยะรุ่น		
- พลังงาน (กิโวลต์/ตัน)	7.27	5.88
- อัตราการผลิตอาหาร (ตัน/ชม.)	7.23	9.76
สุกรระยะขุน		
- พลังงาน (กิโวลต์/ตัน)	6.19	5.57
- อัตราการผลิตอาหาร (ตัน/ชม.)	8.00	10.61

ที่มา: คัดแปลงจาก โกสินทร์ (2548)

ขนาดของเม็ดอาหารและขนาดของวัตถุดิบต่างก็มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการผลิต  
 สุกกร Wandra *et al.* (1995b) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของอาหารผง และอาหารเม็ดและขนาด  
 อนุภาคของข้าวโพดที่ขนาดอนุภาค 1000, 800, 600 และ 400 ไมครอน ในสุกรรุ่น- ชุน โดยพบว่าม  
 ความเกี่ยวข้องกันดังผลการทดลอง ตารางที่ 11

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสุกรที่ได้รับอาหารเม็ดและอาหารผงพบว่า สุกกรที่ได้รับอาหารเม็ด  
 มีค่าการย่อยได้ ของวัตถุแห้ง ไนโตรเจนและพลังงานรวมสูงกว่า 5-8% ( $P<0.001$ ) ส่งผลให้มีอัตรา  
 การเจริญเติบโตจะสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารผง 5% ( $P<0.01$ ) ส่วนปัจจัยจากขนาดของอนุภาค  
 ข้าวโพดที่ขนาดอนุภาค 1000 800 600 และ 400 ไมครอน พบว่าเมื่อลดขนาดของข้าวโพดจาก 1000  
 เป็น 400 ไมครอน ส่งผลประสิทธิภาพการเจริญเติบโต สูงขึ้น 8% ( $P<0.001$ ) ค่าการย่อยได้ของ  
 พลังงานรวม เพิ่มขึ้น 7% ( $P<0.03$ ) ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ( $P<0.001$ ) และไนโตรเจน ( $P<0.001$ )  
 ก็เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตต่อวันและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น ทั้ง  
 ในอาหารผงและอาหารอัดเม็ด สุกกรที่ได้รับอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาคที่เล็ก 400 ไมครอน มี  
 ปริมาณวัตถุแห้งที่ขับออกมา (กรัม/วัน) และ ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกมา(กรัม/วัน) ในมูลน้อย  
 กว่า ( $P<0.001$ ) สุกกรที่ได้รับอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ซึ่งแสดงว่าขนาดอนุภาคของ  
 ข้าวโพดที่เล็กทำให้เกิดการย่อยของโภชนะที่สูงกว่า จึงส่งผลให้สุกรที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่ใช้  
 ข้าวโพดขนาดอนุภาคเล็กมีประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด จากการทดลองดังกล่าวได้ทำการ  
 ตรวจสอบถึงลักษณะของอุบัติการณ์การเกิดแผลหลุมในกระเพาะ (gastric ulcer) และประสิทธิภาพ  
 การผลิตในโรงงานด้วยซึ่งพบว่า วัตถุดิบอาหารที่มีขนาดเล็ก จะเพิ่ม โอกาสการเกิดแผลหลุมใน  
 กระเพาะสุกร รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการผลิตและพลังงานในการผลิตเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มการ  
 ใช้กระแสไฟฟ้าในกระบวนการที่ทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลง จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาใน  
 เบื้องต้นดังที่กล่าวมาพบว่าขนาดอนุภาคข้าวโพดที่เหมาะสมสำหรับอาหารสุกรนั้นประมาณ 600  
 ไมครอน ซึ่งเป็นขนาดที่ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตสุกรดีที่สุด และมีต้นทุนในกระบวนการ  
 อัดเม็ดต่ำที่สุด

ตารางที่ 11 ผลของขนาดข้าวโพดและลักษณะของอาหารที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตสุกรขุน

รายการ	อาหารผง,ไม่ครอน				อาหารเม็ด,ไม่ครอน				SEM	Contrasts	
	1000		400		800		600			A	B
	800	600	400	600	800	600	400	600			
ADG,kg	0.96	0.94	0.95	0.98	0.99	1.01	1.02	0.99	0.02	0.01	NS
ADFI,kg	3.25	3.21	3.26	3.16	3.29	3.18	3.2	2.98	0.05	0.15	0.002
G/F	0.295	0.293	0.291	0.31	0.301	0.318	0.319	0.332	0.005	0.001	0.001
Apparent Digestibility,%(DM)											
Dry matter	79.9	78.9	81.7	84.8	84.1	85.1	86.1	87.3	1.00	0.001	0.001
Nitrogen	72.6	70.8	76.3	79.5	79	79.8	80.8	83.7	1.30	0.001	0.001
GE	77.6	75.8	79.6	84.1	83.3	84.6	85.7	87.5	1.10	0.001	0.030
DM digest,g/d	2335	2285	2409	2410	2492	2439	2478	2343	49	NS	NS
N digest,g/d	50	48	53	54	57	56	57	55	1.00	15	0.15
DE intake,Mcal/d	7.15	6.88	7.57	7.34	7.48	7.46	7.58	6.93	0.19	NS	NS
DM excretion,g/d	585	603	519	436	469	427	405	341	28	0.001	0.001
N excretion,g/d	19	20	16	14	15	14	14	11	1.00	0.001	0.001

หมายเหตุ A เปรียบเทียบอาหารผงและอาหารเม็ด, B เปรียบเทียบขนาดของข้าวโพด

คัดแปลจาก: Wandra *et al.* 1995b

จากการสืบค้นข้อมูลในการศึกษาเรื่องขนาดของวัตถุดิบและขนาดของเม็ดอาหาร พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรและประสิทธิภาพการผลิตอาหารอัดเม็ด การบดวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลงจะทำให้สมรรถภาพการผลิตการเจริญเติบโต การเปลี่ยนอาหารเป็น น้ำหนักตัวของสุกรดีขึ้น แต่การบดวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลงจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตอาหารอัดเม็ดต่ำลง ค่าใช้จ่ายในการผลิตอาหารก็สูงขึ้น เช่นเดียวกันกับปัจจัยด้านขนาดของเม็ดอาหาร ซึ่งพบว่าการใช้อาหารอัดเม็ดจะส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตสุกรสูงกว่าอาหารผง และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดอาหารที่เล็กจะให้ประสิทธิภาพการผลิตสุกรที่สูงกว่า แต่ประสิทธิภาพการผลิตของอาหารต่ำ ดังนั้นจึงจะได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลร่วม ระหว่างปัจจัยที่สำคัญทั้งสองปัจจัยคือ ขนาดของอนุภาควัตถุดิบ คือข้าวโพด และเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดอาหาร ที่เหมาะสมจะสามารถส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตสุกร และประสิทธิภาพการผลิตอาหารสูงที่สุด เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปปรับใช้ให้สอดคล้องกับลักษณะของวัตถุดิบ ลักษณะการผลิต และสภาวะการผลิตอาหารสุกร ในปัจจุบันของประเทศไทย

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพกระบวนการบดและการอัดเม็ดอาหารสุกร

#### อุปกรณ์

1. เครื่องบดแบบ hammer mill ยี่ห้อม 18 รุ่น กม18KM10
2. เครื่องอัดเม็ดยี่ห้อ Triumph รุ่น PPM520-178กำลังการผลิต 15 ตัน/ชั่วโมง
3. ตะแกรงขนาด 2.0 และ 3.0 มม.
4. เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์
5. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ความสม่ำเสมอของอนุภาค ขนาดของอนุภาค ข้าวโพด (ASAE, 1983)
6. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (bulk density) ตามวิธีการของ ASAE Standard: ASAE 5269.3 (ASAE, 1983)
7. เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

#### วิธีการทดลอง

1. บดข้าวโพด ด้วยเครื่องบดแบบ hammer mill ด้วยตะแกรงขนาด 2.0 และ 3.0 มม.
2. นำข้าวโพดมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารปริมาณตามที่สูตรอาหารกำหนด

#### การผลิตอาหารสัตว์

ผลิตอาหารที่ใช้ในการศึกษา 4 กลุ่ม ตามที่สูตรกำหนด(ตารางที่ 12) ผลิตทั้งหมด 8 ชุดการผสม ชุดการผสมละ 2.5 ตัน ผลิตแบบต่อเนื่องจนครบ 20 ตัน โดยยึดหลักตามขั้นตอนการผลิตอาหารสัตว์ (การบด การผสม การผสมไอน้ำ การอัดเม็ด และ การทำให้เย็น)

อาหารทดลองมีทั้งหมด 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ข้าวโพดบดผ่านตะแกรงบดขนาด 2.0 มม. อาหารอัดเม็ดขนาด 2.8 มม.  
(เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.8 มม.)

กลุ่มที่ 2 ข้าวโพดบดผ่านตะแกรงบดขนาด 2.0 มม. อาหารอัดเม็ดขนาด 3.8 มม.  
(เส้นผ่าศูนย์กลาง 3.8 มม.)

กลุ่มที่ 3 ข้าวโพดบดผ่านตะแกรงบดขนาด 3.0 มม. อาหารอัดเม็ดขนาด 2.8 มม.  
(เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.8 มม.)

กลุ่มที่ 4 ข้าวโพดบดผ่านตะแกรงบดขนาด 3.0 มม. อาหารอัดเม็ดขนาด 3.8 มม.  
(เส้นผ่าศูนย์กลาง 3.8 มม.)

#### การวางแผนการทดลอง

การทดลองวางแผนแบบ 2x2 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial in completely randomized design) แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มทดลอง (treatment combination) โดยการสุ่มอิสระ ซึ่งกลุ่มทดลองประกอบด้วย

ปัจจัย A = ขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่บดผ่านตะแกรง ซึ่งมี 2 ทริตเมนต์ คือ

$a_1$  = ขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่บดผ่านตะแกรงขนาด 2.0 มม.

$a_2$  = ขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่บดผ่านตะแกรงขนาด 3.0 มม.

ปัจจัย B = ขนาดเม็ดอาหาร ซึ่งมี 2 ทริตเมนต์ คือ

$b_1$  = อาหารอัดเม็ดขนาด 2.8 มม.

$b_2$  = อาหารอัดเม็ดขนาด 3.8 มม.

ตารางที่ 12 องค์ประกอบวัตถุดิบของอาหารทดลองและคุณค่าทางโภชนาที่ได้จากการคำนวณ

วัตถุดิบอาหาร	%
ข้าวโพด	32.11
ปลายข้าว	16.00
รำ	14.00
กากถั่วเหลือง	14.00
สารทดแทนนม	10.00
เนื้อไก่ป่น	6.00
น้ำมันรำ	4.50
หินแป้ง	1.20
เกลือ	0.40
โมโนไดแคลเซียม	0.60
ดีแอลเมทไธโอนีน	0.30
ไลซีน	0.25
ทรีโอนีน	0.14
วิตามิน-แร่ธาตุ	0.50
<b>รวม</b>	<b>100</b>
องค์ประกอบทางโภชนาโดยการคำนวณ	(% as fed basis)
โปรตีน	21
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	3,300
แคลเซียม	0.90
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.40
ไลซีน	1.30
เมทไธโอนีน + ซีสทีน	0.88
ทรีโอนีน	0.90
ไขมัน	9.70
เยื่อใย	4.00

## การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองวางแผนแบบ 2 x 2 แฟคตอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (2 x 2 factorial experiment in completely randomize design) โดยมี 2 ปัจจัยที่ศึกษา คือขนาดอนุภาคของข้าวโพด และขนาดของเม็ดอาหาร ซึ่งมีแบบหุ่นจำลองดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

โดยที่  $Y_{ijk}$  = ค่าสังเกตจาก ซ้ำที่ k ของระดับที่ i จากปัจจัย A และระดับที่ j จากปัจจัย B

$\mu$  = ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด

$\alpha_i$  = อิทธิพลของปัจจัยด้านขนาดอนุภาคของข้าวโพด(A)

$\beta_j$  = อิทธิพลของปัจจัยด้านขนาดของเม็ดอาหาร(B)

$\alpha\beta_{ij}$  = อิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านขนาดเม็ดอาหารและขนาดอนุภาคของข้าวโพด

$\epsilon_{ijk}$  = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

## การบันทึกข้อมูล

### 1. การบันทึกข้อมูลการบดข้าวโพด

1.1. ความชื้นและอุณหภูมิของข้าวโพดก่อนบด

1.2. ความชื้นและอุณหภูมิของข้าวโพดหลังบด โดยเก็บตัวอย่างข้าวโพดขณะบด

ชุดการทดลองละ 4 ตัวอย่าง

### 1.3 พลังงานไฟฟ้าในระหว่างการบด

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (Kwh/T)} = \frac{\text{Amp} \times 380 \times 0.8 \times 0.8 \times 1.732}{\frac{T}{h} \times 1000}$$

1.4. กระแสไฟ (AMP) ในระหว่างการบด

1.5 ประสิทธิภาพการบดข้าวโพดต่อชั่วโมง

1.6 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของข้าวโพด ( $D_{gw}$ ) (ASAE,1983)

1.7 ความสม่ำเสมอทางเรขาคณิตของอนุภาคตัวอย่างที่บด ( $S_{gw}$ ) (ASAE,1983)

## 2. การบันทึกข้อมูลการผลิตอาหาร

2.1 อุณหภูมิของอาหารผงในเครื่อง conditioner และอุณหภูมิของอาหารเม็ดในเครื่องอัดเม็ด บันทึกเมื่ออุณหภูมิคงที่จากเครื่อง conditioner และเครื่องอัดเม็ดอาหาร

2.2.ความชื้นของ อาหารผงก่อนเข้าเครื่องอัดเม็ดและอาหารเม็ดหลังจากการอัดเม็ด โดยเก็บตัวอย่างอาหารผงและอาหารเม็ด กลุ่มการทดลองละ 4 ตัวอย่างขณะที่อุณหภูมิของอาหารคงที่ วัดความชื้นทันทีหลังจากการเก็บตัวอย่าง

2.3 กระแสไฟ (AMP) ในการอัดเม็ด โดยดูข้อมูลในชุดการทดลองที่ 5 10 และ 15

2.4 ประสิทธิภาพการผลิตอาหารใน 1 ชั่วโมง

2.5. พลังงานไฟฟ้า (Kwh/T)

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (Kwh/T)} = \frac{\text{Amp} \times 380 \times 0.8 \times 0.8 \times 1.732}{\frac{T}{h} \times 1000}$$

2.5. วัดค่าความคงทนของเม็ดอาหาร (pellet durability index) ตามวิธีการของ ASAS Standard : ASAE 5269.3 (ASAE, 1983) ค่าความคงทนมาตรฐานของเม็ดอาหาร และความคงทนตัดแปรของเม็ดอาหาร โดยเพิ่มแรงกระแทกขณะทดสอบโดยใช้เม็ด 6 เหลี่ยมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 ซม. และสูง 0.5 ซม.

2.6. วัดเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหาร ตามวิธีการของ Fairfield (2005) ใช้อาหารในการวิเคราะห์ครั้งละ 30 กิโลกรัม

2.7. วิเคราะห์การละลายได้ของโปรตีน (ความสามารถของการละลายได้ใน 0.2% KOH ) (Araba and Dale, 1990)

2.8 เปรอร์เซ็นต์การเข้าย่อยได้ของเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (amylglucosidase) (Gibson,1993 )

## การทดลองที่ 2 ศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะ

### สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (คูรีออกซาร์จไวท์xแลนดร์เซซ) ที่น้ำหนักประมาณ 8 - 9 กิโลกรัม จำนวน 24 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ตัว ฆ่า ฆ่าละ 1 ตัว

### อาหารทดลองและการให้อาหาร

อาหารทดลองเป็นอาหารที่ได้จากการผลิตในการทดลองที่ 1 โดยสุ่มสุกรแต่ละกลุ่มให้ได้รับอาหารทดลองสูตรใดสูตรหนึ่ง

### อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- โครมิกออกไซด์ (chromic oxide)
- สารละลายกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) 6 N
- กระดาษลิทมัส สำหรับวัดความเป็นกรด - ด่าง
- กรงเมแทบอลิซึม (metabolic cage) ถึงใส่อาหาร อุปกรณ์ตัดอาหาร
- เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการผสมอาหารกับโครมิกออกไซด์ ได้แก่ ถังใส่อาหาร เครื่องชั่งหยาบ เครื่องชั่งละเอียด อุปกรณ์ตัดอาหาร
- อุปกรณ์ สำหรับเก็บมูลและปัสสาวะของสุกร อาทิ ถังพลาสติก ช้อน ขวดพลาสติก

### วิธีการทดลอง

1. ทำการเลี้ยงสุกร จำนวน 24 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ตัว ฆ่า ฆ่าละ 1 ตัว เลี้ยงสุกรขังเดี่ยวในกรงเมแทบอลิซึมที่สามารถเก็บมูลและปัสสาวะได้ เป็นเวลา 14 วัน (ระยะทดลองประมาณ 7 วัน) สุกรจะได้กินอาหารและน้ำดื่มที่ (*ad libitum*)

2. ให้อาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 โดยสุ่มสุกรแต่ละกลุ่มให้ได้รับอาหารทดลองสูตรใดสูตรหนึ่ง เป็นระยะเวลา 7 วัน หลังจากนั้น ผสมโครมิกออกไซด์ (chromic oxide) 1% ลงในอาหาร

ทดลองในวันที่ 8 เริ่มบันทึกปริมาณอาหารที่สุกรได้รับทุกวันและในวันที่ 12 ของการทดลองให้อาหารผสม โครมิกออกไซด์อีกครั้งพร้อมบันทึกน้ำหนักอาหารครั้งสุดท้าย เริ่มเก็บมูลหลังจากที่สุกรถ่ายมูลออกมาเป็นสีเขียวครั้งแรกประมาณวันที่ 9 ของการทดลองเก็บมูลและปัสสาวะทุกวัน จนมูลของสุกรเป็นสีเขียวอีกครั้งประมาณวันที่ 13 เก็บมูลและปัสสาวะจนหมด รวมระยะเวลาการทดลองทั้งหมด 14 วัน (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 วิธีการให้อาหาร การเก็บมูล และปัสสาวะ

วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
อาหาร	F	F	F	F	F	F	F	F*	F	F	F	F*	F	F
มูล	FE	FE	FE	FE	FE	FE	FE	FE	FE*	FE	FE	FE	FE**	FE

หมายเหตุ F\* (feed) อาหารผสมโครมิกออกไซด์

F (feed) วันที่บันทึกปริมาณอาหาร

FE\* (fecal) เริ่มเก็บตัวอย่างมูลที่เป็นสีเขียว และปัสสาวะ

FE (fecal) วันที่เก็บตัวอย่างมูล และปัสสาวะ

FE\*\* (fecal) สุกรเริ่มถ่ายมูลเป็นสีเขียวอีกครั้ง

#### แผนการทดลอง

การทดลองวางแผนแบบ 2 x 2 แฟกตอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (2 x 2 factorial experiment in randomized completely design)

ปัจจัย A = ขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่บดผ่านตะแกรง ซึ่งมี 2 ทรีตเมนต์ คือ

$a_1$  = ขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่บดผ่านตะแกรงขนาด 2.0 มม.

$a_2$  = ขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่บดผ่านตะแกรงขนาด 3.0 มม.

ปัจจัย B = ขนาดเม็ดอาหาร ซึ่งมี 2 ทรีตเมนต์ คือ

$b_1$  = อาหารอัดเม็ดขนาด 2.8 มม.

$b_2$  = อาหารอัดเม็ดขนาด 3.8 มม.

## การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองวางแผนแบบ 2 x 2 แฟกตอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (2 x 2 factorial experiment in completely randomide design) โดยมี 2 ปัจจัยที่ศึกษา คือ ขนาดอนุภาคของข้าวโพด และขนาดเม็ดอาหาร ซึ่งมีแบบหุ่นจำลองดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

โดยที่  $Y_{ijk}$  = ค่าสังเกตจาก ซ้ำที่ k ของระดับที่ i จากปัจจัย A และระดับที่ j จากปัจจัย B

$\mu$  = ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด

$\alpha_i$  = อิทธิพลของปัจจัยด้านขนาดอนุภาคของข้าวโพด(A)

$\beta_j$  = อิทธิพลของปัจจัยด้านขนาดของเม็ดอาหาร(B)

$\alpha\beta_{ij}$  = อิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านขนาดเม็ดอาหารและขนาดอนุภาคของข้าวโพด

$\varepsilon_{ijk}$  = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ในโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 2003)

## การบันทึกข้อมูล

### 1. การเก็บตัวอย่าง

#### 1.1. อาหารทดลอง

บันทึกปริมาณอาหารที่สุกรแต่ละตัวได้รับในแต่ละวันตามตารางวิธีการให้อาหาร ( ตารางที่ 13 ) หลังจากนั้นนำตัวอย่างอาหารที่สุกรได้รับในการทดลอง นำไปบดให้ละเอียด เพื่อวิเคราะห์ความชื้น องค์กรประกอบทางโภชนา โพรตีน ไขมัน และเยื่อใย ของอาหารทดลอง โดยใช้วิธี proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) และพลังงานโดยใช้ Bomb Calorimeter

## 1.2.มูลสุกร

การเก็บมูลสุกรและปัสสาวะ ทำการเก็บมูลสุกร และปัสสาวะของสุกรแต่ละตัว ทั้งหมด ในช่วงทดลองตามตารางการให้อาหารและการเก็บมูลสุกร (ตารางที่ 13 ) เริ่มเก็บมูลและปัสสาวะ ครั้งแรกเมื่อมูลของสุกรมีสีเขียวของ โครมิกออกไซด์ปรากฏออกมาอย่างสม่ำเสมอบันทึกปริมาณ มูล และปัสสาวะที่เก็บได้ทั้งหมดในแต่ละวัน เก็บตัวอย่างมูลใส่ถุงพลาสติก ตัวอย่างละประมาณ 200 กรัม และเก็บปัสสาวะใส่ขวดพลาสติก ตัวอย่างละ 200 มิลลิลิตร วันละ 3 ครั้ง เช้า กลางวันและ เย็น เวลา 08.00 12.00 และ 17.00 น.หลังจากนั้นนำตัวอย่างมูลและปัสสาวะมาเติมสารละลาย กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) 6 N เพื่อปรับให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 และนำตัวอย่างเก็บในตู้แช่ แข็งที่อุณหภูมิ  $-4\text{ }^{\circ}C$  เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

เมื่อทำการวิเคราะห์ จะนำตัวอย่างมาตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและนำตัวอย่างแต่ละชุดการ ทดลองมารวมกันแล้วผสมจนเข้ากันดีเก็บตัวอย่างประมาณ 200 กรัม หลังจากนั้นนำมูลไปตากแดด ให้ค่อนข้างแห้งประมาณ 1 สัปดาห์ แล้วจึงนำมาอบแห้งสนิทที่อุณหภูมิ  $70\text{ }^{\circ}C$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมูลที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของมูล โปรตีน ไขมัน และเยื่อใย โดยใช้วิธี proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) และพลังงานโดยใช้ Bomb Calorimeter

## 2. การบันทึกข้อมูล

2.1 บันทึกปริมาณอาหารที่สุกรได้รับ ปริมาณอาหารที่สุกรแต่ละตัวได้รับในช่วง ทดลอง (ตารางที่ 13 )

### 2.2 บันทึกปริมาณมูลสุกร

2.2.1.ปริมาณน้ำหนักรวมของมูลสุกร

2.2.2.น้ำหนักมูลหลังจากนำไปตากแห้ง

2.2.3 น้ำหนักมูลหลังจากนำไปอบที่  $70\text{ }^{\circ}C$

## การคำนวณ

1. การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (Crampton และ Haris, 1996)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง(\%)} = \left( \frac{\text{น้ำหนักอาหารแห้งที่กิน} - \text{น้ำหนักมูลแห้ง}}{\text{น้ำหนักอาหารแห้งที่กิน}} \right) \times 100$$

2. การย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การย่อยแบบปรากฏได้ของโภชนะ(\%)} = \left( \frac{\text{ปริมาณโภชนะในอาหารที่กิน} - \text{ปริมาณโภชนะในมูล}}{\text{ปริมาณโภชนะในอาหารที่กิน}} \right) \times 100$$

โภชนะที่ใช้คำนวณ คือ โปรตีน เยื่อใย และไขมัน

3. พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏในอาหาร (Apparent Metabolizable Energy : AME) (NRC, 1998)

- 3.1 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ Digestible Energy (DE)

$$DE = GE - FE$$

- 3.2 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ Apparent Metabolizable Energy (AME)

$$AME = DE - UE$$

### หมายเหตุ :

Gross Energy (GE) คือ พลังงานที่สันดาปได้

Digestible Energy (DE) คือ พลังงานที่ย่อยได้

Apparent Metabolizable Energy (AME) คือ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ

Fecal Energy (FE) คือ พลังงานที่สูญเสียไปในมูล

Urinary Energy (UE) คือ พลังงานที่สูญเสียไปในปัสสาวะ

### การทดลองที่ 3 ศึกษาสมรรถภาพการผลิตในของสุกรอนุบาล

#### สัตว์ทดลอง

สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (ครีโอล x ลาร์จ ไวท์ x แลนด์เรซ) โดยหย่านมที่อายุ 24 วัน น้ำหนักประมาณ 9-11 กก. จำนวน 1,488 ตัว

#### อาหารทดลองและการให้อาหาร

อาหารทดลองเป็นอาหารที่ได้จากการผลิตในการทดลองที่ 1 โดยสุ่มสุกรแต่ละกลุ่มให้ได้รับอาหารทดลองสูตรใดสูตรหนึ่ง

#### วิธีการทดลอง

เลี้ยงสุกรอนุบาลแยกเพศ จำนวน 1,488 ตัว (เพศผู้ตอน 744 ตัว เพศเมีย 744 ตัว) แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 62 ตัว เลี้ยงในโรงเรือนระบบปิด เป็นเวลา 32 วัน นำอาหารที่ได้จากงานทดลองที่ 1 มาใช้เลี้ยงสุกรโดยสุ่มสุกรแต่ละกลุ่มให้ได้รับอาหารทดลองสูตรใดสูตรหนึ่ง สุกรจะได้รับอาหารและน้ำดื่มที่ (*ad libitum*) ตลอดระยะเวลาการทดลอง

#### แผนการทดลอง

การทดลองวางแผนแบบ  $2 \times 2$  แฟคตอเรียลที่ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ( $2 \times 2$  factorial experiment in randomized completely block design) โดยมี 2 ปัจจัยที่ศึกษา คือขนาดอนุภาคของข้าวโพด และขนาดของขอมเม็ดอาหาร ซึ่งมีแบบหุ่นจำลองดังนี้

บล็อก  $B_k$  = เพศ ได้แก่ เพศผู้ตอน และเพศเมีย

A = ขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่บดผ่านตะแกรง ซึ่งมี 2 ทรีตเมนต์ คือ

$a_1$  = ขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่บดผ่านตะแกรงขนาด 2.0 มม.

$a_2$  = ขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่บดผ่านตะแกรงขนาด 3.0 มม.

ปัจจัย B = ขนาดเม็ดอาหาร ซึ่งมี 2 ระดับคือ

$b_1$  = อาหารอัดเม็ดขนาด 2.8 มม.

$b_2$  = อาหารอัดเม็ดขนาด 3.8 มม.

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้การทดลองแบบ 2 x 2 แฟคตอเรียลที่ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (2 x 2 factorial experiment in randomized completely block design)

$$Y_{ijkl} = \mu + B_k + \alpha_i + \beta_j + (\beta\alpha)_{ij} + \epsilon_{ijkl}$$

โดยที่  $i = 1, 2$   $j = 1, 2$

เมื่อ  $Y_{ijk}$  = ค่าสังเกตจากบล็อกที่ k ของระดับที่ i จากปัจจัย A และระดับที่ j จากปัจจัย B

$\mu$  = ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด

$B_k$  = บล็อกเพศ

$\alpha_i$  = อิทธิพลของปัจจัยด้านขนาดอนุภาคของข้าวโพด(A)

$\beta_j$  = อิทธิพลของปัจจัยด้านขนาดของเม็ดอาหาร(B)

$(\beta\alpha)_{ij}$  = อิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านขนาดเม็ดอาหารและขนาดอนุภาคของข้าวโพด

$\epsilon_{ijkl}$  = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ในโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 2003)

### การบันทึกข้อมูล

#### 1. ประสิทธิภาพการผลิต

1.1 บันทึกน้ำหนักลูกสุกรหย่านมาก่อนเริ่มการทดลอง

1.2.บันทึกน้ำหนักลูกสุกรเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

1.3 บันทึกปริมาณอาหารที่กินของลูกสุกร

## 1.4 บันทึกจำนวนสุกรที่ตายในช่วงการทดลอง

### 2. การคำนวณประสิทธิภาพการผลิต

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อตัวต่อวัน} = \frac{\text{น้ำหนักสุกรสุดท้าย} - \text{น้ำหนักสุกรเริ่มต้นการทดลอง}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อตัว} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้} - \text{น้ำหนักอาหารที่เหลือ}}{\text{จำนวนสุกร}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น}}$$

### สถานที่ทำการทดลอง

1. วิเคราะห์ปริมาณโภชนะในอาหารทดลอง ที่ห้องปฏิบัติการ บริษัทพנסโกคภัณฑ์ จำกัด อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี และภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
2. ศึกษาขนาดอนุภาคของข้าวโพด ณ สาขาวิชาเทคโนโลยีกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร
3. ศึกษาข้อมูลด้านประสิทธิภาพการผลิตอาหาร ที่บริษัทพנסโกคภัณฑ์ จำกัด จ.ชลบุรี
4. ศึกษาสมรรถภาพการผลิตที่บริษัทฟาร์มสุกรพנסโกคภัณฑ์ จำกัด จ.ชลบุรี
5. ศึกษาค่าการย่อยได้ที่สถานีวิจัยทับบาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.สระบุรี

### ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มทำการทดลอง : ธันวาคม 2550

สิ้นสุดการทดลอง : พฤษภาคม 2551

## ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

### ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการต่างๆ ของอาหารทดลองในแต่ละกลุ่มทดลองพบว่าอาหารทดลองมีองค์ประกอบทางโภชนาการต่างๆ ใกล้เคียงกับปริมาณโภชนาการที่ได้จากการคำนวณสูตรอาหาร (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี	อาหารทดลอง			
	ข้าวโพดขนาด 644 ไมครอน		ข้าวโพดขนาด 773 ไมครอน	
	อาหารขนาด	อาหารขนาด	อาหารขนาด	อาหารขนาด
	2.8 มม.	3.8 มม.	2.8 มม.	3.8 มม.
ความชื้น (%)	10.9	11.1	11.1	10.8
วัตถุแห้ง (%)	89.1	88.9	88.9	89.2
โปรตีน (%)	21.62	21.41	21.86	21.13
ไขมัน (%)	7.58	7.67	6.35	7.18
เยื่อใย (%)	4.68	4.52	4.85	4.70
เถ้า (%)	7.24	7.03	7.65	7.12
แคลเซียม (%)	1.45	1.32	1.31	1.43
ฟอสฟอรัส (%)	0.947	0.872	0.973	0.897
พลังงานรวม(GE) (kcal/kg)	4484.1	4535.14	4546.05	4742.31
Protein Solubility (%)	70.26	69.92	69.87	70.80
Enzyme susceptibility (%)	4.25	4.55	4.23	5.28

ค่าการละลายได้ของโปรตีนในสารละลาย 0.2% KOH (protein solubility) เป็นค่าที่บ่งบอกการผลิตที่อาจจะได้รับความร้อนมากเกินไป ค่าการละลายได้ของโปรตีนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 70-75 % (Araba and Dale , 1990) ค่าการละลายได้ของโปรตีนที่น้อยกว่า 70% แสดงว่าอาหารได้รับความร้อนมากเกินไป ค่าที่มากกว่า 75% แสดงว่าอาหารไม่สุกและจากการทดลองพบว่าค่าการ

ละลายได้ของโปรตีนนั้นใกล้เคียงกันแสดงว่าความร้อนในกระบวนการอัดเม็ดไม่ได้ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของคุณภาพโปรตีนในอาหารแต่ละกลุ่มการทดลอง เนื่องจากโรงงานที่ใช้ในการผลิตอาหารได้มีการกำหนดมาตรฐานของอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหารไม่ให้ต่ำกว่า 80 °C ทางด้านเปอร์เซ็นต์การเข้าย่อยได้ของเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (amylglucosidase) ต่อแป้ง (enzyme susceptibility) ค่าที่มากกว่าแสดงว่าเอนไซม์สามารถย่อยแป้งได้มากกว่า พบว่าในอาหารทดลองที่ใช้ข้าวโพดบดผ่านตะแกรง 3 มม. ขนาดของเม็ดอาหาร 3.8 มม. เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส สามารถย่อยแป้งได้มากที่สุด

### การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพกระบวนการบดและการอัดเม็ดอาหารสุกร

ข้อมูลการบดข้าวโพด ซึ่งประกอบด้วย ความชื้น อุณหภูมิ ความหนาแน่น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ประสิทธิภาพการบดข้าวโพดต่อชั่วโมง และขนาดของอนุภาคข้าวโพด แสดงไว้ในตารางที่ 15 โดยในการผลิตทำการปรับการทำงาน of เครื่องบดตามสภาวะการผลิต เพื่อให้เครื่องบดสามารถบดข้าวโพดได้มากที่สุด

ตารางที่ 15 ผลของขนาดตะแกรงบดที่มีต่อประสิทธิภาพการบดข้าวโพด

ข้าวโพด	ตะแกรง		
	ขนาด 2 มม.	ขนาด 3 มม.	P>F
ขนาดข้าวโพด			
- ขนาดอนุภาค ( $D_{gw}$ : micron)	644.00	773.29	0.0315
- ความสม่ำเสมอของอนุภาค ( $S_{gw}$ )	1.62	1.69	0.5080
ประสิทธิภาพการบด (t/h)	12.67	15.50	-
พลังงานไฟฟ้า (kWh/t)	3.93	3.12	-
ความหนาแน่น (g/ml)	605	602	0.9009
อุณหภูมิ (°C) - ก่อนบด	30.00	30.00	-
- หลังบด	34.04	33.50	0.1287
ความชื้น(%) - ก่อนบด	13.38	13.40	-
- หลังบด	12.64	13.32	<0.001

หมายเหตุ: - ไม่มีการวิเคราะห์ค่าทางสถิติเนื่องจากมีการบันทึกข้อมูลครั้งเดียว

## 1. การบดข้าวโพด

### 1.1 ขนาดของข้าวโพดและความหนาแน่น

ขนาดของตะแกรงส่งผลให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ย ( $D_{gw}$ ) ของข้าวโพดแตกต่างกัน ( $P < 0.05$ ) ขนาดอนุภาคข้าวโพดที่ได้หลังจากการบดผ่านตะแกรงบดขนาด 3 มม. จะได้ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 773 ไมครอน ส่วนข้าวโพดที่บดผ่านตะแกรงบดขนาด 2 มม. จะได้ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 644 ไมครอน เนื่องจากตะแกรงจะเป็นตัวกำหนดขนาดของอนุภาคข้าวโพด ตะแกรงที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ก็จะทำให้ขนาดอนุภาคของข้าวโพดมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย (ตารางที่ 15) ทางด้านความสม่ำเสมอของอนุภาค ( $S_{gw}$ ) ของข้าวโพดบดมีค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของข้าวโพดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) และ ความหนาแน่นของข้าวโพดที่ได้ใกล้เคียงกันอาจเนื่องมาจากขนาดของอนุภาคข้าวโพดที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (129 ไมครอน) จึงทำให้ความหนาแน่นของข้าวโพดมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

### 1.2 ประสิทธิภาพการบด และพลังงานไฟฟ้า

ผลจากการศึกษาพบว่า การบดข้าวโพดด้วยตะแกรงบดขนาด 3 มม. จะให้ประสิทธิภาพการบดที่ดีกว่าการบดด้วยตะแกรงบดขนาด 2 มม. ดังแสดงในตารางที่ 15 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบดข้าวโพดด้วยตะแกรงบดขนาด 3 มม. จะใช้พลังงานในการบดเท่ากับ 3.12 kWh/T น้อยกว่าการบดข้าวโพดด้วย ตะแกรงบดขนาด 2 มม. ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 3.93 kWh/T การบดข้าวโพดด้วยตะแกรงบดขนาด 2.0 มม. เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคของข้าวโพดที่เล็กกว่าการบดด้วยตะแกรงขนาด 3.0 มม. ต้องใช้เวลาในการบดนานขึ้นเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่ต้องการ ส่งผลให้ใช้พลังงานไฟฟ้าในการบดมากขึ้นด้วย ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Healey *et al.*, (1994) ที่พบว่า การบดข้าวโพด 700 ไมครอนจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการบดข้าวโพดให้ได้ขนาดอนุภาค 500 ไมครอน โดยมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 9.2 และ 15.7 kWh/T ตามลำดับและมีประสิทธิภาพการบดต่อชั่วโมงเท่ากับ 0.97 และ 0.63 ตัน/ชม. ตามลำดับ ความแตกต่างของการใช้พลังงานไฟฟ้าและประสิทธิภาพการบดขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องบดด้วย Wandra *et al.* (1992) รายงานว่าในการบดวัตถุดิบให้มีขนาดเล็ก จะส่งผลให้ปริมาณการบดต่อชั่วโมงของข้าวโพดต่ำลง และทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้น

### 1.3 ความชื้นและอุณหภูมิ

ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 644 ไมครอน ความชื้นหลังจากการบดข้าวโพด จะลดลงมากกว่าข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 773 ไมครอน ส่งผลให้ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 644 ไมครอน มีความชื้นหลังจากการบดน้อยกว่าเนื่องจากข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าทำให้มีพื้นที่ผิวมากกว่าเกิดการสูญเสียความชื้นขณะบดมากกว่าข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 773 ไมครอน คือ 12.64 และ 13.32 % ตามลำดับ โดยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

อุณหภูมิหลังจากการบดของข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 664 ไมครอน จะมากกว่าข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 773 ไมครอน คือ 34.04 และ 33.50 °C ตามลำดับ เนื่องจากในขั้นตอนการบดเกิดการเสียดสี และแรงกระแทกระหว่าง ข้าวโพด ไบมีด และ ตะแกรงมากกว่า เพื่อให้ได้วัตถุดิบขนาดเล็ก ทำให้ข้าวโพดมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 15

## 2. การผลิตอาหาร

ในการผลิตอาหารอัดเม็ดได้ทำการบันทึกข้อมูลด้านกระบวนการอัดเม็ดอาหาร ซึ่งประกอบด้วย ความชื้น อุณหภูมิ ความหนาแน่น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ประสิทธิภาพการอัดเม็ดอาหารต่อชั่วโมง ความคงทนของเม็ดอาหารและเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหาร โดยปรับการทำงาน ความเร็วของเครื่องอัดเม็ด การเพิ่มปริมาณไอน้ำ และ ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องอัดเม็ดตามความเหมาะสมของสภาวะการผลิต เพื่อให้เครื่องอัดเม็ดสามารถอัดเม็ดอาหารได้ปริมาณมากที่สุด

### 2.1 อุณหภูมิ

การบันทึกอุณหภูมิในขณะอัดเม็ดอาหารจะทำการบันทึกเมื่ออุณหภูมิของอาหารคงที่ บันทึกอุณหภูมิที่ปรากฏบนหน้าจอบคุมของเครื่องอัดเม็ด โดยแสดงในตารางที่ 16 พบว่าอาหารทดลองที่มีขนาดอนุภาคข้าวโพด 644 ไมครอน และมีขนาดเม็ดอาหาร 2.8 และ 3.8 มม. มีค่าอุณหภูมิอาหารผงร้อนเท่ากับ 81.64 และ 83.88 °C อุณหภูมิอาหารเม็ดร้อนมีค่าเท่ากับ 87.76 และ 95.00°C และอาหารทดลองที่มีขนาดอนุภาคข้าวโพด 773 ไมครอน และมีขนาดเม็ดอาหาร 2.8 และ 3.8 มม. มีค่าอุณหภูมิอาหารผงร้อนเท่ากับ 81.38 และ 89.36°C ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิอาหารเม็ดร้อนมีค่าเท่ากับ 88.06 และ 91.46°C ตามลำดับ การปรับอุณหภูมิของอาหารผงร้อนทำได้โดยการเติมไอน้ำ ที่มีความร้อนชื้นเข้าไปเพื่อคลุกเคล้ากับอาหาร โดยอุณหภูมิของอาหารผงร้อนจะส่งผลต่ออุณหภูมิอาหารเม็ดร้อน อาหารทดลองที่มี

ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน และมีขนาดของเม็ดอาหาร 3.8 มม. มีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดคือ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 11 °C เนื่องมาจากอนุภาคอาหารที่มีขนาดเล็กกว่า มีพื้นที่ผิวมากกว่าสามารถดูดซับความร้อนในระหว่างการอัดเม็ดได้มากกว่า รวมทั้งการอัดเม็ดผ่านจานอัดที่มีขนาด 3.8 มม. ทำได้ง่ายกว่า ในขณะที่อาหารที่มีขนาดเท่ากันคือ 3.8 มม. แต่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน มีการเพิ่มของอุณหภูมิน้อยที่สุด เนื่องจากการปรับอุณหภูมิของเครื่องที่สูงมากใน conditioner หรือขณะเป็นอาหารผง ทำให้เมื่อผ่านรูของจานอัดไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นได้ รวมทั้งขนาดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถดูดซับความร้อนเพิ่มได้อีก

## 2.2 ความชื้น

ผลของการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อความชื้นของอาหารผงร้อนนั้นพบว่า ไม่มีปฏิกริยาร่วมของปัจจัยด้านขนาดอนุภาคของข้าวโพด และขนาดของเม็ดอาหารต่อค่าความชื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตามพบว่าขนาดของเม็ดอาหารที่แตกต่างกันส่งผลให้ความชื้นของอาหารผงร้อนแตกต่างกัน ( $P < 0.01$ ) โดยขนาดของเม็ดอาหาร 2.8 และ 3.8 มม. มีความชื้นของอาหารผงร้อนเท่ากับ 14.05 และ 14.66 % ตามลำดับ รวมทั้งส่งผลให้ความชื้นของอาหารเม็ดร้อนแตกต่างกัน ( $P < 0.01$ ) โดยพบว่าอาหารทดลองที่มีขนาดของเม็ดอาหาร 2.8 และ 3.8 มม. มีความชื้นของอาหารเม็ดร้อนเท่ากับ 14.13 และ 14.93% ตามลำดับ พบว่าอาหารที่มีขนาดเม็ดใหญ่กว่าจะมีความชื้นของอาหารเม็ดร้อนสูงกว่า อาหารที่มีขนาดของเม็ดอาหาร 3.8 มม. จะมีความชื้นสูงกว่า ขนาดของเม็ดอาหาร 3.8 มม. เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะเป็นการเพิ่มปริมาณของไอน้ำที่มีความร้อนสูงเข้าไปในอาหารทำให้เกิดการคลุกเคล้าของอาหารผงและไอน้ำ อาหารที่มีขนาด 3.8 มม. มีความชื้นของอาหารเพิ่มขึ้นมากกว่าเนื่องมาจากการอัดเม็ดอาหารผ่านจานอัดที่มีขนาดใหญ่จะเกิดแรงเสียดสีที่น้อยกว่า รวมทั้งใช้เวลาในขณะที่อัดเม็ดน้อยกว่า ทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นน้อยกว่า อาหารที่มีขนาด 2.8 มม.

**ตารางที่ 16** อุณหภูมิ ความชื้น ในการผลิตอาหารสุกรอนุบาลและความหนาแน่นของอาหารอัดเม็ด

	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้น (%)			ความหนาแน่นของอาหารอัดเม็ด (g/ml)
	อาหารผงร้อน	อาหารเม็ดร้อน	อาหารผงร้อน	อาหารเม็ดร้อน	อาหารเม็ดร้อน	อาหารอัดเม็ด (g/ml)	
ขนาดอนุภาคข้าวโพดและเม็ดอาหาร							
- 644 ไมครอน x 2.8 มม.	81.64	87.76	14.16	14.08		645.0	
- 644 ไมครอน x 3.8 มม.	83.88	95.00	14.58	14.96		640.0	
- 773 ไมครอน x 2.8 มม.	81.38	88.06	13.94	14.18		650.0	
- 773 ไมครอน x 3.8 มม.	89.36	91.46	14.74	14.90		638.0	
ขนาดอนุภาค							
- 644 ไมครอน	82.76	91.38	14.37	14.52		642.5	
- 773 ไมครอน	85.37	89.76	14.34	14.54		644.0	
ขนาดเม็ดอาหาร							
- 2.8 มม.	81.51	87.91	14.05 <sup>a</sup>	14.13 <sup>a</sup>		647.5	
- 3.8 มม.	86.62	93.23	14.66 <sup>b</sup>	14.93 <sup>b</sup>		639.0	
P-value							
- ขนาดอนุภาคข้าวโพดและเม็ดอาหาร	-	-	0.1930	0.1003		0.8800	
- ขนาดอนุภาค	-	-	0.8328	0.9097		0.7670	
- ขนาดเม็ดอาหาร	-	-	0.0005	<0.0001		0.8700	
Pooled SE±	-	-	0.1398	0.1145		2.50	

- ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติเนื่องจากมีการบันทึกข้อมูลเพียงครั้งเดียว

<sup>a,b</sup> อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวกันของขนาดเม็ดอาหารแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

## 2.3 ความหนาแน่นของอาหาร

ผลของการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อความหนาแน่นของอาหารไม่พบปฏิกริยาร่วมของทั้งสองปัจจัย และปัจจัยจากขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหาร ค่าความหนาแน่นของอาหารใกล้เคียงกันเนื่องจากอาหารมีขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดเม็ดอาหารใกล้เคียงกัน โดยในอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาคเท่ากัน อาหารอัดเม็ดขนาด 2.8 มม. มีค่าความหนาแน่นมากกว่าเนื่องจากเม็ดอาหารที่มีขนาดเล็กสามารถเรียงตัวกันได้แน่นมากกว่าอาหารที่มีขนาดใหญ่ในพื้นที่ ที่มีขนาดเท่ากัน

## 2.4 พลังงานไฟฟ้าและประสิทธิภาพการอัดเม็ด

ผลของการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อค่าพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการอัดเม็ดอาหาร ไม่พบปฏิกริยาร่วมของทั้งสองปัจจัยต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า แต่พบว่าทั้งขนาดอนุภาคของข้าวโพด และขนาดของเม็ดอาหารมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยขนาดอนุภาคของข้าวโพดที่แตกต่างกันส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน ( $P < 0.05$ ) อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า โดยอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 และ 773 ไมครอน ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 4.46 และ 4.24 kWh/T ตามลำดับ เนื่องจากอาหารสามารถจับตัวกันได้ดีกว่า สามารถผ่านจานอัดได้ง่าย โดยสารโรซ (2547) กล่าวว่าความร้อนและความชื้นในอาหารช่วยให้เกิดปฏิกริยาทางเคมี เช่น ทำให้แป้งสุก ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปถึงการจับกันเป็นเม็ดของอาหาร ตลอดจนช่วยหล่อลื่นให้อาหารเลื่อนผ่านรูอัดง่ายขึ้นลดแรงเสียดสีลงสามารถอัดเม็ดได้ง่ายขึ้น ซึ่งอาหารกลุ่มนี้จะมีอุณหภูมิของอาหารผงสูงกว่า และปัจจัยจากขนาดของเม็ดอาหาร ก็ส่งผลต่อพลังงานไฟฟ้าเช่นเดียวกัน โดยพบว่าอาหารที่อัดเม็ดขนาด 3.8 มม. จะใช้พลังงานน้อยกว่า ( $P < 0.01$ ) อาหารที่อัดเม็ดขนาด 2.8 มม. อาหารที่อัดเม็ดขนาด 3.8 และ 2.8 มม. ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 4.50 และ 4.20 Kwh/T ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการอัดเม็ดอาหารเส้นผ่าศูนย์กลางที่มีขนาดเล็กนั้นทำได้ยาก จานอัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2.8 มม. ไม่สามารถเร่งรอบการผลิต (RPM) ได้มาก ทำให้การปรับอุณหภูมิภายในเครื่อง conditioner ให้สูงเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนด (ไม่ต่ำกว่า 80 °C) ซึ่งในช่วงที่อาหารคลุกเคล้ากับไอน้ำต้องใช้ไอน้ำปริมาณมาก ทำให้อาหารเปียกมาก และเกิดการไหลของอาหารออกนอกเครื่อง (over flow) เครื่องหยุดทำงานส่งผลให้เสียเวลาในการผลิตเพิ่มมากขึ้น อาหารที่มีขนาด 3.8 มม. ใช้จานอัดขนาดใหญ่กว่า อาหารจึงผ่านจานอัดได้ง่ายกว่า

ตารางที่ 17 สมรรถภาพการผลิตอาหารสุกรอนุบาล

	พลังงานไฟฟ้า (Kwh/T)	ประสิทธิภาพ การอัดเม็ด (T/H)	ความคงทนของเม็ดอาหาร		เปอร์เซ็นต์ฝุ่น (%)
			มาตรฐาน	คิดแปร	
ขนาดอนุภาคข้าวโพดและเม็ดอาหาร					
- 644 ไมครอน x 2.8 มม.	4.65	7.50	97.24	93.76 <sup>A</sup>	9.40 <sup>a</sup>
- 644 ไมครอน x 3.8 มม.	4.27	12.50	97.08	94.48 <sup>A,C</sup>	9.35 <sup>a,c</sup>
- 773 ไมครอน x 2.8 มม.	4.35	7.89	97.08	95.44 <sup>B</sup>	8.24 <sup>b</sup>
- 773 ไมครอน x 3.8 มม.	4.13	11.50	97.04	94.76 <sup>C</sup>	9.00 <sup>c</sup>
ขนาดอนุภาค					
- 644 ไมครอน	4.46 <sup>X</sup>	10.00	97.16	94.12 <sup>X</sup>	9.38 <sup>X</sup>
- 773 ไมครอน	4.24 <sup>Y</sup>	9.70	97.06	95.10 <sup>Y</sup>	8.62 <sup>Y</sup>
ขนาดเม็ดอาหาร					
- 2.8 มม.	4.50 <sup>m</sup>	7.70	97.16	94.59	8.82
- 3.8 มม.	4.20 <sup>n</sup>	12.00	97.06	94.62	9.17
P-value					
- ขนาดอนุภาคข้าวโพดและเม็ดอาหาร	0.3323	-	0.7708	0.0182	<0.0001
- ขนาดอนุภาค	0.0142	-	0.6281	0.0020	0.0021
- ขนาดเม็ดอาหาร	0.0020	-	0.6281	0.9410	0.2427
Pooled SE±	0.0800	-	0.2025	0.2660	0.1580

<sup>A-B-C</sup> และ <sup>X-Y</sup> อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

<sup>a-b-c, x-y</sup> และ <sup>m-n</sup> อักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ )

จากผลการศึกษานขนาดของเม็ดอาหารจึงส่งผลต่อประสิทธิภาพการอัดเม็ดใน 1 ชั่วโมงของอาหาร อาหารอัดเม็ดที่มีขนาด 3.8 มม. ที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 และ 773 ไมครอน. ผลผลิตได้ 12.5 ตัน/ชม. และ 11.54 ตัน/ชม. ตามลำดับ จะมากกว่าอาหารที่มีขนาด 2.8 มม. ที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 และ 773 ไมครอน ซึ่งผลิตได้ 7.50 และ 7.89 ตัน/ชม. ตามลำดับ โดยอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 และ 773 ไมครอน อัดเม็ดอาหารขนาดเท่ากัน คือ 2.8 และ 3.8 มม. ประสิทธิภาพการอัดเม็ดใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 17

## 2.5 คุณภาพของเม็ดอาหาร

ผลของการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อคุณภาพเม็ดอาหาร ไม่พบปฏิกริยาร่วมของทั้งสองปัจจัย และปัจจัยจากขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อค่าความคงทนของอาหารมาตรฐานของอาหารแต่ละสูตร โดยอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน ที่เม็ดอาหารขนาด 2.8 มม. และ 3.8 มม. มีค่าความคงทนมาตรฐานเท่ากับ 97.24 และ 97.08 % ตามลำดับ และ อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน ที่ขนาดของเม็ดอาหาร 2.8 มม. และ 3.8 มม. มีค่าความคงทนของเม็ดอาหารเท่ากับ 97.08 และ 97.04% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่ามีปฏิกริยาร่วมของขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อค่าความคงทนดัดแปรของอาหาร ( $P < 0.05$ ) ซึ่งทดสอบโดยใช้เนื้อไตใส่ลงในอาหารเพื่อเพิ่มแรงกระแทกขณะทดสอบคุณภาพของอาหารทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 17 จากการทดลองอาหารที่มีข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน และมีขนาดของเม็ดอาหาร 2.8 มม. มีความคงทนดัดแปรของอาหารสูงที่สุด (95.44 %) เนื่องจากอาหารที่มีขนาดเล็กอัดผ่านรูของจานอัดที่มีขนาด 2.8 มม. เกิดการเสียดสีระหว่างอาหารและรูของจานอัด อนุภาคของข้าวโพดสามารถจับตัวกันได้แน่นมากกว่าอาหารขณะอัดเม็ดอาหารผ่านจานอัดที่มีรูขนาด 3.8 มม. ทำให้ความคงทนดัดแปรของอาหารสูงกว่า ขณะที่อาหารทดลองที่มีข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน และมีขนาดของเม็ดอาหาร 3.8 มม. นั้นจะมีความคงทนดัดแปรของอาหารรองลงมา (94.76 °C) ส่วนทางด้านอาหารที่มีข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน ที่มีขนาดเม็ดอาหาร 2.8 มม. และ 3.8 มม. มีค่าความคงทนดัดแปรของอาหารไม่แตกต่างกัน และพบว่าขนาดอนุภาคของข้าวโพดก็ส่งผลต่อความคงทนดัดแปรของอาหารเช่นเดียวกัน โดยอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาด 773 ไมครอนมีค่าคงทนดัดแปรมากกว่า ( $P < 0.01$ ) อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน เนื่องจากอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน มีอุณหภูมิและความชื้นของอาหารผงใน conditioner สูงกว่า และขนาดของอนุภาคเฉลี่ยที่แตกต่างกันมีค่าเท่ากับ 129 ไมครอนอาจส่งผลให้พื้นที่ผิวของข้าวโพดที่มีโอกาสสัมผัสกับความร้อนและความชื้นใกล้เคียงกัน Wandtra *et al.* (1995b) ได้รายงานผลการศึกษาว่าข้าวโพดขนาดอนุภาค 600 ไมครอน มีขนาดของพื้นที่ผิวมากกว่าข้าวโพดขนาดอนุภาค

800 ไมครอน เท่ากับ 10 ซม<sup>2</sup> ส่งผลให้คุณภาพเม็ดอาหารแบบมาตรฐานไม่แตกต่างกัน และซาโรซ (2547) กล่าวว่า ความร้อนและความชื้น จะมีผลช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะของเม็ดอาหาร ทำให้เม็ดอาหารมีความเสถียรดีขึ้น ไม่ร่วงแตกตัวเป็นผงง่าย ทำให้การจับตัวของเม็ดอาหารดีขึ้น

ทางด้านเปอร์เซ็นต์ฝุ่นในอาหารนั้นพบว่า มีปฏิกริยาร่วมของปัจจัยจากขนาดอนุภาคของข้าวโพดขนาดของเม็ดอาหารต่อค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น ( $P < 0.01$ ) โดยอาหารทดลองที่มีข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน มีขนาดของเม็ดอาหาร 2.8 มม. มีเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารน้อยที่สุด (8.24%) และอาหารทดลองที่มีขนาดอนุภาคข้าวโพด 773 ไมครอน และมีขนาดเม็ดอาหาร 3.8 มม. มีเปอร์เซ็นต์ฝุ่นรองลงมา (8.99%) และพบว่าขนาดอนุภาคของข้าวโพดก็ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารเช่นเดียวกัน โดยอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน มีค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นน้อยกว่า ( $P < 0.01$ ) อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 664 ไมครอน ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าความคงทนคัดแปรของเม็ดอาหาร (ตารางที่ 17) ซึ่งเมื่ออาหารสามารถจับตัวกันได้แน่น อาหารมีความคงทนสูง โอกาสที่เม็ดอาหารจะแตกตัวเป็นผงจากการได้รับการกระแทกจากวิธีการทดสอบเปอร์เซ็นต์ฝุ่นก็น้อยลงไปด้วย

## 2.6 ต้นทุนการผลิตอาหาร

จากการศึกษาต้นทุนในการผลิตอาหาร คือต้นทุนที่เกิดจากการบดข้าวโพดและการอัดเม็ดอาหาร ต้นทุนในการบดข้าวโพดและการอัดเม็ดอาหารขึ้นอยู่กับการใช้พลังงานไฟฟ้าและประสิทธิภาพการบดหรือการอัดเม็ดใน 1 ชั่วโมง การบดข้าวโพดให้ได้ขนาด 773 ไมครอน มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าและมีประสิทธิภาพการบดต่อชั่วโมงสูงกว่าการบดข้าวโพดให้ได้ขนาด 664 ไมครอน (ตารางที่ 15) ในส่วนของกระบวนการอัดเม็ดอาหาร (ตารางที่ 17) ไม่พบปฏิกริยาร่วมของปัจจัยจากขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตามพบว่าขนาดของเม็ดอาหารที่แตกต่างกันส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดเม็ดอาหารที่มีขนาด 3.8 มม. จะน้อยกว่าอาหารที่มีขนาด 2.8 มม. อีกทั้งการผลิตอาหารที่มีขนาดของเม็ดอาหาร 3.8 มม. มีประสิทธิภาพการอัดเม็ดต่อชั่วโมงสูงกว่าอาหารที่มีขนาด 2.8 มม. ด้วยเช่นกัน

ดังนั้นอาหารที่มีต้นทุนในการผลิตอาหารต่ำที่สุด คืออาหารที่ใช้ข้าวโพดที่มีต้นทุนในการบดต่ำที่สุด และมีต้นทุนในกระบวนการอัดเม็ดต่ำที่สุด จากการทดลองนี้อาหารอัดเม็ดขนาด 3.8 มม. ที่ใช้ข้าวโพดขนาด 773 ไมครอน มีต้นทุนในการผลิตอาหารต่ำที่สุด

## การทดลองที่ 2 ศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะในอาหารของสุกรอนุบาล

### 1. ค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน ไขมัน และเยื่อใย

ผลของการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน ไขมัน และ เยื่อใย โดยในการศึกษาค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบไม่พบปฏิกิริยาร่วมของทั้งสองปัจจัย รวมทั้งปัจจัยด้านขนาดของอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน ไขมัน และเยื่อใย อย่างไรก็ตามพบว่าขนาดอนุภาคข้าวโพดมีผลทำให้ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนแตกต่างกัน ( $P < 0.05$ ) ค่าการย่อยแบบปรากฏของโปรตีนของกลุ่มสุกรที่กินอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน มีค่ามากกว่าสุกรที่กินอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาด 773 ไมครอน โดยมีค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนเท่ากับ 73.55 และ 72.16 ตามลำดับ (ตารางที่ 18) อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน มีค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนมากกว่าอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน เนื่องจากขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่มีขนาดเล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหาร ทำให้เกิดการย่อยได้ของโปรตีนที่สูงกว่า สอดคล้องกับการทดลองของ Ohh et al. (1983) ที่รายงานว่าข้าวโพดขนาด น้อยกว่า 700 ไมครอน มีค่าการย่อยได้ของโปรตีนคือ 82.9% มากกว่า อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาด 700-1000 ไมครอน คือ 80.5%

อิทธิพลจากปัจจัยของขนาดอนุภาคของข้าวโพดยังมีแนวโน้มส่งผลทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมันและเยื่อใย ของอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 664 ไมครอน มีค่ามากกว่าอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน เนื่องจากขนาดของอนุภาคของข้าวโพดที่มีขนาดเล็กกว่า ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับความร้อนมากกว่า สามารถสัมผัสกับน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารได้มากกว่าและ Regina et al (1999) ได้รายงานว่าขนาดของอนุภาควัตถุดิบที่มีขนาดเล็กนั้นจะเพิ่มการคลุกเคล้าอาหารกับน้ำย่อยของสุกรได้มากกว่า ผลจากการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษา Healy et al. (1994) ได้ศึกษาในสุกรอนุบาลพบว่าการย่อยได้ของวัตถุดิบของอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาด 500 ไมครอน มากกว่า อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาด 700 ไมครอน คือ 90.8 และ 90.4% ตามลำดับ และสาโรช (2547) กล่าวว่าทำให้ความร้อนแก่อาหารหากกระทำโดยถูกต้องเหมาะสม ทั้งในแง่ของอุณหภูมิ ความชื้น และชนิดของอาหารที่จะอัดเม็ด ก็จะมีผลในการเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะ และ Moran (1989) กล่าวว่า ความร้อน ความชื้น และแรงอัดที่เกิดจากการอัดเม็ด เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบของวัตถุดิบ

ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์ ค่าการย่อยได้ ของ โภชนะ

	การย่อยได้ ของวัตถุแห้ง (%)	AME (kcal/kg)	ค่าการย่อยได้แบบปรากฏ (%)		เชื้อไข
			โปรตีน	ไขมัน	
ขนาดอนุภาคข้าวโพดและเม็ดอาหาร					
- 644 ไมครอน x 2.8 มม.	70.80	3467.00 <sup>A</sup>	75.39	76.15	52.62
- 644 ไมครอน x 3.8 มม.	71.50	3471.76 <sup>A</sup>	78.82	77.32	53.55
- 773 ไมครอน x 2.8 มม.	69.10	3391.00 <sup>B</sup>	74.69	73.98	47.61
- 773 ไมครอน x 3.8 มม.	70.30	3442.00 <sup>A</sup>	73.23	72.75	46.88
ขนาดอนุภาค					
- 644 ไมครอน	71.15	3469.39 <sup>X</sup>	77.11 <sup>X</sup>	76.74	53.09
- 773 ไมครอน	69.70	3416.50 <sup>Y</sup>	73.96 <sup>Y</sup>	73.37	47.25
ขนาดเม็ดอาหาร					
- 2.8 มม.	69.92	3429.00	75.04	75.07	50.12
- 3.8 มม.	70.90	3456.88	76.03	75.04	50.22
P-value					
- ขนาดอนุภาคข้าวโพดและเม็ดอาหาร	0.3001	0.0410	0.3500	0.6400	0.8786
- ขนาดอนุภาค	0.0858	0.0311	0.0442	0.0921	0.0590
- ขนาดเม็ดอาหาร	0.4790	0.6102	0.7014	0.9927	0.9858
Pooled SE±	0.80	60.56	2.30	2.84	4.86

<sup>A-B</sup> อักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันของขนาดอนุภาคและขนาดเม็ดอาหารแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>X-Y</sup> อักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันของขนาดอนุภาคแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งสถิติ (P<0.05)

## 2. พลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ (apparent metabolizable energy : AME)

ผลของการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ จากการศึกษาคพบปฏิกิริยาร่วมของทั้งสองปัจจัย ส่งผลให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน ที่ขนาดของเม็ดอาหาร 2.8 มม. มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหารต่ำที่สุด ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารทดลองกลุ่มอื่นๆ เนื่องจากค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏมีความสัมพันธ์กับค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะ (NRC, 1998) ในการทดลองนี้โภชนะที่ทำการศึกษาคือ โปรตีน ไขมัน และเยื่อใย โดยอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาด 773 ไมครอน ที่อัดเม็ดขนาด 2.8 มม. มีค่าการย่อยได้แบบปรากฏของ โปรตีน ไขมัน และเยื่อใย ต่ำที่สุด ซึ่งส่งผลให้มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏต่ำที่สุดด้วยเช่นกัน โดยที่อาหารกลุ่มทดลองอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน และพบว่าขนาดอนุภาคของข้าวโพดก็ส่งผลให้มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏในอาหารแตกต่างกัน กลุ่มสุกรที่กินอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ ของอาหารมากกว่า ( $P < 0.05$ ) อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน สอดคล้องกับค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน ไขมัน และเยื่อใย ของอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน มีมากกว่าอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ดังนั้นพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาคอนุภาค 644 ไมครอน จึงมากกว่า อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน

### การทดลองที่ 3 ศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกรอนุบาล

#### 1. สมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกรอนุบาล

##### 1.1 น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโต อัตราการตาย และปริมาณการกิน

ผลของการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคข้าวโพด และขนาดของเม็ดอาหารต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสุกรอนุบาล ไม่พบปฏิกริยาร่วมของทั้งสองปัจจัย และปัจจัยจากขนาดอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มตลอดระยะเวลาการทดลอง อัตราการเจริญเติบโต อัตราการตาย และปริมาณการกินอาหารของสุกรอนุบาล (ตารางที่ 19) จากการศึกษาสุกรอนุบาลทุกกลุ่มถูกเลี้ยงภายในโรงเรือนเดียวกัน ซึ่งเป็นโรงเรือนระบบปิดมีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นภายในโรงเรือนให้เหมาะสมตลอดเวลา สุกรได้รับน้ำและอาหารเต็มที่ ไม่มีการติดโรค ซึ่งส่งผลให้น้ำหนักที่เพิ่มตลอดระยะเวลาการทดลอง อัตราการเจริญเติบโต อัตราการตาย และปริมาณการกินอาหารของสุกรอนุบาลทุกกลุ่มใกล้เคียงกัน

##### 1.2 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (feed conversion rate : FCR)

ผลของการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคข้าวโพด และขนาดของเม็ดอาหารต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกรอนุบาล ไม่พบปฏิกริยาร่วมของทั้งสองปัจจัย และขนาดของเม็ดอาหาร อย่างไรก็ตามพบว่าปัจจัยจากขนาดอนุภาคของข้าวโพดทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวแตกต่างกัน สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่า ( $P < 0.05$ ) กลุ่มสุกรที่กินอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน เนื่องจากผลการศึกษาในการทดลองที่ 2 อาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน และมีแนวโน้มค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และเยื่อใยมากกว่าอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน สุกรจึงใช้ประโยชน์จากโภชนะได้ดีกว่าโดยอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวจะดีขึ้นประมาณ 3 % สอดคล้องกับการศึกษาของ Baker and Herman. (1995) ศึกษาขนาดอนุภาคของข้าวโพดในสุกรหย่านม พบว่าทุก ๆ 100 ไมครอน ที่ขนาดอนุภาคข้าวโพดลดลง จะช่วยปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกรอนุบาลได้ 1-5%

ตารางที่ 19 ประสิทธิภาพการผลิตสุกรอนุบาล

	น้ำหนักเริ่มต้น (กก.)	น้ำหนักเมื่อสิ้นสุด การเลี้ยง(กก.)	น้ำหนักที่เพิ่ม (กก.)	อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว/วัน)
ขนาดอนุภาคข้าวโพดและเม็ดอาหาร					
- 644 ไมครอน x 2.8 มม.	10.31	18.27	7.97	248	402
- 644 ไมครอน x 3.8 มม.	10.06	18.33	8.27	259	418
- 773 ไมครอน x 2.8 มม.	9.90	17.75	7.84	244	405
- 773 ไมครอน x 3.8 มม.	10.30	18.11	7.81	244	413
ขนาดอนุภาค					
- 644 ไมครอน	10.19	18.30	8.12	254	410
- 773 ไมครอน	10.10	17.93	7.83	244	409
ขนาดเม็ดอาหาร					
- 2.8 มม.	10.11	18.01	7.91	246	404
- 3.8 มม.	10.18	18.22	8.04	252	412
P-value					
- ขนาดอนุภาคข้าวโพดและเม็ดอาหาร	0.4262	0.8110	0.3464	0.5813	0.8715
- ขนาดอนุภาค	0.8407	0.5489	0.3564	0.3267	0.9552
- ขนาดเม็ดอาหาร	0.8407	0.7331	0.3225	0.5347	0.4743
Pooled SE±	0.3966	0.6117	0.052	9.3562	4.829

**ตารางที่ 19** ประสิทธิภาพการผลิตสุกรอนุบาล (ต่อ)

ขนาดอนุภาคข้าวโพดและเม็ดอาหาร	อัตราการตาย (%)	อัตราการเปลี่ยนแปลง		ราคาอาหาร(บาท/กก.)	ต้นทุนอาหารต่อ น้ำหนักเพิ่ม 1 กก.
		อาหารเป็นน้ำหนัก	อาหารเป็นหน่วย		
- 644 ไมครอน x 2.8 มม.	2.66	1.62	16.7000	27.0054 <sup>A</sup>	
- 644 ไมครอน x 3.8 มม.	5.86	1.61	16.5550	26.6455 <sup>A</sup>	
- 773 ไมครอน x 2.8 มม.	3.46	1.65	16.6500	27.4725 <sup>A,B</sup>	
- 773 ไมครอน x 3.8 มม.	4.53	1.69	16.5000	27.8850 <sup>B</sup>	
<b>ขนาดอนุภาค</b>					
- 644 ไมครอน	4.26	1.62 <sup>x</sup>	16.6250	26.8255 <sup>x</sup>	
- 773 ไมครอน	4.00	1.67 <sup>y</sup>	16.5750	27.6788 <sup>y</sup>	
<b>ขนาดเม็ดอาหาร</b>					
- 2.8 มม.	3.06	1.64	16.6750	27.3470	
- 3.8 มม.	5.20	1.65	16.5250	27.2660	
<b>P-value</b>					
- ขนาดอนุภาคข้าวโพดและเม็ดอาหาร	0.4460	0.2052	-	0.0400	
- ขนาดอนุภาค	0.8474	0.0167	-	0.0247	
- ขนาดเม็ดอาหาร	0.1361	0.4696	-	0.5015	
Pooled SE±	1.3707	0.0203		0.3516	

<sup>A-B</sup> อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันของขนาดอนุภาคและขนาดเม็ดอาหารแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>x-y</sup> อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันของขนาดอนุภาคแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

Fairfield (2005) กล่าวว่า ความชื้น ความร้อน และความดันไอน้ำ ในกระบวนการอัดเม็ดอาหารจะช่วยทำให้อาหารเกิดการgelatinization และ ช่วยให้ส่วนประกอบในอาหารแตกตัวช่วยในการย่อยได้ของสัตว์ ทำให้สัตว์มีประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ดี สอดคล้องกับการทดลองของ Healy *et al.* (1994) ที่พบว่าสุกรอนุบาลที่ได้อาหารที่มีข้าวโพดขนาดอนุภาค 500 ไมครอน มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่า กลุ่มสุกรที่ได้รับอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 700 ไมครอน (1.46 และ 1.52 ตามลำดับ) และมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าคือมีค่าเท่ากับ 390 กรัม/วัน และ 360 กรัม/วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Ohh *et al.* (1983) ที่รายงานว่าสุกรอนุบาลที่ได้รับอาหารที่มีข้าวโพดขนาดอนุภาคเล็กกว่า 700 ไมครอน จะมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่า ( $P < 0.01$ ) สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 700 -1000 ไมครอน (1.74 และ 1.84 ตามลำดับ) จากการทดลองที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวจะมีค่าแตกต่างจากการศึกษาของ Healy *et al.* (1994) ในสุกรอนุบาล (น้ำหนักประมาณ 5.30 กก.) ซึ่งใช้ขนาดอนุภาคข้าวโพดที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากสุกรอนุบาลในช่วงแรกเกิดความเครียดจากการหย่านม การย้ายโรงเรือนและการเปลี่ยนอาหารจากเล็กรางเป็นอาหารอนุบาล ทำให้ปริมาณการกินในช่วงแรกต่ำ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำ และการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Healy *et al.* (1994)

## 2. ต้นทุนอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ( feed cost per gain : FCG)

ภายใต้เงื่อนไขของการผลิตอาหาร ราคาอาหารมาจากการประมาณค่าใช้จ่ายในการบด และการอัดเม็ดอาหาร เมื่อนำข้อมูล ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพการบด และค่าใช้จ่ายทั่วไป (ค่าเสื่อมเครื่องจักร ค่าแรง ค่าจัดจำหน่าย และอื่นๆ) มาคำนวณพบว่า การบดข้าวโพดเพื่อให้ได้ขนาด 644 ไมครอนส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายมากกว่าการบดข้าวโพดขนาด 773 ไมครอน ประมาณ 50 บาท/ตัน และการอัดเม็ดอาหารขนาด 2.8 มม.ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายมากกว่าการอัดเม็ดอาหารขนาด 3.8 มม.ประมาณ 150 บาท/ตัน โดยทั่วไปโรงงานอาหารสัตว์จะมีต้นทุนการผลิตอาหารอัดเม็ดสำหรับสุกรแตกต่างกันไป โดยโรงงานที่ทำการศึกษามีค่าใช้จ่ายในการผลิตอาหารสำเร็จรูปขนาดของเม็ดอาหาร 2.8 มม. ประมาณ 900 บาท/ตัน และ ขนาดของเม็ดอาหาร 3.8 มม. ประมาณ 750 บาท/ตัน

โดยผลของการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคของข้าวโพด และขนาดของเม็ดอาหารต่อต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมของสุกรอนุบาล พบว่ามีปฏิกริยาร่วมของทั้งสองปัจจัยต่อต้นทุนอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม โดยพบว่าสุกรอนุบาลที่ได้รับอาหารที่มีข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน และมีขนาดของเม็ดอาหาร 3.8 มม. มีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1

กิโลกรัมเท่ากับ 27.8850 บาท สูงที่สุด ( $P < 0.05$ ) และเมื่อคำนวณต้นทุนอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักของสุกร 1 ตัน เปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีต้นทุนต่ำที่สุด (ตารางที่ 19) สุกรอนุบาลกลุ่มนี้จะมีต้นทุนสูงกว่า 1,239.50 บาท และพบว่าปัจจัยจากขนาดอนุภาคของข้าวโพดส่งผลให้ต้นทุนอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยต้นทุนอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของกลุ่มสุกรที่ได้รับอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน มีต้นทุนเฉลี่ยอาหารต่อน้ำหนัก 1 กก.เท่ากับ 26.8255 บาท/กก. น้อยกว่า ( $P < 0.05$ ) กลุ่มสุกรที่กินอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาด 773 ไมครอน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 27.6788 บาท/กก. เมื่อคำนวณต้นทุนอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักสุกร 1 ตัน จะต่ำกว่า 853.30 บาท ในกลุ่มสุกรอนุบาลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาด 644 ไมครอน ขนาดเม็ดอาหาร 3.8 มม. จะต่ำที่สุดคือ 26.6455 บาท/กก. โดยอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และราคาอาหาร จะส่งผลต่อต้นทุนอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว

จากการศึกษาผลของขนาดของอนุภาคของข้าวโพดและขนาดของเม็ดอาหารต่อการอัดเม็ดอาหารในการทดลองที่ 1 อาหารอัดเม็ดขนาด 3.8 มม. ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน มีอุณหภูมิและความชื้นในการอัดเม็ดที่สูงกว่า ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโภชนะที่มากกว่า และพื้นที่ผิวที่มากกว่าของข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 644 ไมครอน ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า ช่วยเพิ่มสมรรถภาพการย่อยของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ส่งผลให้ในการทดลองที่ 2 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ และค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนสูงกว่า รวมทั้งมีแนวโน้มการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และเยื่อใย ของอาหารที่ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน สูงกว่าข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อสุกรสามารถนำโภชนะไปใช้ได้มากจะส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล โดยในการทดลองที่ 3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสุกรที่ได้รับอาหารขนาด 3.8 มม. ที่ใช้อนุภาคข้าวโพดขนาดอนุภาค 644 ไมครอน ให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกรอนุบาลดีที่สุด ในขณะที่มีต้นทุนอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ต่ำที่สุดด้วย

## สรุปผลการทดลอง

1. การบดข้าวโพดด้วยตะแกรงบด ขนาด 3 มม. จะให้ประสิทธิภาพการบดที่สูงกว่าและใช้พลังงานในการบดต่ำกว่า การบดด้วยตะแกรงบด ขนาด 2 มม.
2. การบดข้าวโพดด้วยตะแกรงบด ขนาด 2 มม. ได้ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 644 ไมครอนและ การบดข้าวโพดด้วยตะแกรงบด ขนาด 3 มม. ได้ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 773 ไมครอน
3. กระบวนการอัดเม็ดอาหารที่มีขนาด 3.8 มม. ให้ประสิทธิภาพในการอัดเม็ดต่อชั่วโมงสูงกว่า และใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าอาหารที่มีขนาด 2.8 มม.
4. อาหารที่มีขนาด 3.8 มม. ใช้ข้าวโพดขนาดอนุภาค 773 ไมครอน ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด และมีประสิทธิภาพการอัดเม็ดสูงที่สุด
5. การใช้ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 773 ไมครอน จะทำให้คุณภาพเม็ดของอาหารดีกว่า และเปอร์เซ็นต์ฝุ่นน้อยกว่า อาหารข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 644 ไมครอน
6. สุนัขที่กินอาหารที่ใช้ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 644 ไมครอน มีค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน สูงกว่ากลุ่มสุนัขที่กินอาหารใช้ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 773 ไมครอน และมีแนวโน้มของค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมันและเยื่อใยสูงกว่า
7. ค่า AME (kcal/kg) ของอาหาร ของอาหารที่ใช้ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 773 ไมครอน และอัดเม็ดอาหารขนาด 2.8 มม. มีค่าต่ำที่สุด
8. อาหารที่ทำให้สุนทรอนูบาลมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด อัตราการเปลี่ยนอาหารต่ำที่สุด และต้นทุนอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ต่ำที่สุด คืออาหารขนาด 3.8 มม. และใช้ข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค 644 ไมครอน

## ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองกรรมตาบอติซึมที่ใช้เป็นของสุกรขุน มีขนาดของรางอาหารที่ใหญ่ทำให้เกิดปัญหาในการกินอาหาร ควรมีการเตรียมขนาดกรงให้เหมาะสมในการทดลองครั้งต่อไป และสุกรอนุบาลมักมีปัญหาท้องเสียเนื่องจากความเครียดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมและอาหาร จึงส่งผลต่อการเก็บมูลสุกรแบบ Total Collection ควรมีการดัดแปลงวิธีการเก็บให้เหมาะสม

2. ในการทดลองครั้งนี้ การหาค่าการย่อยได้แบบ Total Collection อาจจะมีข้อผิดพลาดที่เกิดจากการเก็บมูลเนื่องจากต้องเก็บทั้งหมด แต่เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการผลิตอาหารแบบ commercial ไม่สามารถใช้ indicator เป็นตัวชี้วัดได้ ควรมีการทดลอง แบบ Total Collection ร่วมกับการใช้ indicator เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำ

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- โกสินทร์ สุขมณี. 2548. ผลของขนาดเม็ดอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซากและลักษณะของกระเพาะอาหารในสุกรระยะเล็ก รุ่น และขุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 52 น.
- ธำรงค์ดี พลบำรุง. 2550. การผลิตอาหารสัตว์ใช้ในฟาร์ม เพื่อลดต้นทุนการผลิต. สารสนเทศ & สุกร.ปีที่ 5 ฉบับที่ 50 เดือน กรกฎาคม 2550.84 น.
- ณัฐชนก อมรเทวภัทร. 2548. เอกสารประกอบการสอนวิชา เทคโนโลยีการผลิตอาหารสัตว์. โครงการจัดตั้งภาควิชาเทคโนโลยีทางกระบวนการเคมีและฟิสิกส์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 143น.
- พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์. 2539. หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 2 หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 294น.
- ภาวิณี ไท้มวงค์. 2549. ผลของขนาดข้าวโพดบดในอาหารไก่ไข่ ต่อสมรรถภาพการผลิตไข่และคุณภาพไข่ ภายใต้สภาพการเลี้ยงแบบหนาแน่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สาโรช คำเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น., 669น.
- สมาคมผู้ผลิตปลาป่นไทย. 2552. สถานการณ์และแนวโน้ม สินค้าเกษตรที่สำคัญ ปี 2552 . จดหมายข่าว สมาคมผู้ผลิตปลาป่นไทย. สมาคมผู้ผลิตปลาป่นไทย, กรุงเทพฯ. 05:64น.
- อุทัย คันโร. ม.ป.ป. **Feed and feedstuffs processing.** ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

- Amornthewaphat, N. 1999. **Effect of mixing process on diet characteristic and effects of feeder design and pellet quality on performance of growing-finishing pigs.** M.S.thesis, Kansas State University, Manhattan, KS.
- Araba, M. and N. M. Dale. 1990. Evaluation of protein solubility as an indicator of over processing of soybean meal. **Poult. Sci.** 69: 76-83.
- ASAE. 1983. **Method of determining and expressing fineness of feed material by sieving.** Pag 325 in ASAE Standard S319, Agricultural Engineers Yearbook of Standards. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Baird, D. M. 1973. Influence of pelleting swine diets on metabolizable energy, growth and carcass characteristics. **J. Anim. Sci.** 36: 516-521.
- Baker, S and T Herrman. 1995. **Evaluating particle size.** Kansas State University. Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, MF-2051.
- Cabrera, M. R. 1994. **Effect of sorghum genotype and particle size on milling characteristics and performance of finishing pigs, Broiler chick and Laying hens.** M.S. Thesis, Kansas State University.
- Fairfield , D. 2005. Pelleting. *In* **Feed Manufacturing Technology V.** Schoeff, K.E. American Feed Industry Association. Arlington, Virginia. 142 p.
- Gibson,T. S. ,C. J. Kaldor and B.V. Mcclary. 1993.Collaborative evaluation of an enzymatic starch damage assay kit and comparison with other method. **Cereal Chem.** 70: 47-51.
- Giesemann, M.A.,A. J. Lewis, J. D. Hancock and E. R. Peo Jr. 1990. Effect of particle size of corn and grain sorghum on growth and digestibility by grower pigs. **J. Anim. Sci.** 68 (Suppl.1) : 104 (Abstr.)

Hancock J.D. n/d. Thermal Processing Technologies (**Pelleting, Expanding, and Extruding**) to **Produce Quality Feed for Pig**. Department of Animal Sciences and Industry, Kansas State University, Manhattan, KS 66506-0201.

Hanke, H. E., J. W. Rust, R. J. Meade, and L. E. Hanson. 1972. Influence of source of soybean protein and of pelleting on rate of gain and gain/feed of growing swine. **Anim. Sci.** 35:958

Hanrahan, T. J. 1984. Effect of pellet size and pellet quality on pig performance. **Anim. Feed Sci. Technol.** 10:277-283.

Harris, D. D., L. F. Tribble and D. E. Orr, Jr. 1979. The effect of meal versus different size pelleted forms of sorghum-soybean meal diets of finishing swine. **Proceedings of the 27<sup>th</sup> Annual Swine Short Course**. 57p. Texas Tech University.

Healy, B. J., J. D. Hancock, G. A. Kennedy, P. J. Bramel-Cox, K. C. Behnke and R. H. Hines. 1994. Optimum particle size of corn hard and sorghum for nursery pigs. **J. Anim. Sci.** 72:2227

Hedde, R. D., T. O. Lindsey, R. C. Parish, H. D. Daniels, E. A. Morgenthien, and H. B. Lewis. 1985. Effect of diet particle size and feeding of H<sub>2</sub>-receptor antagonists on gastric ulcers in swine. **J. Anim. Sci.** 62:179.

Jensen, A. H. and D. E. Becker. 1965. Effect of pelleting diets and dietary components on the performance of young pigs. **J. Anim. Sci.** 24:392-397.

Kim Koch. 1996. **Hammermill and Roller mill**. Kansas State University. Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, MF-2048.

- Lavorel, O., J. Fekete and M. Leuillet. 1984. **A Comparative study concerning the utilization of pellets of different diameters by the weaned piglet.** 14<sup>th</sup> French Swine Research Day. Institut National de la Recherche Agronomique. 36p
- Lawrence, T. L. J. 1985. **Processing and preparation of cereals for pig diet.** . Recent Developments in Pig Nutrition. Butterworths, London. U.K. 231-245.
- Luce, W.G., I.T. Omtvedt and C.V. Maxwell. 1973. Effect of pellet size on pig performance. **J. Anim. Sci.** 36:204 (Abstr.).
- Manafi M., J. Naik. 2009. Effect of feed processing on pellet poultry feed. **Asian Feed.** 2009 (January/February):28-31.
- Martin, S. A. 1984. **Comparison of hammermill and roller mill grinding and the effect of particle size reduction on mixing and pelleting.** M.S. Thesis, Kansas State University.
- May, R.W., and J.M. Bell. 1971. **Digestible and metabolizable energy values of some feeds for the growing pig.** *Can. J. Anim. Sci.* 51:271-278.
- Moran, E. T. Jr. W. and D. J. A. Cole. 1989. Effects of pellet quality on the performance of meal birds. **Recent Advances in Animal Nutrition.** Butterworths, London, U.K. 87-108.
- Noblet, J., and J.M. Prez. 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. **J. Anim. Sci.** 71:3389-3398
- NRC. 1998. **Nutrient Requirement of Swine** 10<sup>th</sup> ed. National Academy Press, Washington, DC. 189 p. Ohh, S.J., G.L. Allee, K.C. Behnke, and C.W. Deyoe. 1983. **Effects of particle size of corn and sorghum grain on performance and digestibility of nutrients for weaned pigs.** *J. Anim. Sci.* 57 (Suppl.):260 (Abstr.)

- Ohh,S.J.,G.L.Allee,K.C.Behnke,and C.W.Deyoe.1983.Effects of particle size of corn and sorghum grain on performance and digestibility of nutrients for weaned pigs. **J.Anim.Sci.**57(Suppl.):260(Abstr.)
- Owens, J. M and M. Heimann. 1994. Material processing cost center, pp 81-104. *In* R. R. McElhiney, ed. **Feed Manufacturing Technology IV**. American Feed Industry Association, Arlington.
- Pond, W. G. and J.H.Manner.1984. **Swine Production and Nutrition**. The AVI Publ.Co.,Westport, Connecticut,U.S.A. 731p
- Regina, D. C., J. H. Eisemann, J. A. Lang and R. A. Argenzio. 1999. Changes in gastric contents in pigs fed a finely ground and pelleted or coarsely ground meal diet. **J. Anim. Sci.** 77:2721-2729.
- Reimer,L. 1992. Condition,p.7,Proc.Northern Crop Institute **Feed mill Management and Feed Manufacturing** Techol.Short Course,California Pellet mill Co.,Crawforddville.IN
- Robert D.G., M. D. Tokach, J. L. Nelssen, n.d .**The effect of Diet Particle Size on Animal Performance**. MF-2050. Feed Manufacturing,Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- SAS. 2003. **SAS user's guide: statistics**. SAS institute Inc. North Carolina. 548 p.
- Schofield, K.E. 2005. **Feed Manufacturing Technology V**. American Feed Industry Association. Arlington, Virginia: 670p.
- Stevens, C. A. 1987. **Starch Gelatinization and the Influence of Particle Size, Steam Pressure, and Die Speed on the Pelleting Process**. PhD. Dissertation. Kansas State University, Manhattan.

- Skoch, E. R., S. F. Binder, C. W. Deyoe, G. L. Allee and K. C. Behnke. 1983. Effect of pelleting conditions on performance of pigs fed a corn-soybean meal diet . **J. Anim. Sci.** 57:922-928.
- Traylor, S.L.,K.C. Behnke,J.D. Hancock, P. Sorrell and R.H. Hines. 1996. Effect of pellet size on growtg performance in nursery and finishing pigs. **J.Anim.Sci.**74(Suppl.1):67
- Tribble,L.F.,D.D.Harris and D.E. Orr,Jr.1979. Effect of pellet sized (diameter)on performance of finishing swine. **Proceedings of the 27<sup>th</sup> Annual Swine Short Course**.Texas Tech University,Lubbock.
- Wallker,W.R.,R.O.Myer,J.H.Brendemuhl and R.M. DeGregorio.1989. the use of pelleted or meal type prestarter diets for sow or milk replacerer rearer pigs. **University of Florida Swine Field Day**. Dept. Anim. Sci. Res. Rep. MA-1989-5.
- Timothy J. H. n.d. **Feed Quality Assurance**. American Soybean Association, Singapore.
- Wondra,K. J., J. D. Hancock, K. C. Behnke, G. A. Kennedy, and K. R.. 1995a. Effext of Reducing Particle size of Corn in Lactation Diet on Energy and Nitrogen Metabolism in Second-Parity of Sow. **J. Anim. Sci.** 73:427-432
- \_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, R. H. Hines and C. R. Stark. 1995b. Effects of Particle Size and Pelleting on Growth Performance,Nutrient Digestibility, and Stomach Morphology in Finishing Pigs. **J. Anim. Sci.** 73:757-763
- \_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ and C. R. Stark. 1995c. Effect of Mill Type and Particle Size Uniformity on Growth Performance , Nutrient Digestibility and Stomach Morphology in Finishing Pigs. **J. Anim. Sci.** 73:2564-2573

ภาคผนวก

## การวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของอนุภาค

การวิเคราะห์หาขนาดและความสม่ำเสมอของวัตถุดิบอาหารสัตว์และอาหารสัตว์ ทำได้โดยการเขย่าวัตถุดิบผ่านชุดอนุกรมตะแกรงร่อน โดยเลือกใช้ชุดอนุกรม 1.4 หรือ 2.0 (อัตราขนาดรูเปิดของตะแกรงที่อยู่ติดกัน) พิจารณาจากอนุภาคของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์และอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคในช่วง 150-1200 ไมครอน ในการทดลองเลือกใช้ชุดตะแกรงร่อน 9 ชั้น รายละเอียดแสดงในตารางผนวกที่ 1 เพื่อให้ครอบคลุมขนาดอนุภาคตัวอย่าง ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ของ American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 1983)

### เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องร่อนอนุภาค Shaker Model AS 200 BASIC S/N 1260712071
2. ตะแกรงร่อน (Sieve) อนุกรม 1.4 หมายเลขตะแกรงร่อน U.S. 6, 8, 12, 16, 20, 30, 40, 50 และถาดรอง
3. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
4. แปรงปัดทำความสะอาด
5. ถาดอะลูมิเนียม

### วิธีการวิเคราะห์

1. ผสมตัวอย่างให้เข้ากัน และลดขนาดตัวอย่างให้มีปริมาณเหมาะสมในการวิเคราะห์
2. ชั่งตัวอย่างวัตถุดิบอาหารหรืออาหารสัตว์ 100 กรัม
3. เทตัวอย่างลงบนตะแกรงร่อน 9 ชั้น ในชั้นบนสุด (ขนาดช่องเปิดกว้างที่สุด) ของเครื่องเขย่า
4. เปิดเครื่องร่อนเป็นเวลา 15 นาที ที่ความถี่ของการเขย่า 50 amplitude
5. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงร่อนแต่ละชั้น (ชั่งน้ำหนักของตะแกรงเขย่าที่มีตัวอย่าง และนำมาหักลบกับน้ำหนักตะแกรงเปล่า)
6. นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย ความสม่ำเสมอของอนุภาค พื้นที่ผิวของอนุภาค และจำนวนอนุภาคต่อกรัม โดยใช้กราฟฐานลอการิทึม (log) และคำนวณในโปรแกรม excel

ตารางผนวกที่ 1 อนุกรมสำหรับวิเคราะห์วัตถุอาหารสัตว์และอาหารสัตว์

รูเปิดของตะแกรง (ไมครอน)	อนุกรมวิเคราะห์	
	Tyler Mesh No.	USBS Sieve No
3,360	6	6
2,360	8	8
1,700	10	12
1,180	14	16
850	20	20
600	28	30
425	35	40
300	48	50
212	65	70
150	100	100
105	140	150
74	200	200
53	270	270
-	pan	pan

#### การคำนวณ

1. เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิตของอนุภาค (geometric mean diameter,  $D_{gw}$ )

$$D_{gw} = \log^{-1} \left\{ \frac{\sum W_i \log d_i}{\sum W_i} \right\}$$

2. ความสม่ำเสมอทางเรขาคณิตของอนุภาคตัวอย่างที่บด (geometric standard deviation,  $S_{gw}$ )

$$S_{gw} = \log^{-1} \left\{ \frac{\sum W_i (\log d_i - \log d_{gw})^2}{\sum W_i} \right\}$$

เมื่อ  $d_i$  = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยบนตะแกรงร่อนที่  $i$  ซึ่งคำนวณจาก  $(d_i \times d_{i-1})^{1/2}$   
 $W_i$  = น้ำหนักตัวอย่างบนตะแกรงร่อนที่  $i$

## การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองผลของตะแกรงบด และขนาดของเม็ดอาหาร โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา 2 ปัจจัย ขนาดของตะแกรงบด และขนาดของเม็ดอาหาร ได้แก่ ใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างแบบ orthogonal contrast

การผลิตอาหาร และค่าการย่อยได้ของโภชนะ

การใช้คำสั่งในโปรแกรม SAS

```
option ps=96 ls=96;
```

```
data;
```

```
input trt rep x;
```

```
cards;
```

```
ข้อมูล ;
```

```
run;
```

```
proc glm;
```

```
class room trt;
```

```
Model x = room trt;
```

```
lsmeans trt/pdiff stderr;
```

```
contrast 'Particle size' trt 1 1 -1 -1;
```

```
contrast 'Pellet size' trt 1 -1 1 -1;
```

```
contrast 'interaction' trt 1 -1 -1 1;
```

```
run;
```

## สมรรถภาพการผลิตสุกร

### การใช้คำสั่งในโปรแกรม SAS

```
option ps=96 ls=96;
data;
input trt rep x;
cards;
ข้อมูล ;
run;
proc glm;
class trt;
Model x=trt;
lsmeans trt/pdiff stderr;
contrast 'Particle size'   trt 1 1 -1 -1;
contrast 'Pellet size'     trt 1 -1 1 -1;
contrast 'interaction'    trt 1 -1 -1 1;
run;
```

ค่า x ในคำสั่งคือปัจจัยที่ต้องการศึกษา โดยจำนวน contrast = จำนวน trt - 1

### ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของมูลสุกร

ขนาดอนุภาคของข้าวโพด ขนาดเม็ดอาหาร	644 ไมครอน.		773 ไมครอน	
	2.8 มม.	3.8 มม.	2.8 มม.	3.8 มม.
วัตถุแห้ง (%)	95.70	95.79	95.57	95.56
โปรตีน (%DM)	23.82	22.57	21.99	22.71
ไขมัน (%DM)	6.87	7.18	7.57	10.30
เยื่อใย (%DM)	9.07	10.31	10.43	9.81
เถ้า (%DM)	9.50	8.00	9.00	8.20

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณอาหาร และมูลของสุกร ที่ศึกษาค่าการย่อยได้ ในระยะเวลา 5 วัน

ขนาดอนุภาคของข้าวโพด	644 ไมครอน.		773 ไมครอน	
	2.8 มม.	3.8 มม.	2.8 มม.	3.8 มม.
ขนาดเม็ดอาหาร	2.8 มม.	3.8 มม.	2.8 มม.	3.8 มม.
ปริมาณอาหารที่กิน	2250.83	2096.15	1975.15	1854.17
% น้ำหนักแห้ง	88.68	88.37	88.28	88.55
ปริมาณน้ำหนักแห้งของอาหาร	1996.04	1852.31	1743.59	1641.87
น้ำหนักมูลสุกรสด	1355.00	1200.11	1280.76	1020.09
น้ำหนักมูลสุกรตากแห้ง	609.75	552.05	563.54	510.05
% น้ำหนักแห้ง	95.70	95.79	95.57	95.56
ปริมาณน้ำหนักแห้งของมูล	583.53	528.81	538.57	487.09

ตารางผนวกที่ 4 ผลวิเคราะห์พลังงานที่สันดาป (GE) ได้ในอาหาร มูล และ ปัสสาวะ

ขนาดอนุภาคของข้าวโพด	644 ไมครอน.		773 ไมครอน	
	2.8 มม.	3.8 มม.	2.8 มม.	3.8 มม.
ขนาดเม็ดอาหาร	2.8 มม.	3.8 มม.	2.8 มม.	3.8 มม.
GE อาหาร kcal/kg	4484	4535	4546	4742
GE มูล kcal/kg	4193	4398	4314	4544
GE ปัสสาวะ kcal/kg	1976	1952	1879	1606

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอรทัย ลีนฤณี
เกิดวันที่	8 กันยายน 2520
สถานที่เกิด	ลำพูน
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (พ.ศ. 2543)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการอาหารสัตว์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัทปณัส โภคภัณฑ์ จำกัด จ.ชลบุรี