

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3
The 3rd STOU Graduate Research Conference

ผลของขนาดตะแกรงของเครื่องโม่ต่อประสิทธิภาพการบด การสูญเสียความชื้น
และค่าไฟฟ้าในการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง

**Effect of Hammer Mill Screen Sizes on Grinding Efficiency, Moisture Loss
and Grinding Electricity Cost of Corn and Soybean Meal**

พนบพร สำราญกิจ (Panopporn Samrankij) * มณฑิชา พุทษาคำ (Monticha Putsakum) **

จิตติมา กันตนามัลลกุล (Chittima Kantanamalakul)***

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของขนาดตะแกรงของเครื่องโม่ต่อประสิทธิภาพการบด การสูญเสียความชื้น และค่าไฟฟ้าในการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง

รูปแบบการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design: CRD) มี 3 ทริตเมนต์ แต่ละทริตเมนต์มี 4 ซ้ำ หน่วยทดลอง ได้แก่ ข้าวโพดทั้งเมล็ด จำนวน 600 ต้น และกากถั่วเหลือง จำนวน 600 ต้น สุ่มหน่วยทดลอง (50 ต้นต่อซ้ำ) ให้ได้รับการบดโดยใช้เครื่องโม่แฮมเมอร์มิลล์ ผ่านตะแกรงโม่ที่มีขนาดต่างๆ กัน ดังนี้ ทริตเมนต์ที่ 1 ตะแกรงโม่ขนาดตะแกรง 2.5 มิลลิเมตร (กลุ่มควบคุม) ทริตเมนต์ที่ 2 ตะแกรงโม่ขนาดตะแกรง 3.0 มิลลิเมตร และทริตเมนต์ที่ 3 ตะแกรงโม่ขนาดตะแกรง 3.5 มิลลิเมตร วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลต่างๆ ระหว่างกลุ่มทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ผลการศึกษาพบว่าข้าวโพดและกากถั่วเหลืองที่ผ่านการบดผ่านตะแกรงขนาด 3.5 มิลลิเมตร (ทริตเมนต์ที่ 3) มีขนาดอนุภาคหลังการบด ประสิทธิภาพการบด ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของเกล็ดในอาหารสัตว์สูงกว่า ($p < 0.05$) ทริตเมนต์ที่ 1 และ 2 และมีน้ำหนักสูญเสียหลังการบด ความหนาแน่นหลังการบด และอุณหภูมิหลังการบดต่ำกว่า ($p < 0.05$) ทริตเมนต์ที่ 1 และ 2 นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองที่บดผ่านตะแกรงโม่ขนาด 3.5 มิลลิเมตร มีการสูญเสียความชื้นน้อยที่สุด ($p < 0.05$) มีค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าในการบดต่ำที่สุด ($p < 0.05$)

คำสำคัญ ขนาดตะแกรงเครื่องโม่ ประสิทธิภาพการบด การสูญเสียความชื้น ค่าไฟฟ้าในการบด

* นายพนบพร สำราญกิจ แผนกวิชาการจัดการการเกษตร สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
np_308@hotmail.com

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณฑิชา พุทษาคำ แผนกวิชาการจัดการการเกษตร สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช monticha.put@stou.ac.th

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตติมา กันตนามัลลกุล แผนกวิชาการจัดการการเกษตร สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช kee39@yahoo.com

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3
The 3rd STOU Graduate Research Conference

Abstract

This study aimed to investigate the effects of hammer mill screen size on grinding efficiency, moisture loss and grinding electricity cost for processing corn and soybean into meal.

This experiment was a completely randomized design (CRD) with 3 treatments and 4 replications. Six hundred tons of corn and soybean meal were randomly divided into 3 treatment groups and ground through different hammer mill screen sizes-- 2.5 mm (control), 3.0 mm and 3.5 mm (50 tons per replication). Data were analyzed by using Analysis of Variance and Duncan's New Multiple Range Test.

The results showed that corn and soybean meal that were ground through a 3.5 mm screen size (Treatment 3) had larger particle size, higher grinding efficiency and higher coefficient of sodium chloride in feed than Treatments 1 and 2 ($p<0.05$); whereas, weight loss, bulk density and temperature after grinding of corn and soybeans in Treatment 3 were lower than Treatments 1 and 2 ($p<0.05$). Furthermore, corn and soybean that were ground through a 3.5 mm screen size had the lowest moisture loss, energy consumption and grinding electricity cost ($p<0.05$).



Keywords: Screen sizes, Grinding efficiency, Moisture loss, Grinding electricity cost

* นายพนบพร สำราญกิจ แผนกวิชาการจัดการการเกษตร สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
np_308@hotmail.com

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณฑิชา พุทษาคำ แผนกวิชาการจัดการการเกษตร สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช monticha.put@stou.ac.th

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตติมา กันตนามัลลกุล แผนกวิชาการจัดการการเกษตร สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช kee39@yahoo.com

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3 The 3rd STOU Graduate Research Conference

บทนำ

อาหารสัตว์มีการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์หลายชนิดที่มีขนาดแตกต่างกันไป ในการผสมอาหารสัตว์จึงจำเป็นต้องลดขนาดของวัตถุดิบ ให้มีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุดเท่าที่จะกระทำได้ ทั้งนี้เพื่อให้ส่วนผสมอาหารสัตว์เป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด อย่างไรก็ตามในกระบวนการลดขนาดวัตถุดิบหรือการบดวัตถุดิบ มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักของวัตถุดิบหลังจากผ่านกระบวนการบดค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในการบดวัตถุดิบขนาดเล็กมาก นอกจากนี้ขนาดของอนุภาควัตถุดิบอาหารสัตว์ยังมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์ ทั้งในด้านการเจริญเติบโต การกินอาหาร อัตราการแลกเนื้อ รวมทั้งสุขภาพของสัตว์อีกด้วย (สาโรช คำเจริญ, 2547; อุทัย กันโธ, ม.ป.ป.; Waldroup, 2007 อ้างโดย ชลาพร มารคทรัพย์, 2551) โดยวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กจะช่วยให้การย่อยได้ของวัตถุดิบนั้นเพิ่มขึ้น วัตถุดิบบางชนิดมีแป้งแข็งและย่อยได้ยาก เช่น ข้าวโพด หากข้าวโพดที่ใช้เลี้ยงสัตว์มีขนาดอนุภาคใหญ่เกินไปจะทำให้การย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกรและสัตว์ปีกลดลง และทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตลดลง มีการสูญเสียแป้งทางมูลมากขึ้น สัตว์อาจมีอาการท้องเสีย เนื่องจากมีแป้งเหลือในส่วนของการลำไส้ใหญ่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ดังนั้น การใช้ข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยวจึงต้องมีการบดละเอียดเพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว ทำให้เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารของสัตว์ทำงานได้ดียิ่งขึ้น (อุทัย กันโธ, 2529; พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539 อ้างโดย ภาวินี ไหมะวงศ์, 2550)

อุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ลดขนาดวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ เครื่องโม่ผสมเมอร์มิลล์ ที่มีขนาดของตะแกรงเป็นตัวกำหนดขนาดของวัตถุดิบที่ต้องการ ซึ่งการเลือกใช้ขนาดของตะแกรงหยาบหรือตะแกรงละเอียดนอกจากจะส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพของวัตถุดิบแล้ว ยังมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตอาหารสัตว์และการใช้กระแสไฟฟ้าในการบดวัตถุดิบอีกด้วย

ดังนั้น การศึกษาผลของขนาดตะแกรงโม่ต่อประสิทธิภาพการบด การสูญเสียความชื้นและค่าไฟฟ้าในการบดวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยเฉพาะวัตถุดิบหลักที่ใช้ในปริมาณมาก เช่น ข้าวโพดและกากถั่วเหลือง จะทำให้ผู้ผลิตอาหารสัตว์สามารถลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์และลดต้นทุนในการผลิตอาหารสัตว์ลงได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.1 เพื่อศึกษาผลของขนาดตะแกรงโม่ต่อประสิทธิภาพการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง
- 1.2 เพื่อศึกษาการสูญเสียความชื้นของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองที่ได้จากการบดผ่านตะแกรงโม่ที่มีขนาดแตกต่างกัน
- 1.3 เพื่อศึกษาค่าไฟฟ้าในการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลืองที่ผ่านตะแกรงโม่ที่มีขนาดแตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ผลของขนาดตะแกรงของเครื่องโม่ต่อประสิทธิภาพการบด การสูญเสียความชื้น และค่าไฟฟ้าในการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง มีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3 The 3rd STOU Graduate Research Conference

1. รูปแบบการวิจัยและทรีตเมนต์

1.1 รูปแบบการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design: CRD) มี 3 ทรีตเมนต์ แต่ละทรีตเมนต์มี 4 ซ้ำ

1.2 หน่วยทดลอง ได้แก่ ข้าวโพดทั้งเมล็ด จำนวน 600 ต้น และกากถั่วเหลือง จำนวน 600 ต้น สุ่มหน่วยทดลอง (50 ต้นต่อซ้ำ) ให้ได้รับการรดผ่านตะแกรงไม้ที่มีขนาดต่างๆ กัน ดังนี้

ทรีตเมนต์ที่ 1 ตะแกรงไม้ขนาดตะแกรง 2.5 มิลลิเมตร (กลุ่มควบคุม)

ทรีตเมนต์ที่ 2 ตะแกรงไม้ขนาดตะแกรง 3.0 มิลลิเมตร

ทรีตเมนต์ที่ 3 ตะแกรงไม้ขนาดตะแกรง 3.5 มิลลิเมตร

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

2.1 เครื่องโม่แบบแฮมเมอร์มิลล์ (hammer mill)

2.2 เครื่องชั่ง (balance)

2.3 เทอร์โมมิเตอร์

2.4 เตาอบแห้ง (hot air oven) อุณหภูมิ 135 ± 2 องศาเซลเซียส

2.5 จานอลูมิเนียม (aluminium dishes) ขนาด 50×40 มิลลิเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง $\times$ ความสูง) พร้อมฝา

2.6 โถอบแห้ง (desiccator) ที่มี silica gel บรรจุอยู่

2.7 คีมจับ (tong)

3. วิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการก่อนการทดลอง

3.1.1 เตรียมวัตถุดิบ ข้าวโพดทั้งเมล็ดปริมาณ 600 ต้น และกากถั่วเหลืองปริมาณ 600 ต้น

3.1.2 เตรียมตะแกรงไม้ ขนาดรูตะแกรง 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น ขนาดรูตะแกรง 3.0 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น และขนาดรูตะแกรง 3.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น

3.1.3 ใบมีดโม่ จำนวน 150 ใบ

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

บดข้าวโพดทั้งเมล็ดและกากถั่วเหลืองด้วยเครื่องโม่แฮมเมอร์มิลล์ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ตามที่ระบุในแผนการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบก่อนบดและเก็บตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ขนาดอนุภาค ความหนาแน่น อุณหภูมิ และความชื้น

3.2.2 ทำการบดวัตถุดิบ ด้วยเครื่องโม่จนกระทั่งวัตถุดิบถูกบดจนหมดจากถังเตรียมโม่ พร้อมกับบันทึกเวลาเริ่มบด จนถึงเวลาสิ้นสุดการเดินเครื่องโม่

3.2.3 เก็บตัวอย่างทุก 12 นาที เพื่อวิเคราะห์ขนาดอนุภาค ความหนาแน่น อุณหภูมิ และความชื้น หลังการบด พร้อมบันทึกกระแสไฟฟ้า ทุก 12 นาที

3.2.4 ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบหลังบด

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3 The 3rd STOU Graduate Research Conference

3.2.5 ทำการผสมอาหารผสม

3.2.6 เก็บตัวอย่างอาหารผสม จากเครื่องผสมอาหารเมื่อครบเวลาผสมทุกฟรืดเมนต์ เก็บตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่างต่อซ้ำ เพื่อทดสอบการกระจายตัวของอาหารสัตว์

4. การเก็บข้อมูล

มีการเก็บข้อมูลต่างๆ ดังนี้

4.1 น้ำหนักของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองก่อนบดและหลังบด

4.2 ขนาดอนุภาค (particle size) ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองหลังบด โดยนำตัวอย่างหลังบดมาร่อนผ่านตะแกรงที่จัดเรียงตั้งแต่หยาบถึงละเอียดตามเบอร์ U.S. Sieve number

ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างที่คัดตะแกรงแต่ละชั้น คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักวัตถุดิบที่คัดในแต่ละชั้น แล้วหาขนาดของอนุภาคข้าวโพดและกากถั่วเหลือง โดยคำนวณในโปรแกรมสำเร็จรูป ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 1983)

4.3 ความหนาแน่น (bulk density) ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองก่อนบดและหลังบด

4.4 อุณหภูมิ ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองที่ผ่านการไม่

4.5 เวลาในการบด บันทึกเวลาตั้งแต่เริ่มใส่ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเข้าเครื่องโม่จนสิ้นสุดการบด เพื่อคำนวณปริมาณการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง (ตัน/ชั่วโมง)

4.6 ความชื้น ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองก่อนบดและหลังบด โดยวิธี AOAC (2000)

4.7 การกระจายตัวของวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดย (อุทัย คັນโร, 2555)

4.8 กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) ที่ใช้ในการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง เพื่อคำนวณค่าไฟฟ้าในการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง (บาท/ตัน) โดยวิธีการคำนวณ

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลต่างๆ ระหว่างกลุ่มทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

6. สถานที่ใช้ทดลองและเก็บข้อมูล

6.1 โรงงานผลิตอาหารสัตว์ จังหวัดลพบุรี

6.2 ใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล ตั้งแต่ วันที่ 1 สิงหาคม 2555 ถึง 31 ธันวาคม 2555

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องผลของขนาดตะแกรงของเครื่องโม่ต่อประสิทธิภาพการบด การสูญเสียความชื้น และค่าไฟฟ้าในการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง มีผลการวิจัย ดังนี้

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3
The 3rd STOU Graduate Research Conference

ตอนที่ 1 ประสิทธิภาพการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง

1.1 น้ำหนักของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองก่อนบดและหลังบด (ตารางที่ 1) พบว่าน้ำหนักข้าวโพดและกากถั่วเหลืองหลังการบดของทรีตเมนต์ที่ 3 มีการสูญเสียน้อยที่สุด ($P < 0.05$)

ตารางที่ 1 น้ำหนักของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองก่อนบดและหลังบด

ชนิดวัตถุดิบ	รายละเอียด	ทรีตเมนต์ที่			P-value
		1	2	3	
ข้าวโพด	น้ำหนักก่อนบด (ตัน)	50.00±0.00	50.00±0.00	50.00±0.00	-
	น้ำหนักหลังบด (ตัน)	49.35±0.04 ^c	49.61±0.04 ^b	49.79±0.05 ^a	0.000
	น้ำหนักสูญเสีย (ตัน)	0.65±0.02 ^a	0.39±0.04 ^b	0.22±0.05 ^c	0.000
กากถั่วเหลือง	น้ำหนักก่อนบด (ตัน)	50.00±0.00	50.00±0.00	50.00±0.00	-
	น้ำหนักหลังบด (ตัน)	49.73±0.02 ^c	49.83±0.02 ^b	49.96±0.02 ^a	0.000
	น้ำหนักสูญเสีย (ตัน)	0.27±0.02 ^a	0.17±0.02 ^b	0.04±0.02 ^c	0.000

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± SD

^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

1.2 ขนาดอนุภาค (particle size) ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองหลังจากการบด (ตารางที่ 2) ของทรีตเมนต์ที่ 3 มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด ($P < 0.05$)

ตารางที่ 2 ขนาดอนุภาคของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองหลังจากการบด

ชนิดวัตถุดิบ	ทรีตเมนต์ที่			P-value
	1	2	3	
ข้าวโพด (ไมครอน)	702.85±6.55 ^c	739.90±6.27 ^b	819.05±15.15 ^a	0.000
กากถั่วเหลือง (ไมครอน)	668.88±20.78 ^b	675.28±8.72 ^b	739.35±4.49 ^a	0.000

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± SD

^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3
The 3rd STOU Graduate Research Conference

1.3 ความหนาแน่น (bulk density) ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองก่อนบดและหลังบด(ตารางที่ 3) พบว่า ก่อนบดข้าวโพดทรีตเมนต์ที่ 3 มีความหนาแน่นสูงที่สุด ($P<0.05$) และหลังการบดความหนาแน่นของข้าวโพดทุกทรีตเมนต์มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับกากถั่วเหลือง พบว่าก่อนบด กากถั่วเหลืองทรีตเมนต์ที่ 3 มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ($P<0.05$) ในขณะที่หลังการบดความหนาแน่นของกากถั่วเหลือง ทรีตเมนต์ที่ 2 มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ($P<0.05$) โดยทรีตเมนต์ที่ 3 มีผลต่างของความหนาแน่นต่ำที่สุด ($P<0.05$)

ตารางที่ 3 ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร) ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองก่อนบดและหลังบด

ชนิด วัตถุดิบ	รายละเอียด	ทรีตเมนต์ที่			P-value
		1	2	3	
ข้าวโพด	ก่อนบด	778.54±1.64 ^b	771.45±3.75 ^c	791.49±1.20 ^a	0.000
	หลังบด	564.83±3.44	559.35±7.40	568.55±2.20	0.073
	ผลต่างความหนาแน่น	213.71±4.91	212.10±8.99	222.94±2.92	0.79
กากถั่วเหลือง	ก่อนบด	629.64±1.07 ^a	629.36±1.12 ^a	611.96±0.64 ^b	0.000
	หลังบด	588.21±1.01 ^a	582.69±2.03 ^b	588.63±1.42 ^a	0.001
	ผลต่างความหนาแน่น	41.43±1.78 ^b	46.67±2.71 ^a	23.32±0.79 ^c	0.000

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± SD

^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

1.4 อุณหภูมิของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองที่ผ่านการบด (ตารางที่ 4) พบว่าข้าวโพดและกากถั่วเหลืองทุกทรีตเมนต์มีอุณหภูมิก่อนและหลังการบดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3
The 3rd STOU Graduate Research Conference

ตารางที่ 4 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองที่ผ่านการบด

ชนิดวัตถุดิบ	รายละเอียด	ทรีตเมนต์ที่			P-value
		1	2	3	
ข้าวโพด	ก่อนบด	28.00±0.00	28.00±0.00	28.00±0.00	-
	หลังบด	45.00±0.00	45.00±0.00	43.00±0.00	-
	ผลต่างอุณหภูมิ	17.00±0.00	17.00±0.00	15.00±0.00	-
กากถั่วเหลือง	ก่อนบด	28.00±0.00	28.00±0.00	28.00±0.00	-
	หลังบด	39.00±0.00	39.00±0.00	37.00±0.00	-
	ผลต่างอุณหภูมิ	11.00±0.00	11.00±0.00	9.00±0.00	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± SD

1.5 ปริมาณการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง (ตารางที่ 5) ของทรีตเมนต์ที่ 3 มีปริมาณการบด(ตัน)ต่อชั่วโมงสูงสุด ($P<0.05$)

ตารางที่ 5 ปริมาณการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง (ตัน/ชั่วโมง)

ชนิดวัตถุดิบ	ทรีตเมนต์ที่			P-value
	1	2	3	
ข้าวโพด	17.63±0.46 ^b	18.05±0.05 ^b	20.80±0.97 ^a	0.000
กากถั่วเหลือง	23.55±0.83 ^b	24.06±0.59 ^b	25.11±0.44 ^a	0.021

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± SD

^{ab} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

1.6 การกระจายตัวของวัตถุดิบอาหารสัตว์(ตารางที่ 6) พบว่า การกระจายตัวของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผ่านตะแกรงไม้ของทรีตเมนต์ที่ 1 (ชุดควบคุม), 2 และ 3 มีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของเกลือแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3
The 3rd STOU Graduate Research Conference

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของเกลือในตัวอย่างอาหาร

	ทรีตเมนต์ที่			P-value
	1	2	3	
ค่าสัมประสิทธิ์ ความผันแปรของเกลือ (เปอร์เซ็นต์)	6.155±1.85	6.205±2.39	8.360±0.69	0.129

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± SD

ตอนที่ 2 การสูญเสียความชื้นของข้าวโพดและกากถั่วเหลือง

พบว่า ก่อนบดและหลังบด (ตารางที่ 7) ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองทรีตเมนต์ที่ 1 มีความชื้นต่ำที่สุด ($P<0.05$) ในขณะที่ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองทรีตเมนต์ที่ 3 มีการสูญเสียความชื้นหลังจากการบดต่ำที่สุด ($P<0.05$)

ตารางที่ 7 ความชื้น (%) ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองก่อนบดและหลังบด

ชนิดวัตถุดิบ	รายละเอียด	ทรีตเมนต์ที่			P-value
		1	2	3	
ข้าวโพด	ก่อนบด	13.37±0.09 ^c	14.23±0.10 ^a	14.00±0.18 ^b	0.000
	หลังบด	12.29±0.07 ^b	13.41±0.19 ^a	13.48±0.17 ^a	0.000
	ความชื้นลดลง	1.08±0.07 ^a	0.82±0.10 ^b	0.52±0.052 ^c	0.000
กากถั่วเหลือง	ก่อนบด	11.00±0.18 ^b	11.02±0.07 ^b	11.35±0.13 ^a	0.007
	หลังบด	10.69±0.18 ^b	10.78±0.06 ^b	11.24±0.02 ^a	0.000
	ความชื้นลดลง	0.31±0.00 ^a	0.24±0.02 ^a	0.11±0.13 ^b	0.013

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± SD

^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3
The 3rd STOU Graduate Research Conference

ตอนที่ 3 ต้นทุนค่าไฟฟ้าในการบดข้าวโพดและกากั่วเหลือง

พบว่า ข้าวโพดและกากั่วเหลืองที่บดผ่านตะแกรงโมขนาด 3.5 มิลลิเมตร (ทริตเมนต์ที่ 3) มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าในการบด(ตารางที่ 8 และตารางที่ 9) ต่ำที่สุด ($P<0.05$)

ตารางที่ 8 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ต่อตัน)

ชนิดวัตถุดิบ	ทริตเมนต์ที่			P-value
	1	2	3	
ข้าวโพด	9.14±0.24 ^a	8.46±0.05 ^b	5.07±0.16 ^c	0.000
กากั่วเหลือง	4.95±0.28 ^a	4.11±0.10 ^b	2.34±0.07 ^c	0.000

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± SD

^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากตารางที่ 4.8 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบดข้าวโพดและกากั่วเหลือง มีดังนี้

3.1 พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ต่อตัน) ที่ใช้ในการบดข้าวโพด ของทริตเมนต์ที่ 1 (ชุดควบคุม), 2 และ 3 เท่ากับ 9.14±0.24, 8.46±0.05 และ 5.07±0.16 กิโลวัตต์ต่อตัน ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3.2 พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ต่อตัน) ที่ใช้ในการบดกากั่วเหลือง ของทริตเมนต์ที่ 1 (ชุดควบคุม), 2 และ 3 เท่ากับ 4.95±0.28, 4.11±0.10 และ 2.34±0.07 กิโลวัตต์ต่อตัน ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าไฟฟ้า (บาท/ตัน) ในการบดข้าวโพดและกากั่วเหลือง

ชนิดวัตถุดิบ	ทริตเมนต์ที่			P-value
	1	2	3	
ข้าวโพด	31.98±0.88 ^a	29.61±0.19 ^b	17.74±0.56 ^c	0.000
กากั่วเหลือง	17.34±0.99 ^a	14.39±0.33 ^b	8.19±0.26 ^c	0.000

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± SD

^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3
The 3rd STOU Graduate Research Conference

อภิปรายผลการวิจัย

1.1 ประสิทธิภาพการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง

1.1.1 น้ำหนักของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองก่อนบดและหลังบด

จากการทดลองพบว่า น้ำหนักของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองก่อนบดเท่ากับ 50 ต้นทุกทริตเมนต์ เมื่อนำข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเข้าบดด้วยเครื่องโม่แฮมเมอร์มิลล์ พบว่า หลังการบดน้ำหนักข้าวโพดลดลงทุกทริตเมนต์ ($P<0.05$) โดยทริตเมนต์ที่ 3 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เท่ากับ 0.22 ต้น สำหรับกากถั่วเหลืองพบว่าน้ำหนักหลังการบดลดลง ($P<0.05$) ทุกทริตเมนต์ โดยทริตเมนต์ที่ 3 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เท่ากับ 0.04 ต้น เนื่องจากทริตเมนต์ที่ 3 ใช้ตะแกรงโม่ขนาด 3.5 มิลลิเมตร ที่มีขนาดใหญ่กว่าทริตเมนต์อื่นทำให้ขนาดอนุภาคของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองที่ได้ใหญ่กว่าทริตเมนต์อื่นๆ โดยข้าวโพดและกากถั่วเหลืองที่ถูกป้อนเข้าสู่ห้องบดและถูกตีด้วยใบมีดสามารถลอดผ่านตะแกรงได้เร็วขึ้น มีผลทำให้ขนาดอนุภาคที่ได้ใหญ่ขึ้น และมีปริมาณฝุ่นละเอียดระหว่างกระบวนการบดลดลง จึงทำให้มีการสูญเสียที่เกิดจากความชื้นและฝุ่นลดลง ส่งผลให้มีน้ำหนักสูญเสียต่ำกว่าทริตเมนต์ที่ 1 และ 2

1.1.2 ขนาดอนุภาค (particle size) ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองหลังบด

จากการทดลองพบว่า ทริตเมนต์ที่ 3 มีขนาดอนุภาคของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองหลังการบดใหญ่ที่สุด ($P<0.05$) เท่ากับ 819.05 และ 739.35 ไมครอน ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากมีขนาดตะแกรงในการบดใหญ่กว่า มีพื้นที่เปิดของตะแกรงมากขึ้น จึงทำให้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นด้วย โดยขนาดอนุภาคของทริตเมนต์ที่ 3 ที่ได้ยังมีความเหมาะสมในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ โดยส่วนมากการบดวัตถุดิบอาหารสัตว์จะทำการบดวัตถุดิบให้มีขนาดอยู่ในช่วง 400-1,000 ไมครอน ยกเว้น ในอาหารสัตว์น้ำ เช่น อาหารกุ้ง ขนาดอนุภาควัตถุดิบจะอยู่ในช่วง 350-400 ไมครอน (ณัฐชนก อมรเทวกัทร, 2548 อ้างโดย ชลาพร มารคทรัพย์, 2551)

1.1.3 ความหนาแน่น (bulk density) ของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองก่อนบดและหลังบด จากการทดลองพบว่า เมื่อผ่านการบดแล้วความหนาแน่นของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองทุกทริตเมนต์ลดลง ($P<0.05$) โดยข้าวโพดและ กากถั่วเหลืองที่บดผ่านตะแกรงของทริตเมนต์ที่ 3 มีความหนาแน่นมากที่สุด เท่ากับ 568.55 และ 588.63 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากหลังการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลืองทริตเมนต์ที่ 3 มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า มีความชื้นสูงกว่า จึงทำให้มีน้ำหนักต่อปริมาตรมากกว่า หรือมีความหนาแน่นสูงนั่นเอง

1.1.4 อุณหภูมิของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองที่ผ่านการบด

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิของข้าวโพดก่อนบดทุกทริตเมนต์ เท่ากับ 28.00 องศาเซลเซียส โดยหลังการบดอุณหภูมิของข้าวโพดทุกทริตเมนต์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 17.00, 17.00 และ 15.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิของกากถั่วเหลืองก่อนบดทุกทริตเมนต์ เท่ากับ 28.00 องศาเซลเซียส โดยหลังการบดอุณหภูมิของกากถั่วเหลืองทุกทริตเมนต์เพิ่มขึ้น เท่ากับ 11.00, 11.00 และ 9.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นเกิดจากความชื้นและความหนาแน่นของวัตถุดิบก่อนบด มีผลทำให้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองใช้ระยะเวลาแตกต่างกันในการลอดผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ในขณะการบด ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองถูกแรงบีบอัด (compression) แรงกระแทก (impact) และแรงเฉือน (shear) เกิดการเสียดสีระหว่างวัตถุดิบกับวัตถุดิบ และระหว่างใบมีดกับวัตถุดิบ ส่งผลทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้น (ณัฐชนก อมรเทวกัทร, 2548 อ้างโดย ชลาพร มารค

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3 The 3rd STOU Graduate Research Conference

ทรัพย์, 2551) หลังการบดอุณหภูมิของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองในทรีตเมนต์ที่ 3 ต่ำกว่าทุก ทรีตเมนต์ เป็นเพราะตะแกรงไม่มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อข้าวโพดและกากถั่วเหลืองถูกป้อนเข้าสู่ห้องบด และถูกตีด้วยใบมีดทำให้ขนาดอนุภาคลอดผ่านตะแกรงได้เร็วขึ้น มีผลทำให้อุณหภูมิระหว่างการบดลดลง (สาโรช, 2547; อุทัย, ม.ป.ป. อ้างโดย ชลาพร มารคทรัพย์, 2551)

1.1.5 ปริมาณการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง (ตัน/ชั่วโมง)

จากการทดลองพบว่า ทรีตเมนต์ที่ 3 มีปริมาณการบดที่ต่ำสุด ($P < 0.05$) โดยมีปริมาณการบดของข้าวโพดและกากถั่วเหลือง เท่ากับ 20.80 ตัน/ชั่วโมง และ 25.11 ตัน/ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากทรีตเมนต์ที่ 3 ใช้ตะแกรงมีขนาด 3.5 มิลลิเมตร มีส่วนทำให้ขนาดอนุภาคของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาในการบดลดลง เมื่อเทียบกับการใช้ตะแกรงที่มีขนาด 2.5 มิลลิเมตรและ 3.0 มิลลิเมตร สอดคล้องกับรายงานของ อุทัย คันโธ (2529) อ้างโดย ภาวินี ไท้มะวงศ์ (2550) ที่กล่าวว่า การบดอาหารให้มีขนาดชิ้นไม่เล็กมากหรือบดหยาบ โดยใช้ตะแกรงบดที่มีรูตะแกรงขนาดใหญ่ทำให้ใช้กำลังและเวลาในการบดน้อยลง และจากรายงานของ พันทิพา พงษ์เพียจันทร์ (2539) พบว่า การใช้ตะแกรงที่ละเอียดมากขึ้นเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคเล็กลง ทำให้ประสิทธิภาพการบดอาหารลดลง ในกรณีใช้มอเตอร์ขนาด 50 แรงม้าเมื่อทำการบดหยาบจะสามารถบดข้าวโพดและข้าวโอ๊ตได้ถึง 4,309.13 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในขณะที่บดละเอียดปานกลางและบดละเอียดที่สุดจะสามารถบดได้เพียง 2,948.53 และ 2,267.96 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ

1.1.6 การกระจายตัวของวัตถุดิบอาหารสัตว์

อาหารผงที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองที่ผ่านตะแกรงมีขนาด 3.5 มิลลิเมตร (ทรีตเมนต์ที่ 3) มีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของเกล็ดสูงที่สุด เท่ากับ 8.360 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แสดงว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ของอาหารทรีตเมนต์ที่ 3 มีการกระจายตัวที่ดี (อุทัย คันโธ, 2555) แม้ว่าขนาดอนุภาคใหญ่กว่า ทรีตเมนต์ที่ 1 และทรีตเมนต์ที่ 2 ก็ตาม

1.2 การสูญเสียความชื้นของข้าวโพดและกากถั่วเหลือง

จากการทดลองเมื่อใช้ขนาดตะแกรงที่ใหญ่ขึ้น มีผลทำให้การสูญเสียความชื้นของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองลดลง โดยพบว่าข้าวโพดทรีตเมนต์ที่ 3 มีความชื้นลดลงเท่ากับ 0.52 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) และกากถั่วเหลืองทรีตเมนต์ที่ 3 มีความชื้นลดลงเท่ากับ 0.11 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) โดยมีความชื้นลดลงน้อยกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ เนื่องจากขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า ทำให้มีความชื้นที่อยู่ในเนื้อของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองมากกว่าวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า และในขณะที่บดจะเกิดความร้อนและฝุ่นลดลง และใช้ระยะเวลาลอดผ่านตะแกรงเร็วขึ้น จึงทำให้การสูญเสียความชื้นของทรีตเมนต์ที่ 3 ลดลง เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์ที่ 1 และทรีตเมนต์ที่ 2 นอกจากนี้ ทรีตเมนต์ 3 ใช้ขนาดตะแกรงที่ใหญ่กว่า เมื่อถูกแรงบีบอัด แรงกระแทก และแรงเฉือน จะเกิดการเสียดสีระหว่างวัตถุดิบกับวัตถุดิบ และระหว่างใบมีดกับวัตถุดิบลดลง ส่งผลทำให้เกิดความร้อนลดลง (ณัฐชนก อมรเทวกัฏฐ, 2548 อ้างโดย ชลาพร มารคทรัพย์, 2551)

1.3 ต้นทุนค่าไฟฟ้าในการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง

จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ขนาดตะแกรง 3.5 มิลลิเมตร (ทรีตเมนต์ที่ 3) จะใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ต่อตัน) ในการบดข้าวโพด เท่ากับ 5.07 กิโลวัตต์ต่อตัน และกากถั่วเหลืองเท่ากับ 2.34 กิโลวัตต์ต่อตัน โดยขนาดตะแกรงที่ใหญ่ขึ้นมีผลทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า จึงส่งผลให้มีต้นทุนค่าไฟฟ้าในการบดวัตถุดิบ

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3 The 3rd STOU Graduate Research Conference

ของทรีตเมนต์ที่ 3 ลดลง โดยพบว่าค่าไฟฟ้าในการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลืองของทรีตเมนต์ที่ 3 มีค่าไฟฟ้าในการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลือง เท่ากับ 17.74 บาท/ตัน และ 8.19 บาท/ตัน ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าขนาดตะแกรงที่ใหญ่ขึ้นมีผลให้ต้นทุนไฟฟ้าในการบดข้าวโพดและกากถั่วเหลืองลดลง จากรายงานของ Wonder *et al.* (1995) พบว่า การบดข้าวโพดด้วยเครื่องบดแฮมเมอร์มีลล์ให้มีขนาดเล็กลงที่ขนาดอนุภาค 1,000, 800, 600 และ 400 ไมครอน ส่งผลให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการบดเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่า 2.7, 3.1, 3.8 และ 8.1 กิโลวัตต์ต่อตัน ตามลำดับ ในขณะที่กำลังการผลิตจะลดลง ที่ระดับ 2.7, 2.7, 2.6 และ 1.3 ตันต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยการบดข้าวโพดที่ขนาด 400 ไมครอน จะต้องการพลังงานในการบดสูงเป็น 3 เท่าของการบดข้าวโพดที่ขนาด 1,000 ไมครอน เห็นได้ว่าเมื่อทำการบดข้าวโพดให้มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดมากขึ้น ส่งผลให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการบดเพิ่มสูงขึ้น และอัตราการผลิตอาหารลดลง โดยเฉพาะเมื่อทำการลดขนาดอนุภาคของข้าวโพดลงจากระดับ 600 ถึง 400 ไมครอน

ข้อเสนอแนะ

2.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

2.1.1 การวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะข้าวโพดและกากถั่วเหลือง ถ้าใช้วัตถุดิบอื่นผลการทดลองอาจต่างไปจากนี้

2.1.2 การวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะเครื่องโม่ชนิดแฮมเมอร์มีลล์ ถ้าใช้เครื่องโม่ชนิดอื่นผลการทดลองอาจต่างไปจากนี้

2.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรนำอาหารที่ผลิตได้จากการใช้วัตถุดิบที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ กันไปใช้เลี้ยงสัตว์ เพื่อศึกษาคุณภาพอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐชนก อมรเทวภัทร (2548) *เทคโนโลยีการผลิตอาหารสัตว์* โครงการจัดตั้งภาควิชาเทคโนโลยีทางกระบวนการเคมีและฟิสิกส์ กรุงเทพฯ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ชลพร มารคทรัพย์ (2551) “ผลของชนิดเครื่องบดและขนาดอนุภาคข้าวโพดต่อลักษณะทางกายภาพและเคมีของอาหารผง คุณภาพไข่ และสมรรถภาพของไก่ไข่ เลี้ยงดูภายใต้สภาพการเลี้ยงแบบหนาแน่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- <http://research.rdi.ku.ac.th/world/cache/2f/ChalapomMARAll.pdf> วันที่ 05/11/2555
- พันทิพา พงษ์เพียจันทร์ (2539) *การผลิตอาหารสัตว์* พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์
- ภาวิณี ไหมะวงศ์ (2550) “ผลของขนาดข้าวโพดบดในอาหารไก่ไข่ ต่อสมรรถภาพการผลิตไข่และคุณภาพไข่ ภายใต้สภาพการเลี้ยงแบบหนาแน่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3
The 3rd STOU Graduate Research Conference

สาโรช คำเจริญ (2547) *อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง* ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์
ขอนแก่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อุทัย คั่นโ (ม.ป.ป.) *เอกสารการเรียนการสอนวิชาการกระบวนการผลิตอาหารสัตว์และวัตถุดิบอาหารสัตว์ขั้นสูง*
ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน นครปฐม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุทัย คั่นโ (2529) *อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก* ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ
วิทยาเขตกำแพงแสน หน้าที่ 267 นครปฐม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุทัย คั่นโ (2555) “กระบวนการผลิตอาหารสัตว์” ใน *เอกสารการสอนชุดวิชาอาหารและการให้อาหารสัตว์*
หน่วยที่ 11 หน้า 1-81 นนทบุรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและ
สหกรณ์

American Society of Agricultural Engineers (1983) *Methods of determining and expressing fineness of feed materials by sieving.*, p. 325. American Society of Agricultural Engineers Standard S 319.

American Society of Agricultural Engineers Yearbook Standards, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph. MI.

AOAC (2000) *Official methods of analysis of AOAC International.*, 17th ed. W, Horwitz ed.

Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD. USA.

Behnke, K. C. (1983) *Measuring and defining particle size of feed stuffs.*, pp. C1-C11. In Proceedings First
International Symposium on Particle Size Reduction in the Feed Industry. Kansas State University,
Manhattan.

Cabrera, M.R. (1994) *Effects of Sorghum Genotype and Particle Size on Milling Characteristics and Performance of Finishing Pigs, Broiler Chicks and Laying Hens.* M. S. Thesis, Kansas State University.

Cabrera, M.R. (1994) [ออนไลน์] ค้นวันที่ 07/12/2555 <http://www.hamtermills.com>

Cabrera, M.R. (1994) [ออนไลน์] ค้นวันที่ 07/12/2555 <http://www.responsiblebusiness.eu>

Cabrera, M.R. (1994) [ออนไลน์] ค้นวันที่ 07/12/2555

<http://www.responsiblebusiness.eu/display/rebwp7/Production+of+bioethanol+using+starchy+materials>

Cabrera, M.R. (1994) [ออนไลน์] ค้นวันที่ 07/12/2555 <http://www.larkengg.co.in/hammer-mill-screens.htm>

Herrman, J. T. n.d. *Feed Quality Assurance.* American Soybean Association, Singapore.

Koch, K. (2002) *Hammermill and Roller Mill.* Kansas State University. Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, MF-2048.

Lott, B. D., E. J. Dat, J. W. Deaton and J. D. May. (1992) *The effect of temperature, dietary energy level and corn particle size on broiler performance.* Poultry Sci. 71: 618-624.

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 3
The 3rd STOU Graduate Research Conference

Alicia Murphy, Cherie Collins, Andrew Philpotts, Alice Bunyan, Dave Henman (2009)

Influence of hammer mill screen size and grain source (wheat or sorghum) on the growth performance of male grower pigs. Report prepared for the Co-operative Research Centre for an Internationally Competitive Pork Industry.

Nir, I., R., M. I. Ptichi and G. Shefet. 1995. Effect of particle size on performance. 3. grinding pelleting interactions. Poult. Sci. 74: 771-783.

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.

Waldroup, P. W. (2007). Particle size of cereal grains and its significance in poultry nutrition. Poultry Science Department, University of Arkansas, Arkansas. Available source: http://www.asasea.com/po34_97.html, July 25, 2007.

Wondra, K. J., J. D. Hancock, K. C. Behnke, R. H. Hines and C. R. Stark. (1995) *Effects of mill type and particle size uniformity on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs.* J. Anim. Sci. 73: 2564-2573.

