ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ | สัตวบาล

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการผลิตของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกัน

Comparative Study on Production Performance of Dairy Cattle Fed Diets Containing Different Processed Rice Bran

นามผู้วิจัย นายอธิปวัฒน์ ปลื้มกลาง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลอชาติ บุญเอก, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์อุทัย คันโธ, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กัญจนา ธีระกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการผลิตของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกัน

Comparative Study on Production Performance of Dairy Cattle Fed Diets Containing Different Processed Rice Bran

โดย

นายอธิปวัฒน์ ปลื้มกลาง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อธิปวัฒน์ ปลื้มกลาง 2554: การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการผลิตของโคนมที่ได้รับอาหารที่มี รำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกัน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลอชาติ บุญเอก, Ph.D. 87 หน้า

การศึกษาเพื่อประเมินคุณภาพของรำข้าวชนิดต่างๆในอาหารโคนม แบ่งออกเป็น 3 การทดลองคือ 1) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน ที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 10, 20 และ 30 วัน ในอุณหภูมิห้อง ใช้แผนการทดลอง 3x4 Factorial ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 2) ศึกษาการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน โดยใช้เทคนิคการวัดปริมาณแก๊สในห้องปฏิบัติการ และ 3) ศึกษาเปรียบเทียบผลของรำข้าวทั้ง 3 ชนิดต่อสมรรถภาพการผลิตของโคนมพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่แบ่งโคออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มได้รับอาหารผสมที่มีรำข้าวต่างกัน คือ รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน โดยใช้เวลาทดลอง 90 วัน ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าวที่ระยะเวลาการเก็บที่ต่างกัน พบว่า ชนิดและระยะเวลาที่เก็บมีผลต่อคุณภาพของรำข้าว โดยค่าเฉลี่ย Acid value (KOH/gram of oil) และค่าการทำงานของเอ็นไซม์ไลเปส (Unit/mg) ตลอดระยะการเก็บ 30 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) โดยรำสกัดน้ำมันแสดงค่าต่ำสุด (3.51, 0.91) รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน (11.70, 6.09) และรำละเอียด (17.35, 8.02) ตามลำดับ ส่งผลให้รำสกัดน้ำมันมีระยะการเก็บได้นานกว่ารำชนิดอื่นๆ ผลการศึกษาการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ พบว่า รำสกัดน้ำมันมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงสุด (76.26 เปอร์เซ็นต์) (p<0.01) ในขณะที่รำบีบน้ำมันแสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้สูงสุด (12.88 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) (p<0.01) ส่วนสมรรถภาพการผลิตของโคนมที่ได้รับอาหารผสมที่มีรำข้าวต่างกัน พบว่า ผลผลิตน้ำนมต่อวัน และองค์ประกอบในน้ำนม มีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามราคาอาหารข้นของสูตรที่ใช้รำบีบน้ำมันมีค่าต่ำสุดส่งผลให้มีผลตอบแทนสูงกว่าการใช้รำชนิดอื่นๆ

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Atipwath Pluemklang 2011: Comparative Study on Production Performance of Dairy Cattle Fed Diets Containing Different Processed Rice Bran. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Lerchat Boonek, Ph.D. 87 pages.

Three consecutive trials were carried out to evaluate quality of various rice bran products in dairy feed. The first study was to evaluate quality of fresh rice bran, solvent extracted rice bran and expeller rice bran which were stored in sealed plastic bag in room temperature for either 0 10 20 or 30 days in 3x4 factorial in CRD design trial. The second was to measure digestible organic matter and metabolizable energy of fresh rice bran, solvent extracted rice bran and expeller rice bran using *in vitro* Gas production techniques. and the final experiment was aimed to compare productive performance of crossbred Holstein dairy cattle fed diet containing various rice bran products in completely randomized design. The results showed that quality of different rice bran products with different periods of storage were significantly different (p<0.01). Average acid value (KOH/ gram of oil) and lipase activity (Unit/mg) during 30 days of storage of solvent extracted rice bran was lowest (3.51, 0.91) while that of fresh rice bran was highest (17.35, 8.02) followed by of expeller rice bran (11.70, 6.09) respectively. These results indicated that solvent extracted rice bran can be storaged for a longer period of time than other rice bran products without affecting its quality. The results of *in vitro* gas production study indicated that digestible organic matter of solvent extracted rice bran was highest (76.26 %) (p<0.01) while expeller rice bran showed the highest value of metabolizable energy (12.88 MJ kg^{-1} DM) (p<0.01). Milk yield per day and milk composition of dairy cows received experimental diet were all similar. However, cost of concentrate contained expeller rice bran was lower resulted in higher economic return compared to other groups.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอชาติ บุญเอก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้การช่วยเหลือทางด้านการศึกษา การวางแผนงานวิจัย การทดลอง และขอทุนสนับสนุนงานวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำการทดลอง และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์อุทัย คันโธ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา และนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ ตามนโยบายสนับสนุนความเป็นเลิศทางวิชาการในการทำวิจัย ขอขอบคุณคุณพรเทพ ธนกุลรังสฤษฎ์ ผู้บริหารห้างหุ้นส่วนลพบุรีบรรจุภัณฑ์ จำกัด ที่ได้การสนับสนุนวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง (รำละเอียด และรำบีบน้ำมันโดยวิธีสกรูเพรส) โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตนม สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และสัตว์ในการทดลอง รวมทั้งอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ และอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ต่างๆ และขอขอบคุณคนงานทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน ทุกคนที่คอยให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายสุดข้าพเจ้าขอมอบความดีหรือประโยชน์แห่งปริญญาฉบับนี้แก่ นายวันนี ปลื้มกลาง ผู้เป็นบิดา นางพิมผกานต์ ปลื้มกลาง ผู้เป็นมารดาที่คอยให้กำลังใจข้าพเจ้าตลอดมา และคอยผลักดันให้มีความอดทน จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา และให้การอบรมสั่งสอนมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

อธิปวัฒน์ ปลื้มกลาง

พฤษภาคม 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	62
สรุป	62
ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	65
ภาคผนวก	77
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าว	7
2	ส่วนประกอบทางเคมีของรำข้าว	8
3	ปริมาณกรดอะมิโนในรำข้าว และส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว	10
4	ส่วนประกอบของวิตามินในรำข้าว	11
5	ส่วนประกอบของอาหารทดลอง	40
6	องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	44
7	ค่า Acid value และค่า Hydrolysis of Lipase	46
8	ปริมาณการผลิตแก๊สที่ช่วงเวลาต่างๆ	49
9	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการวัดแก๊ส ค่าศักยภาพของวัตถุแห้งที่ถูกย่อยได้ในกระเพาะรูเมน ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง กรดไขมันสายสั้น และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้	52
10	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง	55
11	ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 3 สูตร	57
12	ค่าชีวเคมีในเลือดภายหลังการกินอาหารที่เวลาแตกต่างกัน	60
13	ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ	61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	องค์ประกอบของข้าวเปลือก	3
2	ผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนการสีข้าว	5
3	ขบวนการเปอร์ออกซิเดชั่นของกรดไขมันไม่อิ่มตัว	15
4	โครงสร้างเครื่องบีบน้ำมันแบบเกลียวอัด	18
5	ขั้นตอนการสกัดน้ำมันรำข้าว	19
6	ค่า Acid value และค่า Hydrolysis of Lipase ที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 10, 20 และ 30 วัน	47
7	ปริมาณแก๊สที่ชั่วโมงต่างๆ	48

ภาพผนวกที่

1	การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุ	82
2	การใส่ของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่ผ่านการกรองลงในสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุที่เตรียมไว้	82
3	การใส่ของเหลวจากกระเพาะรูเมนผสมลงในขวดซีรั่ม	83
4	นำขวดซีรั่มเข้าบ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส	83
5	วิธีวัดปริมาณผลผลิตแก๊สในขวดซีรั่ม	84
6	เครื่องบีบน้ำมันแบบเกลียวอัด (screw press)	86

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการผลิตของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกัน

Comparative Study on Production Performance of Dairy Cattle Fed Diets Containing Different Processed Rice Bran

คำนำ

อุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ที่ขยายตัวขึ้นทำให้วัตถุดิบอาหารสัตว์จากผลิตภัณฑ์ธัญพืชภายในประเทศขาดแคลน จึงต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศมากขึ้นทุกๆ ปี ส่งผลให้ราคาวัตถุดิบอาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และผันแปรไม่แน่นอน (นิลุบล, 2543) เนื่องจากความต้องการใช้เพิ่มสูงขึ้น และผลผลิตมีน้อยกว่าความต้องการ โดยเฉพาะข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอล ความต้องการที่พุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ราคาของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ถั่วเหลือง และกากถั่วเหลืองปรับตัวสูงขึ้น โรงงานผลิตอาหารสัตว์ เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ ผู้บริโภคเนื้อสัตว์ และผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์จากสัตว์ จึงได้รับผลกระทบทั้งทางบวกและทางลบแตกต่างกันไป เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมก็เป็นอีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับผลกระทบด้วยเช่นกัน ดังนั้นการหาวัตถุดิบทางเลือกที่มีราคาถูกในแต่ละพื้นที่จึงเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นักโภชนาการอาหารสัตว์ให้ความสำคัญตลอดเวลาเพื่อลดต้นทุนการผลิต

ประเทศไทยสามารถผลิตรำข้าวได้ไม่ต่ำกว่า 2 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, มปป.) ซึ่งร้อยละ 10 นำไปผลิตน้ำมันรำข้าว ที่ถือเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถึงร้อยละ 77 มีกรดไขมันที่จำเป็นถึงร้อยละ 31.7 (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, มปป.) ผลพลอยได้สำคัญจากการผลิตข้าวนอกจากจะเป็นฟางข้าวแล้ว คือ รำข้าว และกากรำข้าวที่ได้จากการสกัดน้ำมันรำข้าวทั้งจากการสกัดด้วยเคมีและจากการบีบน้ำมัน ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานทางเลือกสำคัญที่มีศักยภาพสูงสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง อย่างไรก็ตาม ผลพลอยได้ที่มาจากขบวนการผลิตที่ต่างกันเหล่านี้ยังต้องมีการศึกษาเพื่อประเมินคุณภาพและรูปแบบการนำไปใช้ที่เหมาะสมตามคุณสมบัติที่ต่างกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยเฉพาะในการเลี้ยงโคนมต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าวที่ผ่านขบวนการผลิตต่างกัน เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์

2. ศึกษาการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำข้าวที่ผ่านขบวนการผลิตต่างกันโดยใช้เทคนิคการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น

3. ศึกษาสมรรถภาพการผลิตของโคนมที่ได้รับอาหารข้นที่มีรำข้าวที่ผ่านขบวนการผลิตต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

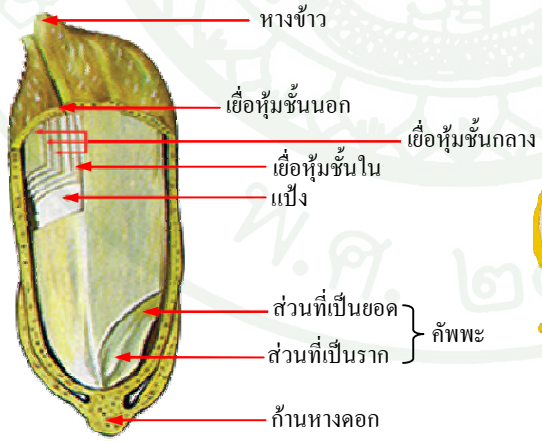
การตรวจเอกสาร

รำข้าว (Rice Bran)

รำข้าว คือ ผลพลอยได้จากกระบวนการขัดสี เป็นส่วนประกอบของชั้นต่างๆ ที่อยู่ด้านนอกของเมล็ดข้าวกล้อง (brown rice) ซึ่งได้หลังจากนำข้าวกล้องไปทำการขัดสีเป็นข้าวขาว (white rice) รำข้าวประกอบด้วยชั้นต่างๆ ได้แก่ เยื่อหุ้มผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) เยื่อหุ้มแอลิวโรน หรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) คัพภะหรือจมูกข้าว (embryo) และส่วนของแกลบและปลายข้าวที่ปะปน โดยปริมาณขององค์ประกอบเหล่านี้ขึ้นกับวิธีการและระดับการขัดสีข้าว

การสีข้าว (Rice Milling)

ข้าวเปลือกจะถูกสีเพื่อแยกเอาแกลบและบางส่วนของรำออกซึ่งผลิตผลหลักที่ได้รับคือข้าวกล้อง (brown rice) หรือข้าวสาร (white rice) ในขณะที่แกลบ รำ และปลายข้าว (polish) จะเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ข้าวเปลือกประกอบด้วยแกลบ ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ รำข้าว 7-10 เปอร์เซ็นต์ และข้าวสาร 70 เปอร์เซ็นต์



ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (%)
เปลือกข้าว (แกลบ)	20
รำข้าวและจมูกข้าว	10
ข้าวสาร	70

ภาพที่ 1 องค์ประกอบของข้าวเปลือก

ที่มา: Orthoefer (1996)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุตสาหกรรมการสีข้าว แบ่งโรงสีข้าวออกเป็น 3 ประเภท ตามขนาดกำลังการผลิต ดังนี้

1. โรงสีข้าวขนาดเล็ก เป็นเครื่องสีข้าวแบบง่ายๆ มีกำลังการผลิตประมาณ 1 ตันต่อวัน โรงสีประเภทนี้มีจำนวนมากกระจัดกระจายไปทั่วชนบท ทำการสีข้าวในรูปบริการโดยชาวนาจะนำข้าวเปลือกมาโรงสี แล้วเจ้าของโรงสีจำนำข้าวเปลือกเข้าโรงสีและดำเนินการสีทันที ปลายข้าวและรำเป็นส่วนที่โรงสีข้าวเก็บไว้ ถือเป็น “ค่าจ้าง” ในบางท้องที่อาจเก็บค่าสีเป็นเงินด้วย ดังนั้นรายได้ของโรงสีมักจะเป็นปลายข้าวและรำ กิจการโรงสีมักจะดำเนินควบคู่ไปกับกิจการเลี้ยงสุกร โรงสีชนิดนี้ข้าวเปลือก 1 เกวียนจะได้ข้าวสาร 500 กิโลกรัม

2. โรงสีข้าวขนาดกลาง เป็นเครื่องสีข้าวที่มีเครื่องมือหลายชิ้น เช่น เครื่องทำความสะอาด เครื่องกะเทาะเปลือก เครื่องแยก เครื่องขัดขาว มีกำลังการผลิตประมาณ 5-20 ตันต่อวัน ส่วนใหญ่จะดำเนินธุรกิจในรูปจ้างสีเหมือนกับโรงสีเล็กส่วนหนึ่ง และจะเป็นผู้ซื้อข้าวเปลือกขายข้าวสารเหมือนโรงสีขนาดใหญ่อีกส่วนหนึ่ง โรงสีชนิดนี้ข้าวเปลือก 1 เกวียนจะได้ข้าวสาร 600 กิโลกรัม

3. โรงสีขนาดใหญ่ เป็นเครื่องสีข้าวที่มีประสิทธิภาพสูง ประกอบด้วยเครื่องทำความสะอาด เครื่องแยกสิ่งเจือปน เครื่องสีทำด้วยลูกยาง แต่มีอัตราการสีไม่แตกต่างกับโรงสีขนาดกลาง มีกำลังการผลิตมากกว่า 20 ตันต่อวัน โรงสีขนาดใหญ่เกือบทั้งหมดใช้พลังงานจากเครื่องจักรไอน้ำ ซึ่งใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อนสูงและสม่ำเสมอ โรงสีขนาดใหญ่มีบทบาทสำคัญต่อข้าวที่ผ่านระบบการตลาด เพราะข้าวเหล่านี้จะผ่านโรงสีขนาดกลางและโรงสีขนาดใหญ่ก่อนที่จะถึงมือผู้บริโภค และมีอิทธิพลในการกำหนดราคาข้าวภายในประเทศทั้งข้าวเปลือกและข้าวสาร สัดส่วนการสีข้าวเปลือก 1 เกวียนเป็นส่วนต่างๆ ดังแผนภูมิที่ 1 สัดส่วนนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามประสิทธิภาพของโรงสีแต่ละแห่ง (สุวิทย์, 2536; อัมมาร์, 2522)

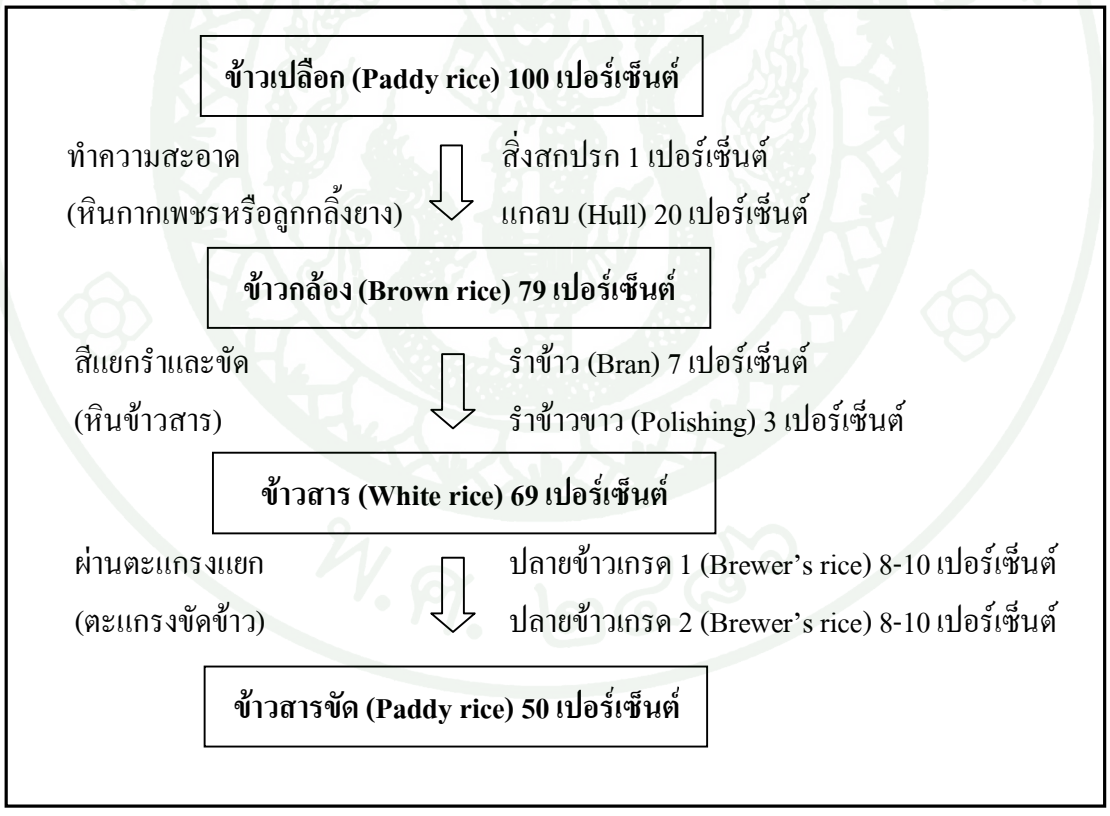
ชนิดของรำข้าว

1. รำหยาบ (Bran) ประกอบด้วยรำ (true bran) และแกลบบดในสัดส่วนที่ไม่แน่นอนอาจมีคัพภะหรือจมูกข้าวปนมาด้วย ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการอาจแปรผันไปตามสัดส่วนรำและแกลบที่ผสมอยู่มีเยื่อใยสูงมาก (25-39 เปอร์เซ็นต์) มีระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable Energy, ME) เท่ากับ 800-1,300 kcal/kg โปรตีน 1-7 เปอร์เซ็นต์ เป็นอาหารที่ให้พลังงานสูงสำหรับสัตว์ปีก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. รำปิ่นแก้ว (Bran with Germ with Hull) ประกอบด้วยรำ (true bran) เป็นส่วนใหญ่มีเศษแกลบชิ้นเล็กๆ และคัพภะปนอยู่เล็กน้อยมองดูด้วยสายตาจะมีรำละเอียดมากกว่าเศษแกลบ มีระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 1,500 kcal/kg สำหรับสัตว์ปีก

3. รำละเอียด (Bran with germ) ประกอบด้วยผิวหุ้มเมล็ด ข้าวกล้อง (outer and inner true bran layers) และคัพภะ อาจมีเศษแป้งที่ได้จากการขัดผิวเมล็ดข้าวสารปนอยู่เล็กน้อย มีลักษณะละเอียด เบา สีเหลืองนวล และไม่มีเศษแกลบปนมีเยื่อใยค่อนข้างสูงมี CP ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ NDF 25.6 เปอร์เซ็นต์ ADF 12.2 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 3.8 เปอร์เซ็นต์ และไฟเตท 4.3 เปอร์เซ็นต์ (Warren and Farrell, 1990) ซึ่งระดับของเยื่อใยและไฟเตทที่ค่อยข้างสูงนี้จะทำให้ธาตุที่สำคัญบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัส (อยู่ในรูปไฟติกกว่า 50 เปอร์เซ็นต์) และสังกะสีถูกยึดจับแน่น สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย โดยใช้ไฟติกฟอสฟอรัสได้เพียงประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2 ผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนการสีข้าว

ที่มา: ดัดแปลกจาก สาโรช (2547) และฝ่ายศึกษาและรายงานสถานการณ์ข้าว (2525)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. รำข้าวขาว (Polishing) เป็นรำผสมแป้งที่ประกอบด้วยผิวหุ้มเมล็ดข้าวชั้นในและเศษแป้งที่ได้จากการขัดเมล็ดข้าวสารให้เรียบและเงา ลักษณะเป็นฝุ่นแป้งสีขาว มีน้ำหนักมากกว่ารำละเอียด โรงสีบางโรงไม่แยกรำข้าวขาวออกปล่อยออกมารวมกับรำละเอียด (นิธิยา, 2543; สาโรช, 2547)

คุณค่าทางโภชนาการของรำข้าว

คุณค่าทางโภชนาการของรำข้าวผันแปรไปอย่างมาก ขึ้นอยู่กับชนิดของรำและสัดส่วนการปะปนเข้ามาของแกลบและคัพภะ ตลอดจนผันแปรไปตามชนิดของช่วงอายุของสัตว์ที่ใช้รำข้าวในสูตรอาหาร ในภาพรวมคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญๆ ของรำข้าวสรุปได้ดังนี้

1. รำหยาบเป็นอาหารที่มีเยื่อใยสูงมาก ประมาณ 25-39 เปอร์เซ็นต์ สัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องย่อยได้ต่ำ มีระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) 800-1,300 kcal/kg โปรตีน 4.0-7.0 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 2.0-5.0 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่รำปิ่นแก้ว มีระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) 1,500 kcal/kg สำหรับสัตว์ปีก และ 1,500 kcal/kg สำหรับสัตว์สุกร และรำละเอียด มีระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) 2,100 kcal/kg สำหรับสัตว์ปีก และ 3,000 kcal/kg สำหรับสัตว์สุกร เป็นอาหารที่ให้พลังงานสูงปานกลางและค่อนข้างสูงสำหรับสัตว์ปีกและสุกร ตามลำดับ ส่วนรำข้าวขาวให้พลังงานสูงใกล้เคียงกับข้าวโพดและปลายข้าว

2. รำละเอียดมีโปรตีนเฉลี่ย 12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรำชนิดอื่นระดับโปรตีนจะผันแปรลดลงกับปริมาณแกลบ คัพภะ และเศษปลายข้าวที่ปะปนอยู่ คุณภาพของโปรตีนค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมักขาดกรดอะมิโนที่จำเป็น คือ ไลซีน 0.53 เปอร์เซ็นต์ และทริบโตเฟน 0.16 เปอร์เซ็นต์

3. รำละเอียดเป็นอาหารพลังงานที่มีเยื่อใยค่อนข้างสูง เฉลี่ย 13 เปอร์เซ็นต์ มีผนังเซลล์ (NDF) 25.6 เปอร์เซ็นต์, ADF 12.2 เปอร์เซ็นต์, ลิกนิน 3.8 เปอร์เซ็นต์ และไฟเตท 4.3 เปอร์เซ็นต์ (Warren and Farrell, 1990a) ซึ่งระดับของเยื่อใยและไฟเตทที่ค่อนข้างสูงนี้จะทำให้แร่ธาตุที่สำคัญบางตัว เช่น ฟอสฟอรัส อยู่ในรูปของไฟติคฟอสฟอรัสกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และสังกะสีถูกยึดจับแน่น สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย โดยทั่วไปสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องใช้ประโยชน์จากไฟติคฟอสฟอรัสได้เพียงประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. รำสด โดยเฉพาะรำละเอียดเก็บไว้ได้ไม่นาน เป็นหืนง่าย ทั้งนี้เพราะรำละเอียดมีไขมันอยู่สูง เฉลี่ย 15 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันรำประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ คือ มีกรดโอลีอิค 42.4 เปอร์เซ็นต์ และกรดลิโนลีอิค 38.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มีกรดไขมันอิ่มตัวปาล์มิติค 16 เปอร์เซ็นต์ และสเตียริค 1.5 เปอร์เซ็นต์ (Warren and Farrell, 1990a) นอกจากนี้รำสดยังมีเอนไซม์ไลพอกซิเจนเนส (lipoxygenase) หรือเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) ในรำ ทำให้เกิดเพอร์ออกไซด์ (peroxides) มีกลิ่นเหม็นหืน คุณค่าทางการให้พลังงานลดลง และสัตว์ไม่ชอบกิน (Hussien and Kratzer, 1982) ในสภาพของเมืองร้อนน้ำมันรำจะถูกไฮโดรไลส์ให้ FFA ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บไว้ 1 สัปดาห์ และค่า FFA จะเพื่อขึ้นเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 6 สัปดาห์ แต่ระดับความหืน (peroxide value) จะอยู่คงที่ในระดับต่ำ ประมาณ 5 ในช่วง 5 สัปดาห์แรก และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นระดับสูงกว่า 20 ในสัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บ ดังนั้นจึงไม่ควรเก็บรำสดไว้ใช้นานเกิน 5 สัปดาห์ การสกัดน้ำมันรำออกหรือการทำลายเอนไซม์ในรำโดยการอบด้วยไอน้ำแล้วอัดเม็ด (stabilization) หรือการเติม antioxidants เช่น BHA 0.02 เปอร์เซ็นต์ หรือ ethoxyquin 0.015 เปอร์เซ็นต์ ลงในรำสด จะช่วยยืดอายุการเก็บรำโดยไม่เสื่อมคุณภาพให้นานขึ้นได้

5. รำข้าวเป็นแหล่งที่ดีของวิตามินอีและบีหลายชนิดยกเว้นไนอาซิน ซึ่งอยู่ในรูปที่สัตว์ใช้ประโยชน์ได้น้อยนอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่ดีของกรดไขมันที่จำเป็นโดยเฉพาะ กรดลิโนลีอิค และดีปานกลางสำหรับธาตุเหล็ก 0.4 เปอร์เซ็นต์ สังกะสี 0.5 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 1.7 เปอร์เซ็นต์ หากมีแคลเซียมและแมกนีเซียมต่ำ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าว

องค์ประกอบ, %	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	แกลบ	รำ	คัพพะ	รำละเอียด
โปรตีนหยาบ	6.7-8.3	8.3-9.6	7.3-8.3	2.3-3.2	13.2-17.3	17.7-23.9	13.0-14.4
ไขมัน	2.1-2.7	2.1-3.3	0.4-0.6	0.4-0.7	17.0-22.9	19.3-23.8	11.7-14.4
เยื่อใย	8.4-12.1	0.7-1.2	0.3-0.6	40.1-53.4	9.5-13.2	2.8-4.1	2.7-3.7
เถ้า	3.4-6	1.2-1.8	0.4-0.9	15.3-24.4	9.2-11.5	6.8-10.1	6.1-8.5
แป้ง	62.1	77.2	90.2	1.8	16.1	2.4	48.3-55.4
เส้นใยอาหาร	19.1	4.5	2.7	77.3	27.6-33.3	-	-

ที่มา: Marshall and Wedworth (1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

ปัจจัยที่มีผลต่อชนิดและปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว ได้แก่ ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับเมล็ดข้าว คือ พันธุ์ข้าว ความหนาแน่นของชั้นด้านนอก (anatomical outer layers) รูปร่างของเมล็ดข้าว และความทนทานต่อการแตกหักของเมล็ดข้าว ส่วนปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขัดสี คือ วิธีการ เครื่องมือ และสภาวะในการขัดสี (Barber and Benedito de Barber, 1980)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

องค์ประกอบ	Luh (1991)	NRC (1996)	Scott *et al.* (1982)	Warren and Ferrell (1990)	DePeters *et al.* (2000)	Davis *et al.* (2000)	Beyea *et al.* (1989)
โปรตีนหยาบ, %	12.0-15.6	14.4	12.0	15.4	14.4	17.4	19.1
ไขมัน, %	15.0-19.7	15.0	13.0	22.0	20.5	15.9	17.3
เยื่อใย, %	7.0-11.4	11.4	12.0	10.0	nd	nd	nd
คาร์โบไฮเดรต, %	34.1-52.3	nd	nd	nd	nd	nd	nd
แคลเซียม, mg/g	0.3-1.2	0.10	1.2	0.39	0.05	1.62	2.02
ฟอสฟอรัส, mg/g	11-15	1.73	15	17.4	1.75	1.67	2.06
แมกนีเซียม, mg/g	5-13	nd	nd	6.88	nd	Nd	Nd
เถ้า, %	6.6-9.9	11.5	nd	10.5	8.1	13.2	10.7
ลิกโนเซลลูโลส, %	nd	20.0	nd	nd	10.4	16.3	9.2
ผนังเซลล์, %	nd	33.0	nd	nd	22.0	28.2	21.8

หมายเหตุ nd หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตหลักที่พบมากที่สุดคือ starch ซึ่งประกอบด้วย โครงสร้างของ amylose และ amylopectin ที่เหลือเป็นพวก non-starch polysaccharide ซึ่งเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ประกอบด้วย cellulose, hemicelluloses, lignin และ pectic substance ส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลอิสระ ได้แก่ ซูโครส, แรฟฟิโนส, และฟรุกโทส ซึ่งพบในบริเวณคัพพะ และเนื้อเมล็ดของข้าว (Juliano, 1985)

ไขมันและกรดไขมัน (Fat and Fatty acid)

รำข้าวประกอบด้วยไขมันในปริมาณร้อยละ 15.0-19.7 โดยไขมันที่พบในเมล็ดข้าวจะอยู่ในลักษณะเป็นหยดกลม (lipid droplets) แทรกอยู่ในชั้นต่างๆ ของเมล็ดข้าว จากการตรวจสอบชนิดของกระไขมันหลักที่พบในรำข้าว ได้แก่ palmitic acid, stearic acid, linolenic acid และ arachidonic acid (Juliano, 1985)

โปรตีน (Protein)

รำข้าวและคัพภะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าในเนื้อเมล็ดแต่เมื่อคิดเป็นปริมาณรวมของโปรตีนทั้งหมดต่อเมล็ดข้าวพบว่าในเนื้อเมล็ดมีโปรตีนมากกว่าเนื่องจากในเมล็ดข้าวมีสัดส่วนของเนื้อเมล็ดมากกว่าส่วนอื่น (Juliano, 1985) ซึ่งโปรตีนจากรำข้าวมีคุณทางโภชนาการอาหารสูงเมื่อเทียบกับ casein พบว่ารำข้าวมีค่า protein efficiency ratio (PER) เท่ากับ 1.6-1.9 และหากเป็นโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าวจะมีเท่ากับ 2.0-2.5 ซึ่งใกล้เคียงกับเคซีนที่มีเท่ากับ 2.5 นอกจากนี้การย่อย (digestibility) ของโปรตีนในรำข้าวมีปริมาณสูงถึง 73 เปอร์เซ็นต์ (Saunders, 1990) ในรำข้าวมีชนิดและปริมาณกรดอะมิโนแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของรำข้าว โดยในรำข้าวชนิดหยาบจะมีปริมาณไลซีน, ทรีโอนีน และกระกลูตามิค เป็น 5.3-6.0, 4.2-4.6 และ 14.6-15.0 กรัมต่อ 16 กรัมของไนโตรเจน ตามลำดับ ขณะที่รำข้าวชนิดละเอียดมีปริมาณกระอะมิโนดังกล่าวเป็น 4.6-5.1, 3.9-4.4 และ 6.1-17.6 กรัมต่อ 16 กรัมของไนโตรเจน ตามลำดับ (Juliano, 1985)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 ปริมาณกรดอะมิโนในรำข้าว และส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว (กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีน)

กรดอะมิโน	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	เปลือก	รำ	คัพภะ	รำละเอียด
อะลานีน	4.6-5.7	5.8	5.6-5.8	6.4-7.4	6.2-6.7	6.6-7.2	6.2
อาร์นีนีน	7.2-10.0	8.5-10.5	8.6-8.7	4.2-4.9	8.2-8.7	9.7-10.1	8.5
กรดแอสพาร์ทิก	7.2-11.0	9.0	9.1-9.6	9.0-10.9	9.5-10.5	9.1-10.6	9.2
ซีสทีน	1.2-20.5	2.2-2.4	1.8-2.6	1.9-2.1	2.4-2.78	2.6-2.8	2.6
กรดกลูตามิค	15.4-20.5	16.9	18.3-18.5	10.9-13.8	13.9-14.3	15.1-17.3	15.3
ไกลซีน	4.1-5.7	4.7	4.5-4.8	5.7-6.3	5.5-5.9	6.0-6.6	5.3
ฮิสทิดีน	1.6-2.9	2.4	2.3-2.7	1.7	2.8-3.5	3.4-3.8	2.7
ไอโซลิวซีน	3.2-5.0	3.6	3.7-4.8	3.4-4.2	2.8-4.3	3.2-3.8	2.8
ไลซีน	7.2-9.2	8.3	8.4-8.6	8.4	7.2-8.0	6.9-7.0	6.9
เมธไทโอนีน	1.6-3.6	2.3	2.3-3.0	1.6	1.8-2.4	1.4-1.9	2.3
เฟนิลอะลานีน	3.3-6.1	5.0	5.3-5.5	4.6-5.4	4.7-5.0	4.0-4.5	4.4
โพรลีน	3.9-6.3	4.8	4.6-5.1	6.8-10.8	4.4-5.8	4.3-5.0	4.0
เซอรีน	4.2-6.0	4.8-5.8	5.3-5.9	4.8-5.7	4.9-5.7	4.8-5.4	4.7
ทรีโอนีน	3.2-4.7	3.9-4.0	3.7-3.9	4.4-5.3	4.0-4.4	4.2-4.5	3.7
ทริปโทเฟน	1.3-2.1	1.3-1.5	1.3	0.6	0.6	1.0-1.4	1.3
ไทโรซีน	4.0-5.7	3.8-4.6	4.4-5.5	2.3	3.3-3.6	3.3-3.7	3.6
วาลีน	4.8-7.4	5.0-6.6	4.9-6.8	5.8-7.9	5.1-6.3	5.1-6.3	4.6

ที่มา: อรอนงค์ (2538)

วิตามิน (Vitamin)

รำข้าวเป็นแหล่งของวิตามินที่สำคัญ ได้แก่ ไนอะซิน (niacin) วิตามินบี และวิตามินอี ซึ่งมีปริมาณ 267-499, 12-24 และ 26-130 ไมโครกรัมต่อกรัมรำข้าว ที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนวิตามินที่พบในปริมาณน้อยมากหรือไม่พบเลยในรำข้าว ได้แก่วิตามินเอ, วิตามินซี และวิตามินดี ปริมาณวิตามินในรำข้าวค่อนข้างแตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์ข้าวและการขัดสีข้าว (Juliano, 1985)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของวิตามินในรำข้าว

วิตามิน	ปริมาณวิตามิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมรำข้าวแห้ง)
วิตามินเอ (Carotene)	4.20
วิตามินบี 1 (Thiamin)	10.10-27.90
วิตามินบี 2 (Riboflavin)	1.70-3.40
วิตามินบี 3 (Niacin)	236.00-590.00
วิตามินบี 5 (Pantothenic acid)	27.70-71.30
วิตามินบี 6 (Pyridoxin)	10.30-32.10
วิตามินบี 7 (Biotin)	0.16-0.60
วิตามินบี 8 (Inositol)	4,627.00-9,270.00
โคลีน (Choline)	1,279.00-1,700.00
กรดเบนโซอิก (p-Amino benzoic acid)	0.75
กรดโฟลิก (Folic acid)	0.50-1.46
วิตามินบี 12	0.005
วิตามินอี (Tocopherol)	149.20

ที่มา: Salvador and Carmer (1991)

แร่ธาตุ (Mineral)

แร่ธาตุหลักที่พบในรำข้าว คือ ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม และแมกนีเซียม โดยฟอสฟอรัสจะพบมากในรูปของกรดไฟติก (phytic acid), กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) และฟอสฟาไทด์ (phosphatide) ส่วนแร่ธาตุที่พบในรำข้าวในปริมาณต่ำ ได้แก่ แคลเซียม คลอไรด์ แมกนีเซียม เหล็ก และโซเดียม (Barber and Benedito de Barber, 1980)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเสื่อมคุณภาพของรำข้าว

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อน และมีความชื้นในอากาศสูง ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด เป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมในการเก็บรักษาอาหารไว้นานๆ โดยเฉพาะอาหารที่มีส่วนประกอบของไขมันอยู่สูง รำข้าวก็เช่นเดียวกันเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันอยู่สูง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acid) ทำให้น้ำมันรำมีความไวในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ รำจะเสื่อมเสียคุณภาพเกิดการเหม็นหืน (rancidity) ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์โดยเฉพาะการเป็นอาหารมนุษย์ อาหารสัตว์ และการนำไปสกัดน้ำมัน สุกัญญา (2539) การเก็บรักษารำละเอียดในกระสอบป่านธรรมดาจะเริ่มหืนเมื่อเก็บไว้ 30-40 วัน และไม่เหมาะที่จะนำมาเลี้ยงสัตว์

ผลเสียที่เกิดจากการเหม็นหืน คือทำให้วิตามินที่ละลายในไขมัน (Fat soluble vitamins) โดย เฉพาะวิตามิน เอ ดี อี และเค รวมทั้ง แซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) ถูกทำลาย ในอาหารที่หืนพบว่ากรดอะมิโน เช่น ไลซีน และพลังงานในอาหารลดลง เนื่องจากสารที่ได้จากปฏิกิริยาที่เกิดหืนนั้นจะทำปฏิกิริยากับไลซีน ที่กลุ่มอะมิโน Epsilon และพลังงานจากไขมันในอาหารลดลง และการหืนทำให้อาหารมีกลิ่นไม่น่ากิน

การเสื่อมคุณภาพของรำข้าวที่เกิดจากการหืนประกอบด้วยปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลติค (Hydrolytic) และปฏิกิริยาออกซิเดทีฟ (Oxidative) ซึ่งไม่เพียงแต่ปฏิกิริยาทั้งสองจะเกิดขึ้นเดี่ยวๆ แล้ว ยังมีการทำงานร่วมกันด้วย ปัจจัยที่ไปกระตุ้นการทำงานของปฏิกิริยาให้เกิดได้เร็วขึ้นคือ แสงโดยเฉพาะแสง Ultraviolet ความร้อน ความชื้น แร่ธาตุในรำโดยเฉพาะ คอปเปอร์ และเหล็ก จะเป็นตัว catalyze ทำให้เกิดการสลายตัวแบบต่อเนื่อง เอ็นไซม์เป็นตัวสำคัญในการขับเคลื่อนปฏิกิริยาดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วย

1. การเสื่อมคุณภาพของรำข้าวจากปฏิกิริยา Hydrolytic

ไลเปส (lipase) เป็นเอ็นไซม์ที่สำคัญที่สุดในปฏิกิริยา มีอยู่ 2 ชนิด คือ ไลเปส I และไลเปส II อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอ็นไซม์คือ 37 องศาเซลเซียส และ 27 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เอ็นไซม์ชนิดนี้ทำงานได้ตั้งแต่ระดับวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity, AW) น้อยกว่า 0.2 และจะเพิ่มระดับวอเตอร์แอคทิวิตี้ จะรดับ วอเตอร์เอคทิวิตี้ เท่ากับ 0.85 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสแรน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซิดิตี้ (Hydrolysis rancidity) ต้องการน้ำเพื่อทำปฏิริยากับซับสเตรท (Substrate) และสร้างกรดไขมันอิสระ (free fatty acid, FFA) ดังนี้

$$RCOOX + H_2O \xrightarrow[\text{lipase enzyme}]{} RCOOH + XOH$$

โดยธรรมชาติจะพบเอ็นไซม์ไลเปสในรำข้าว ซึ่งจะถูกปลดปล่อยจากขบวนการสีข้าว และการปนเปื้อนของไลโปไลติคแบคทีเรีย (lipolytic bacteria) เช่น *Xantomonas pp.* ซึ่งสามารถสร้างเอ็นไซม์ไลเปสได้เช่นเดียวกับ (Juliano *et al*., 1977)

2. การเสื่อมคุณภาพของรำข้าวจากปฏิกิริยา Oxidative

การเสื่อมคุณภาพของน้ำมัน จากขบวนการออกซิเดชันจะเกิดได้จากโมเลกุลออกซิเจน และออกซิเดทีฟเอ็นไซม์ คือเปอร์ออกซิเดส (peroxidase) และไลปอกซีจิเนส (lipoxigenase)

เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) เป็นคะตะลิสท์ เพื่อลดพลังงานกระตุ้น (activation energy) ในปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชัน การเสื่อมเสียแบบนี้มักเกิดที่ระดับความชื้นต่ำคือ 3-5 เปอร์เซ็นต์

$$RH + O_2 \longrightarrow RCOOH \text{ (ไฮโดรเปอร์ออกไซด์)}$$

บทบาทของเอ็นไซม์ไลเปสมีผู้ศึกษากันมาก เนื่องจากเอ็นไซม์ชนิดนี้ก่อผลเสียหายเชิงการค้า และการใช้ประโยชน์ของน้ำมัน ผลการย่อยไขมันของเอ็นไซม์ไลเปสส่วนหนึ่งจะทำให้ได้กรดไขมันไม่อิ่มตัว ปลดปล่อยออกมา ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวนี้ จะถูกออกซิไดซ์ด้วยเอ็นไซม์ไลปอกซีจิเนส ได้ hydroperoxide และ polyunsaturated fetty acid

ขบวนการ lipid peroxidation กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายชนิดมักไวต่อการทำลายของปฏิกิริยา peroxidation และผลที่ตามไม่เพียงกรดไขมันเท่านั้นที่ถูกทำลาย แต่ปฏิกิริยาที่ซับซ้อนยังก่อให้เกิดสารพิษ (toxic products) อีกหลายชนิด ขบวนการ peroxidation อาจเกิดขึ้นได้โดย autoxidation หรือจากการทำงานของเอ็นไซม์ไลปอกซีจิเนสหรือไลปอกซีเดส ยังไม่แน่ชัดว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขบวนการ peroxidation เกิดขึ้นได้อย่างไรในรำข้าว แต่จากการศึกษาในน้ำมันที่สกัดออกมาพบว่าประจุโลหะธาตุทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (super free radical) ดังนี้

$$M^{+} + O_2 \longrightarrow M^{++} + O_2^{-}$$

(metal ion)

อนุมูลอิสระ คือ อะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่มี unpaired electron เป็นอะตอมที่ไม่เสถียร (highly unstable) และไวต่อปฏิกิริยา (highly reaction) เมื่อทำปฏิกิริยากับสารใดก็ตาม จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระอีกชนิดหนึ่งขึ้นมา กำเนิดอนุมูลอิสระ นอกจากจะเกิดจาก metal ion แล้ว อาจเกิดได้จากขบวนการ Photolysis หรือเกิดจากการกระตุ้นของเอ็นไซม์ก็ได้

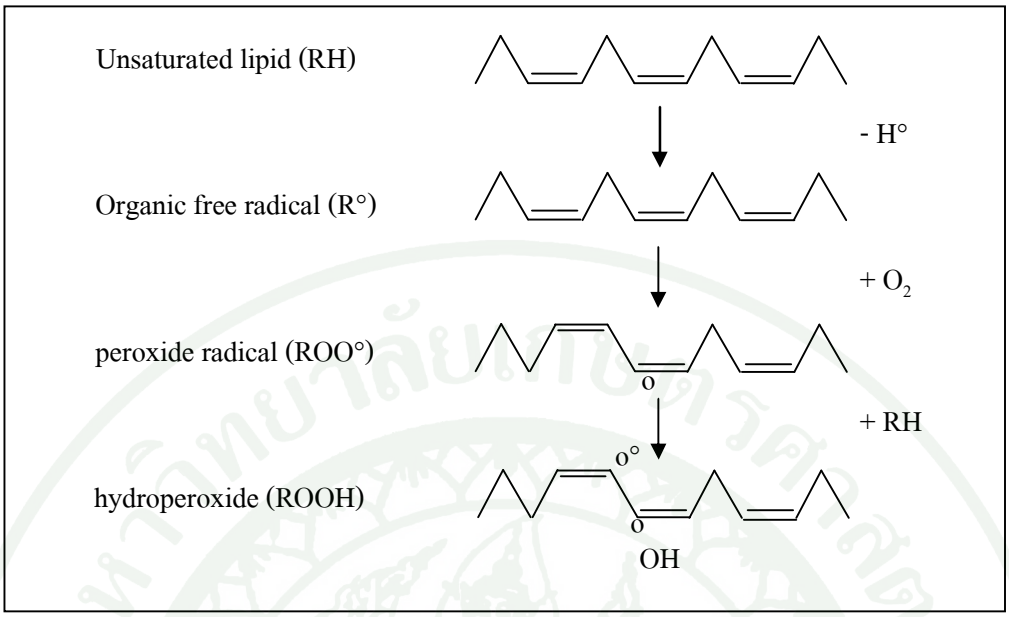
Super free radical ถ้ารับ proton เข้ามาจะกลายเป็น peroxy radical (HO_2^{-}) ซึ่งเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยาลูกโซ่ (effective chain initiator) ถ้า superoxide free radical ทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 จะทำให้เกิด hydroxyl free radical (-OH)

$$O_2^{-} + H_2O_2 \longrightarrow \text{-OH} + OH^{-} + O_2$$

(hydroxyl free radical)

Hydroxyl free radical จะไปขับเคลื่อนปฏิกิริยาลูกโซ่ของขบวนการ peroxidation ในรูปที่ โดยดึงอะตอมจาก methylene group ($-CH_2$) ที่อยู่จากพันธะคู่ (double bone) ทำให้เกิดกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลายเป็น organic free radical (R°) จากนั้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็น peroxide free radical ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาต่อไปกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวอีกโมเลกุลหนึ่ง และเปลี่ยนไปเป็น hydroperoxide (ROOH) (บางคนเรียกว่า lipid peroxidation) ROOH จัดเป็น primary oxidation product เป็นสารประกอบที่เสถียร ถ้าอยู่ในที่ที่มี metal ion จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่อีกและในที่สุดจะได้ secondary product ที่ซับซ้อนได้แก่ olefins, alanes, alcohols, acid, ketone และ aldehyde และสารประกอบคาร์บอนิว ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพ กลิ่น และรสของรำข้าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 ขบวนการเปอร์ออกซิเดชั่น (Peroxidation) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว

ที่มา: วันชัย (2538)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของรำข้าว (Lundburg, 1966)

- แสง เป็นแหล่งพลังงานสำคัญที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นๆ (ช่วงแสงอัตราไวโอเลต) ได้มีการศึกษาโดยใช้น้ำมันพืชหลายชนิด เมื่อถูกฉายด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ แล้วัดอัตราการดูดกลืนออกซิเจนของน้ำมันแต่ละชนิด พบว่าในช่วงแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น (ประมาณ 300 นาโนเมตร) คือในช่วงของแสงอัลตราไวโอเลต น้ำมันทุกชนิดจะมีอัตราการดูดซึมออกซิเจนสูงสุด นั้นคือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงสุดนั้นเอง ป้องกันได้โดยใช้ภาชนะบรรจุที่แสงส่องผ่านไม่ได้หรือขวดสีชา

- อุณหภูมิ เนื่องจากพลังงานที่ต้องการในช่วงที่ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการลดอุณหภูมิไขมันให้ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องจะขัดขวางปฏิกิริยาดังกล่าว ซึ่งอุณหภูมิมีผลน้อยมากต่อโฟโตออกซิเดชัน แต่เพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาลูกโซ่ของออกซิเดชัน และทำให้เกิดการสลายตัวของเปอร์ออกไซด์ ทำให้เพิ่มปริมาณอนุมูลอิสระที่จะเข้าสู่ปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- โลหะ โลหะในกลุ่ม transition ที่สำคัญคือเหล็กและทองแดง ซึ่งโลหะทั้งสองชนิดนี้มีโอกาสปนเปื้อนมาจากกระบวนการผลิตน้ำมันและปริมาณเพียงเล็กน้อย ในรูปที่ไม่ละลายแต่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ทำให้ระยะเหนี่ยวนำของไขมันลดลง กลไลการออกฤทธิ์ของโลหะคือทำให้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์เกิดการสลายตัวได้อนุมูลอิสระ (RO°, ROO°) ซึ่งจะเข้าสู่ปฏิกิริยาลูกโซ่ของออโตออกซิเดชันต่อไป ดังกลไลการออกฤทธิ์ของโลหะในการทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์สลายตัว

$$M^{+} + ROOH \longrightarrow RO^{\circ} + {}^{-}OH + M^{2+}$$
$$M^{2+} + ROOH \longrightarrow ROO^{\circ} + H^{+} + M^{-}$$
$$2ROOH \longrightarrow RO^{\circ} + ROO^{\circ} + H_2O$$

หมายเหตุ M^{+}, M^{2+} คือ โลหะที่มีเวเลนซีเป็น + กับ 2+

ROOH คือ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์

RO°, ROO° คือ อนุมูลอิสระ

ในวัตถุดิบที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบมักจะพบโลหะปนเปื้อนอยู่เล็กน้อย ถึงแม้ว่าวัตถุดิบนั้นจะผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์มาแล้วก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากโลหะเหล่านี้เป็นส่วนประกอบของสารที่สำคัญบางชนิดในเซลล์ของพืชและสัตว์ เช่น คลอโรฟิลล์ ไซโตโครม ฮีโมโกลบิน และมัยโอโกลบิน ปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักจะเป็นปัญหาสำคัญแต่สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยใช้สารเคมี เช่น เอทธิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด (Ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)

- โครงสร้างของโมเลกุลไขมัน น้ำมันหรือไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว คือมีพันธะคู่ในโมเลกุลเกิดการหืนเนื่องจากออกซิเจนได้ดีกว่ากรดไขมันอิ่มตัว และยิ่งมีพันธะคู่มาก คือมีความไม่อิ่มตัวสูงจะยิ่งหืนได้เร็วกว่าน้ำมันที่มีความไม่อิ่มตัวต่ำ กรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูง เช่น กรดลิโนลีอิคต่อเมทธิลลิโนลีเอทต่อเมทธิลลิโนลีเนท เท่ากับ 1:1.7:2.3 ถ้าเป็นกรณี ออโตออกซิเดชันที่ 20 องศาเซลเซียส อัตราส่วนจะเป็น 1:12:25

- ส่วนประกอบของน้ำมันและไขมัน น้ำมันหรือไขมันแต่ละชนิดมีความไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างๆ กัน ขึ้นกับส่วนประกอบต่างๆ ที่รวมกับเป็นน้ำมันชนิดนั้นๆ ตัวอย่างเช่น น้ำมันที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีร้อยละของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วกว่าน้ำมันที่มีร้อยละของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำ หรือเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ตัวอย่างน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง เช่น น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง นอกจากส่วนประกอบหลักแล้ว ยังมีส่วนประกอบย่อยๆ อื่นที่มีผลต่ออัตราการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันนั้นๆ เช่น วิตามินอี ฟอสฟาไทด์ สารประกอบทั้งสองนี้จะเสริมฤทธิ์กันทำให้น้ำมันเกิดการหืนช้าลง ในไขมันสัตว์อาจพบวิตามินอีบ้างเล็กน้อย ซึ่งมาจากการที่สัตว์กินพืชที่มีวิตามินอีเป็นอาหาร

- ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) หรือโปรออกซิแดนท์ ได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส สารประกอบฮีมาติน สารสี (pigment) ต่างๆ เช่น คลอโรฟิลล์ คาโรทีนอยด์ (carotenoid) บางตัวสามารถเร่งการเกิดออกซิเดชันได้

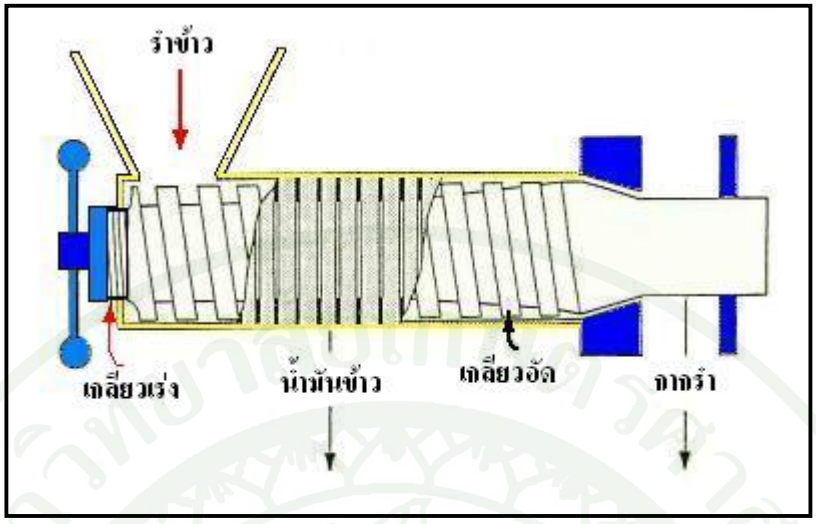
การสกัดน้ำมันรำข้าว (Rice Bran oil Extraction)

กรรมวิธีในการสกัดน้ำมันรำข้าวออกจากวัตถุดิบมีอยู่ 2 วิธีคือ

1. การบีบหรือการใช้แรงอัด (mechanical expression) ใช้เครื่องบีบแรงอัดสูงแยกน้ำมันออกจากวัตถุดิบ วิธีนี้มักใช้กับเมล็ดพืชน้ำมันและควรเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำมันมาก เช่นถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย ถั่วเหลือง เมล็ดงา และเนื้อมะพร้าวแห้ง วิธีนี้มักให้น้ำมันน้อยกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลาย เครื่องที่ใช้ในการบีบสกัดน้ำมัน มี 2 ชนิดคือ แบบไฮดรอลิค (hydraulic press) และแบบเกลียวอัด (screw type press หรือ expeller) แบบไฮดรอลิค เมื่อบีบน้ำมันออกหมดแล้วจะต้องเอากากออกทุกครั้งไป ส่วนแบบเกลียวอัดเมล็ดพืชจะถูกป้อนเข้าเครื่อง เพื่อบีบน้ำมันออกได้ติดต่อกันตลอดเวลาโดยไม่ต้องเสียเวลาหยุดเครื่อง (Chang *et al*., 1980)

2. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) ตัวทำละลายที่ใช้จะต้องไม่เป็นพิษ ตัวอย่างเช่น เอน-เฮกเซน (n-hexane), เบนซีน (benzene), อะซิโตน (acetone), ไซโครเฮกเซน (cyclohexane), คาร์บอนไดซัลไฟด์ (carbon disulfide) และเอททิล เมททิล คีโตน (ethyl methyl ketone) ที่นำยมใช้กันมากคือ เอน-เฮกเซน การใช้ตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันจากพืชได้มากถึง 95-99 เปอร์เซ็นต์ เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดมี 3 แบบ คือ bacth type, bettery type และ continuous type (Chang *et al*., 1980)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 โครงสร้างเครื่องบีบน้ำมันแบบเกลียวอัด (screw type press)

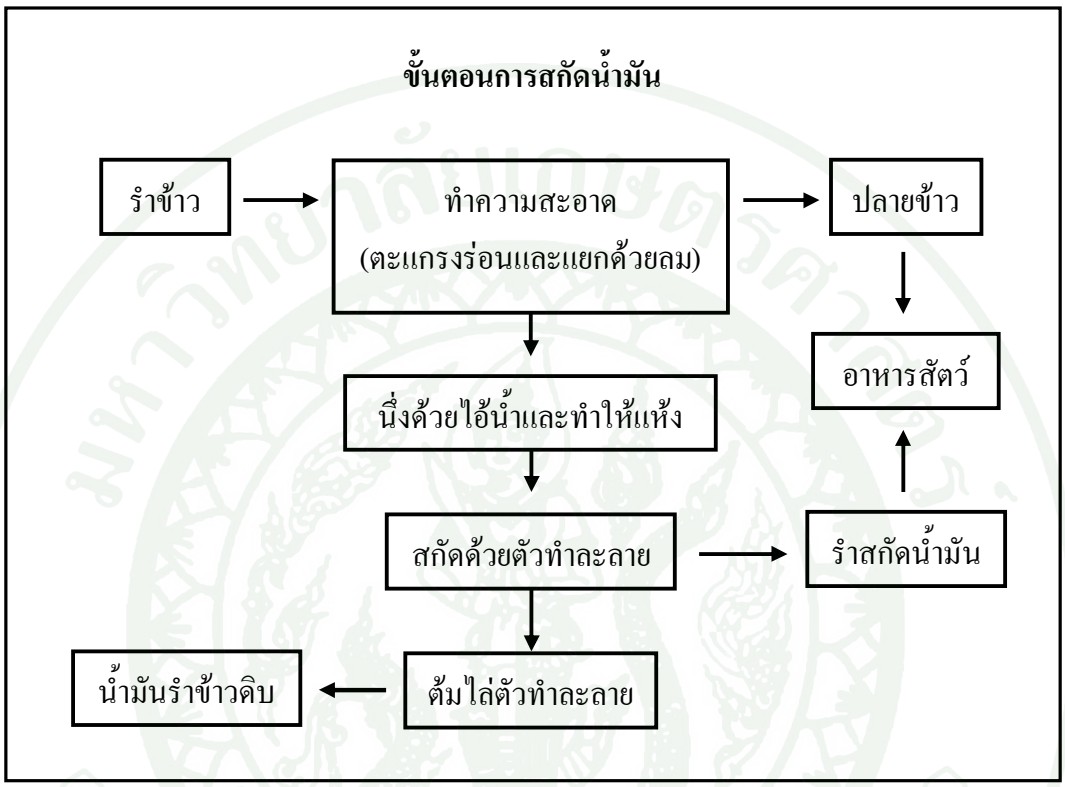
ที่มา: http:// www.smethai.com (สืบค้นวันที่ 3 พฤษภาคม 2553)

- bacth type ลักษณะการทำงานโดยตัวทำละลายจะผสมเข้ากับวัตถุดิบที่อยู่ในท่อหรือถัง โดยการปั้มให้เฮกเซนและวัตถุดิบไหลสวนทางกันกลับไปกลับมาชั่วระยะเวลาหนึ่ง น้ำมันที่ได้จะละลายอยู่ในตัวทำละลาย เรียกว่า มิสเซลลา (miscella) จากนั้นก็กรองแยกเอากากออก แล้วส่งไปกลั่นเอาตัวทำละลายออกซึ่งตัวทำละลายสามารถนำกลับไปสกัดน้ำมันได้อีก

- bettery type เป็นเครื่องสกัดแบบกึ่งต่อเนื่อง ลักษณะการทำงานจะส่งวัตถุดิบที่มีน้ำมันเข้าสู่ระบบลำเลียงแบบสกรู ที่นำวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องอบเพื่ออบไล่ความชื้น ยับยั้งการเปลี่ยนแปลงค่ากรดของน้ำมันในวัตถุดิบ และเพิ่มเพิ่มความสะดวกสำหรับการทำงานในขั้นตอนต่อไป จากนั้นวัตถุดิบที่ผ่านการอบจะถูกลำเลียงเข้าสู้เครื่องปั่นแยก เพื่อแยกวัตถุดิบที่มีเนื้อและเปลือกหรือกะลาออกจากกัน จากนั้นส่วนที่จะนำไปสกัดน้ำมันจะถูกลำเลียงด้วยสกรูความร้อนเข้าสู่เครื่องหีบน้ำมันแบบเกรียวอัดเดี่ยว วัตถุดิบจะถูกบีบอัดด้วยแรงทางกล เพื่อทำให้น้ำมันแยกออกจากส่วนที่เป็นกาก และน้ำมันจากขั้นตอนการหีบถูกลำเลียงไปยังเครื่องกรองแบบสั่น เพื่อแยกสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ออก ซึ่งสิ่งเจือปนนี้ยังมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง จึงถูกนำกลับไปเข้าเครื่องหีบน้ำมันอีกครั้ง ส่วนน้ำมันที่ได้จากการกรองด้วยเครื่องกรองแบบสั่นถูกส่งไปยังเครื่องกรองแบบผ้ากรอง เพื่อแยกสิ่งเจือปนขนาดเล็กออกจากน้ำมัน ดังนั้น น้ำมันที่ได้จากระบบการสกัด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบนี้ไม่ใช้ไอน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องกากที่ได้จึงมีคุณภาพเหมาะสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่นต่อเนื่องไป เช่น การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โรงงานผลิตอาหารสัตว์ เป็นต้น



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันรำข้าว

ที่มา: http://ricegermoil.blogspot.com (สืบค้นวันที่ 3 พฤษภาคม 2553)

- continuous type เป็นเครื่องสกัดในระบบต่อเนื่องโดยตัวทำละลายที่ใช้จะถูกปล่อยเข้าไปในท่อเพื่อสกัดเอาน้ำมันออก ซึ่งเป็นการไหลสวนทางกันของรำข้าวกับตัวทำละลายที่ไหลเข้ามาอีกทางหนึ่งให้ได้รำที่สกัดน้ำมันออกแล้ว miscella ก็จะถูกส่งไปกลั่นเพื่อแยกเอาตัวทำละลายออก น้ำมันรำที่ยังไม่บริสุทธิ์ เรียกว่า น้ำมันดิบ (crude oil) ก็จะถูกส่งเข้าขบวนการเพื่อทำให้บริสุทธิ์ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสกัดน้ำมันรำข้าวแตกต่างจากการสกัดน้ำมันพืชชนิดอื่น เพราะในรำข้าวมีองค์ประกอบของน้ำมันเพียง 17 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักรำข้าว และเมื่อนำน้ำมันที่สกัดได้มากลั่นเป็นน้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์จะได้ปริมาณน้ำมันประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักรำข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ กระบวนการสกัดเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบให้มีความเหมาะสมกับการสกัด ตั้งแต่การคัดแยกวัตถุดิบและการใช้ไอน้ำความร้อนสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อหยุดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของเอนไซม์ไลเปส (lipase) ในรำข้าวก่อนนำไปสกัด ทำให้น้ำมันรำข้าวดิบที่สกัดได้มีคุณภาพสูง (บริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด, มปป)

การใช้รำข้าวเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

รำสด (Rice bran)

สมรรถภาพการผลิต

ในการศึกษาการใช้รำข้าวทดแทนข้าวโพดในโคขุนที่ได้รับอาหารข้น 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าโคขุนมีอัตราการเจริญเติบโต ลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ (Snell *et al*., 1945) แต่การเพิ่มรำข้าวเพื่อทดแทนข้าวฟ่าง จาก 0-21 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มน้ำหนักตัว (White, 1965) นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มปริมาณรำข้าวในสูตรอาหารมีผลต่อการเกิดท้องเสีย เมื่อเพิ่มสูงถึง 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ Forster *et al*. (1993) ได้เปรียบเทียบสมรรถภาพการให้ผลผลิตของโคเนื้อที่แทะเล็มแปลงหญ้าผสมถั่ว เสริมด้วยข้าวโพดหรือรำข้าว ในระดับต่ำหรือสูง โดยการเสริมข้าวโพดและรำข้าว ได้ถูกคำนวณให้โคได้รับพลังงานเท่ากันในแต่ละระดับ พบว่า อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด เมื่อโคได้รับข้าวโพดที่ระดับ 0.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (อัตราการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ 0.97 กิโลกรัมต่อวัน) และต่ำสุด ในโคที่ได้รับรำข้าวเป็นอาหารเสริมที่ระดับ 0.76 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (อัตราการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ 0.76 กิโลกรัมต่อวัน) ในขณะที่โคที่ได้รับการเสริมข้าวโพด 0.3 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว และรำข้าว 0.38 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน (0.76 กิโลกรัมต่อวัน) การทดลองที่ 2 ของ Forster *et al*. (1994) พบว่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักของโคเนื้อที่ได้รับข้าวโพดที่ระดับ 0.62 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (อัตราการเพิ่มน้ำหนัก 1.14 กิโลกรัมต่อวัน) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ กับโคเนื้อที่ได้รับรำข้าวที่ระดับ 0.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (อัตราการเพิ่มน้ำหนัก 1.18 กิโลกรัมต่อวัน) แต่อย่างไรก็ตาม อัตราการเพิ่มน้ำหนักของโคที่ได้รับการเสริมรำข้าวมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมซึ่งมีอัตราการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เจริญเติบโต เท่ากับ 1.06 กิโลกรัมต่อวัน Sanson and Coombs (2003) ได้ทำการศึกษาโคสาวตั้งท้องที่ได้รับหญ้า bahia (*Paspalum notatum*) เป็นอาหารพื้นฐาน เสริมด้วยข้าวโพด รำข้าว หรือผิวถั่วเหลืองในระดับ 1.4 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน พบว่า โคสาวที่ได้รับข้าวโพดและผิวถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับโคสาวที่ได้รับรำข้าว Till *et al*. (1991) ได้ทำการเปรียบเทียบโคสาวที่แทะเล็มแปลงหญ้า และได้รับการเสริมด้วยอาหารเสริมที่ให้ค่าพลังงานเท่ากัน คือ รำข้าว กากน้ำตาลผสมยูเรีย และกากน้ำตาลผสมยูเรียและรำข้าว พบว่า โคสาวที่ได้รับรำข้าวและกากน้ำตาลผสมยูเรีย มีอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตาม โคสาวที่ได้รับกากน้ำตาลผสมยูเรียและรำข้าว มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักที่ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ White and Hembry (1985) ได้ตั้งข้อสังเกตว่า สมรรถภาพการผลิตของโคที่ได้รับอาหารที่มีรำข้าว 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สมรรถภาพจะลดลงเมื่อเพิ่มรำข้าวในสูตรอาหารเป็น 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ Wannapat *et al*. (1985) ทำการทดลองใช้รำ 65.6 เปอร์เซ็นต์ กับปลายข้าว 22.0 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารโคขุนพันธุ์อเมริกันบราร์มัน โดยใช้เสริมฟางหมักยูเรียในระดับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน พบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยวันละ 0.468, 0.846 และ 0.928 กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ จินดา และคณะ (2529) ใช้รำข้าวผสมในสูตรอาหารข้นที่มีข้าวโพดและหรือมันเส้นเป็นหลักในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงกระบือลูกผสมพันธุ์มูราห์ อายุประมาณ 2 ปี ทั้งเพศผู้และเพศเมีย จำนวน 18 ตัว ใช้อาหารข้น 3 สูตรร่วมกับฟางข้าว พบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 0.47, 0.39 และ 0.41 กิโลกรัม ตามลำดับ Ibrahimm (1986) ได้ทำการทดลองเสริมรำข้าวซึ่งหาได้ง่ายและราคาถูกในศรีลังกา โดยใช้รำ 0.5 กิโลกรัมต่อวัน ในโคพันธุ์พื้นเมือง พบว่าสามารถรักษาน้ำหนักไว้ได้ แต่ถ้าใช้ร่วมกับฟางข้าวหมักยูเรียสามารถเพิ่มน้ำหนักตัวได้วันละ 1 กิโลกรัม ในการใช้รำในอาหารโคนมสามารถเพิ่มปริมาณน้ำนมและไขมันเนย (butter fat) อย่างไรก็ตามการใช้ในปริมาณที่สูงจะมีผลต่อคุณภาพของน้ำนม เป็นผลให้นมขาดไขมันเนย (cheese) และไขมันในเนยมีความเหลวในสหรัฐอเมริการำข้าวเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในโรงงานอาหารโคนม ในขณะที่รำข้าวขาวใช้เป็นอาหารโคขุน ระดับการใช้ในโคนมและโคเนื้อไม่ควรเกิน 30 เปอร์เซ็นต์ (Morrison, 1959)

สมรรถภาพการสืบพันธุ์

De Fries *et al*. (1998) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสืบพันธุ์หลังคลอดของแม่โคที่ได้รับอาหารที่คำนวณให้มีค่าพลังงานและโปรตีนเท่ากัน โดยในสูตรอาหารใช้รำข้าวและไม่ใช่รำข้าวเป็นส่วนประกอบ ในสูตรที่ไม่ใช้รำข้าวจะใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบแทน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รำข้าวบางส่วน พบว่า แม่โคที่ได้รับรำข้าวในอาหารมีการเพิ่มน้ำหนักได้มากกว่าแม่โคที่ได้รับอาหารควบคุม แม่โคที่ได้รับอาหารที่มีรำข้าวเพิ่มปริมาณของการตกไข่ในรังไข่ทั้งขนาดกลางและขนาดใหญ่ อัตราการตั้งท้องมีแนวโน้มสูงกว่าในแม่โคที่ได้รับอาหารที่มีรำข้าว (94.10 และ 91.40 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอาหารที่มีรำข้าวและอาหารกลุ่มควบคุม ตามลำดับ) สอดคล้องกับการศึกษาของ Webb *et al*. (2001) รายงานว่า ความสมบูรณ์ของร่างกาย (body score) มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่แม่โคที่ได้รับอาหารที่มีรำข้าวมีอัตราการกลับสัดหลังการคลอดภายใน 60 วัน มากกว่าแม่โคที่ได้รับอาหารควบคุม (70.60 และ 52.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม อัตราการผสมติดจากการผสมเทียมครั้งแรก และอัตราการตั้งท้องมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

การกินได้และการย่อยได้

รำข้าวมีองค์ประกอบเถ้าสูงและอินทรียวัตถุต่ำ ดังนั้นเทียบกับเมล็ดธัญพืช จากการที่มีอันทรีย์วัตถุต่ำในรำข้าว จึงมีผลต่อการกินได้ของอาหารหยาบและการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ Forster et al. (1994) รายงานว่าการกินได้ของหญ้าแห้งและอินทรียวัตถุทั้งหมดของโครุ่นที่ได้รับการเสริมรำข้าว แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโครุ่นที่ได้รับการเสริมข้าวโพด การกินได้อินทรียวัตถุของอาหารเสริมในโครุ่นที่ได้รับรำข้าวและข้าวโพดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่ารำข้าวจะมีอินทรีย์วัตถุที่ต่ำกว่าข้าวโพด เมื่อทำการเสริมในระดับที่มีค่าพลังงานการย่อยได้ (DE) เท่ากัน และความแตกต่างในการกินได้ของอินทรีย์วัตถุเกิดขึ้นจากผลของอาหารเสริมที่มีต่อค่าการกินได้ของหญ้าแห้ง ในการศึกษาให้โคได้รับหญ้าแห้ง (หญ้า Bermuda) และเสริมด้วยรำข้าวหรือข้าวโพด Forster et al. (1993) พบว่า โคที่ได้รับการเสริมข้าวโพดมีการกินได้ของหญ้าแห้งที่มากกว่า และความแตกต่างนี้เห็นได้ชัดเจนมากขึ้นในหญ้าแห้ง (หญ้า Bermuda) ที่มีองค์ประกอบของผนังเซลล์ (NDF) อยู่สูง เมื่อเทียบกับหญ้าแห้ง (หญ้า rye และ ข้าวสาลี) ที่มีองค์ประกอบของผนังเซลล์ (NDF) ต่ำ ซึ่งค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุมีค่าต่ำกว่าในกลุ่มที่ได้รับรำข้าว เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับข้าวโพด แต่การย่อยได้ของผนังเซลล์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาต่อมาของ Forster et al. (1993) รายงานว่า การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุของโคที่ได้รับข้าวโพดเสริมมีค่าสูงกว่าโคที่ได้รับรำข้าวเสริม และการย่อยได้ตลอดทางเดินอาหารของผนังเซลล์ของโคที่ได้รับรำข้าวเสริมมีค่าต่ำกว่า ในขณะที่ความเป็นกรดด่างและอัตราการไหลผ่านของชิ้นอาหารแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนในโคที่ได้รับรำข้าวเสริมมีค่าสูงกว่าถึงแม้ว่าค่าการกินได้ของไนโตรเจนจะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม ต่อมา Forster et al. (1994) ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทำการศึกษาการเสริมรำข้าวในระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และการเสริมข้าวโพดในระดับ 0.31 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ในโค พบว่า โคที่ได้รับการเสริมรำข้าวมีค่า pH ต่ำกว่า (0.12 ยูนิต) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ในโคที่ได้รับการเสริมรำข้าวมีสัดส่วนของกรดอะซิตริกต่อกรดโปรพิโอนิกต่ำกว่าโคที่ได้รับการเสริมด้วยข้าวโพด ถึงแม้ว่าค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความสามารถในการย่อยสลายองค์ประกอบโปรตีนของรำข้าวในกระเพาะรูเมน (RDP) เมื่อคิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบโปรตีนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 64.30, 50.00 และ 41.40 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับอัตราการไหลผ่าน 2, 5 และ 8 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ (Islam et al., 2002) Forster et al. (1994) ได้ให้ข้อสังเกตว่าองค์ประกอบไขมันในรำข้าวทำให้การย่อยได้ของผนังเซลล์ของรำข้าวลดลง โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนของผนังเซลล์ที่ 48 และ 72 เปอร์เซ็นต์มีค่าใกล้เคียงกัน แต่การย่อยสลายที่เกิดขึ้นในชั่วโมงแรกๆ มีค่าแตกต่างกันสูงมากระหว่างรำข้าวสกัดน้ำมันและรำข้าวสด Zhao *et al*. (1996) รายงานว่าการย่อยได้ของผนังเซลล์ในโคเนื้อที่ได้รับอาหารที่มีรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านความร้อนต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่ได้รับอาหารที่มีรำสกัดน้ำมัน แสดงผลให้เห็นว่าการย่อยได้ของเยื่อใยจะลดลงด้วยอันเป็นผลมาจากองค์ประกอบไขมันของรำข้าวสดและรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน

รำสกัดน้ำมัน (De-oiled Rice Bran)

ข้อดีของรำที่ผ่านการสกัดน้ำมัน คือ มีอายุการเก็บรักษาที่นานกว่า ในช่วงฤดูร้อนรำสดจะเกิดความหืนขึ้นอย่างรวดเร็วถ้าไม่ผ่านขบวนการให้ความร้อนที่ช่วยทำลายเอ็นไซม์ไลเปส การสกัดน้ำมันอาจส่งผลต่อค่าพลังงานการย่อยได้ (DE) ลดลง และทำให้โภชนะอื่นๆ มีความคงทนต่อการย่อยได้สูงขึ้น โดยรำสกัดน้ำมันจะมีองค์ประกอบโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตโครงสร้างสูงขึ้น แต่ค่าไขมันจะลดลงตามวิธีที่ใช้ในการเอาน้ำมันออกจากรำข้าว

สมรรถภาพการผลิต

Deniels *et al*. (1999) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการให้ผลผลิตของโครุ่นที่ปล่อยให้แทะเล็มแปลงหญ้า Bermuda เสริมด้วยรำสกัดน้ำมันและไม่เสริม (กลุ่มควบคุม) พบว่า โคที่ได้รับการเสริมรำสกัดน้ำมันมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า (0.17 กิโลกรัมต่อวัน) โคกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม Forster *et al*. (1994) ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการเพิ่มน้ำหนักตัวของโคขุนและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โคสาวที่ปล่อยแทะเล็มแปลงหญ้าเป็นเวลา 84 วัน โดยโคจะได้รับอาหารเสริม ดังนี้ ไม่เสริมอาหาร (กลุ่มควบคุม) รำไขมันเต็ม (0.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว) ข้าวโพด (0.62 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว) ข้าวสาลี (0.81 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว) รำสกัดน้ำมันที่มีปริมาณไขมันคงเหลือสูง และรำสกัดน้ำมันที่มีปริมาณไขมันคงเหลือต่ำ พบว่า อัตราการเพิ่มน้ำหนักของโคที่ได้รับการเสริมด้วยไม่ได้รับการเสริม (กลุ่มควบคุม) รำไขมันเต็ม ข้าวโพด ข้าวสาลี รำสกัดน้ำมันที่มีปริมาณไขมันคงเหลือสูง และรำสกัดน้ำมันที่มีปริมาณไขมันคงเหลือต่ำ มีค่าเท่ากับ 1.06, 1.18, 1.14, 0.99, 1.04 และ 0.98 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ Gadberry *et al*. (2004) ศึกษาเปรียบเทียบโคสาวที่ได้รับการเสริมรำสกัดน้ำมัน (1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว) กับการเสริมข้าวโพด (1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว) พบว่า สมรรถภาพการผลิตในด้านการเพิ่มของน้ำหนัก และอัตราการผสมพันธุ์ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในการเพิ่มปริมาณรำสกัดน้ำมันจากระดับต่ำสุด 0.5-0.9 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว มีแนวโน้มต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นในโคที่มีอายุโตเต็มวัย แต่อย่างไรก็ตามค่าความสมบูรณ์ของร่างกาย (BCS) น้ำหนักแรกเกิดของลูกโค และน้ำหนักอย่านม รวมทั้งอัตราการผสมติด ไม่มีผลจากการเสริมรำสกัดน้ำมันในระดับต่างๆ (Gadberry *et al*., 2006) Singh *et al*. (2000) รายงานว่าการเพิ่มน้ำหนักตัวตลอด 34 วัน ในแม่โครระยะแห้งนมที่ได้รับรำข้าวสาลี และรำสกัดน้ำมันอย่างเต็มที่ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ Chaudhary *et al*. (2001) สังเกตว่าแม่โครีดนมที่ได้รับอาหารที่มีข้าวโพด รำสกัดน้ำมัน และกากน้ำตาล เป็นองค์ประกอบ 30, 55 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับแม่โครีดนมที่ได้รับอาหารที่มีข้าวโพด รำสกัดน้ำมัน และกากน้ำตาล เป็นองค์ประกอบ 0, 78 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีสมรรถภาพการผลิตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงถึงรำสกัดน้ำมันผสมกากน้ำตาลสามารถทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารโครีดนมได้เป็นอย่างดี

การกินได้และการย่อยได้

Zhao *et al*. (1996) ให้คำแนะนำว่า การย่อยได้ของเยื่อใยและการได้รับพลังงานอาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสกัดน้ำมันออกจากรำข้าว ในการศึกษาของ Taniguohi *et al*. (1991) ได้ศึกษาการใช้รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน รำ Stabilized และรำข้าวสาลี ในอาหารโคสาวพันธุ์โฮลสไตร์ฟรีเชียล ที่ระดับ 35-38 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีไขมันสูง คือรำละเอียด และรำ Stabilized มีการย่อยได้ของเยื่อใยต่ำกว่าโคนมที่ได้รับรำสกัดน้ำมันและรำข้าวสาลี โดยมีค่าการย่อยได้เท่ากับ 35.0, 35.3, 48.6 และ 51.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าการย่อยได้ของพลังงานเท่ากับ 65.0, 67.3, 76.7 และ 72.9 เมกะจูลต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งสรุปว่าการให้ความร้อนกับรำไม่มีผลต่อการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ย่อยได้ในโคนม ซึ่งสอดคล้องกับ Zhao *et al*. (1996) พบว่าโคนมที่ได้รับรำละเอียดและ stabilized มีกรดโปรไปโอนิค (propionic acid) ในของเหลวจากรูเมนสูงกว่าโคนมที่ได้รับ รำสกัดน้ำมันและรำข้าวสาลี ซึ่งยังพบว่าการย่อยได้ของเยื่อใยและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของรำในโคนมมีค่าสูง การใช้รำในอาหารโคนมสามารถเพิ่มให้สูงขึ้นได้โดยการสกัดน้ำมันออก การให้ความร้อนในรำไม่ทำให้ค่าการย่อยได้ของเยื่อใยและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น Ieki *et al*. (1997) ใช้รำข้าวในอาหารโคนม พบว่า การไหลผ่านของกรดไขมันในส่วนของลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) ในโคนมที่ได้รับรำละเอียด และรำ stabilized จะสูงกว่าในโคนมที่ได้รับรำสกัดน้ำมันและรำข้าวสาลี กล่าวได้ว่าการย่อยได้จริงของกรดไขมันรวมในโคนมที่ได้รับรำละเอียดมีค่าเท่ากับ 61.6 เปอร์เซ็นต์ของการไหลผ่านในส่วนลำไส้เล็กส่วนต้น จะเห็นได้ว่าการใช้รำในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องยังสมารถใช้ได้ดีในระดับหนึ่ง แต่การใช้ในระดับที่สูงจะมีผลต่อการย่อยได้ของเยื่อใยและจะต้องคำนึงถึงระดับของไขมันในอาหารด้วย Forster *et al*. (1994) รางานว่า แม่โคที่ได้รับอาหารที่มีรำสกัดน้ำมันเป็นส่วนประกอบในระดับ 0.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว มีการกินได้ของอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแม่โคที่ได้รับอาหารที่มีรำไขมันเต็มเป็นส่วนประกอบ แต่การย่อยได้อินทรีย์วัตถุตลอดทางเดินอาหารแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามแม่โคที่ได้รับอาหารที่มีรำสกัดน้ำมันเป็นส่วนประกอบมีค่าการย่อยได้อินทรีย์วัตถุต่ำกว่า แม่โคที่ได้รับอาหารที่มีข้าวโพดและข้าวสาลีเป็นส่วนประกอบ ในการใช้รำสกัดน้ำมันในระดับสูง (1.1 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว) ส่งผลให้การกินได้ของหญ้าแห้งต่ำลง แต่ค่าการกินได้ของอินทรีย์วัตถุและค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการกินได้ ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ โปรตีนหยาบ และผนังเซลล์ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในอาหารที่มีข้าวโพดและรำสกัดน้ำมันเป็นส่วนประกอบ 30 และ 55 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับอาหารที่มีรำสกัดน้ำมันและกากน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ 78 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Chandhary *et al*., 2001) Singh et al. (2000) พบว่าการกินได้ของฟางข้าวสาลีแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในโคที่ได้รับรำข้าวสาลีและรำสกัดน้ำมันอย่างเต็มที่ แต่โคที่ได้รับรำสกัดน้ำมันมีค่าการกินได้มากกว่าโคที่ได้รับรำข้าวสาลีประมาณ 3 กิโลกรัมต่อวัน การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และค่า TDN ของอาหารที่มีรำข้าวสาลีมีค่าสูงกว่าอาหารที่มีรำสกัดน้ำมัน (การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 67.90 และ 63.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ค่า TDN เท่ากับ 55.50 และ 47.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) การย่อยได้ของโปรตีนของอาหารที่มีรำสกัดน้ำมันมีค่าสูงกว่าอาหารที่มีรำข้าวสาลีเช่นกัน Garg and Gupta (1994) ทำการคำนวณค่าการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมน (RDP) เป็นเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบโปรตีนทั้งหมด พบว่า รำสกัดน้ำมันมีค่า RDP เท่ากับ 61.76 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหลผ่าน 5 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง ในขณะที่ Forster *et al*. (1994) รายงานว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่า RDP ของรำสกัดน้ำมันที่ทำการเสริมในระดับต่ำ (0.8 เปอร์เซ็นต์) และการเสริมในระดับสูง (1.1 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเท่ากับ 80 และ 71 เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบโปรตีน ตามลำดับ ค่า RDP ของรำสกัดน้ำมันมีค่าสูงกว่าค่า RDP ของรำสด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

การดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ ได้แบ่งงานวิจัยออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกันในระยะเวลาการเก็บที่ต่างกัน

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าวที่ผ่านขบวนการต่างกันในระยะเวลาการเก็บรักษารำข้าวที่นานขึ้น เนื่องจากการเก็บรักษารำข้าวไว้ในบรรยากาศทั่วไปจะทำให้คุณภาพของรำข้าวลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากสารสำคัญของรำข้าวสามารถสลายตัวได้โดยการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปสจะทำให้เกิดการสลายกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรำข้าว

อุปกรณ์

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นรำที่ผ่านขบวนการผลิตต่างกัน คือ

1. รำละเอียด (RB) จากกระบวนการสีข้าวของโรงสีข้าว

2. รำสกัดน้ำมัน (RBS) จากการสกัดน้ำมันโดยใช้สารเคมี จากบริษัทเอกชน

3. รำบีบน้ำมัน (RBE) จากขบวนการบีบน้ำมันเย็น โดยใช้เครื่อง screw type press

แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial Experiment in Completely Randomized Design, Factorial in CRD) โดยใช้รำข้าวที่ผ่านขบวนการต่างกันและระยะเวลาในการเก็บเป็นกลุ่มการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลอง ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจัยที่ 1 คือ รำข้าวที่ผ่านขบวนการต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ รำละเอียด (RB) รำสกัดน้ำมัน (RBS) และรำบีบน้ำมัน (RBE)

ปัจจัยที่ 2 คือ ระยะเวลาในการเก็บรำข้าว 4 ช่วงเวลา (เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง) ได้แก่ 0, 10, 20 และ 30 วัน

วิธีการ

วิธีการทดลอง

นำรำข้าวทั้ง 3 ชนิด ที่เก็บไว้ในถุงซิปขนาด 10x15 นิ้ว ถุงละ 100 กรัม แต่ละช่วงเวลา ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพส และสกัดน้ำมันเพื่อทำการวัดค่ากรด (Acid value) คือการหาจำนวนมิลลิกรัมของโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ทำปฏิกิริยาเป็นกลางพอดีกับกรดไขมันอิสระในน้ำมัน 1 กรัม ตามวิธีของ AOCS (1989) เนื่องจากสามารถบ่งชี้ถึงการเกิดสถาวะกลิ่นเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการหืนได้ (สาโรจน์ และคณะ, 2540) พร้อมทั้งวัดปริมาณความชื้น

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. การทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพส

- เมทานอล

- ไดเอทิลอีเทอร์

- โซเดียมไฮดรอกไซด์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การสกัดน้ำมันรำข้าว

- ปิโตรเลียมอีเทอร์

3. การวิเคราะห์ค่ากรด (Acid value)

- เอทานอล 95 %

- 0.1 N โปรตัสเซียมไฮดรอกไซด์

- ไดเอทิลอีเทอร์

- ฟีนอล์ฟทาลีน 1 % ในเอทานอล

วิธีการวิเคราะห์ (ภาคผนวก)

1. ทดสอบกิจกรรมเอนไซม์ไลเพส (Hoi *et al*., 1999)

2. สกัดน้ำมันเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ (Hu *et al.* 1996)

3. วิเคราะห์ค่ากรด (AOCS, 1989)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (2003) โดยมีแบบหุ่นจำลองทางสถิติดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

หมายเหตุ Y_{ijk} = ค่าสังเกตที่ได้จากทรีตเมนต์ที่ ij ซ้ำที่ k เมื่อ k = 1, 2, 3, ..., r

μ = ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด

α_i = อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยที่ 1 ที่ระดับ i เมื่อ i = 1, 2, 3, ..., a

β_j = อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยที่ 2 ที่ระดับ j เมื่อ j = 1, 2, 3, …, b

$\alpha\beta_{ij}$ = อัทธิพลร่วมเนื่องจากปัจจัยที่ 1 และ 2 ที่ระดับ ij

ε_{ij} = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบัน-สุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

การทดลองที่ 2 ศึกษาการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำข้าวที่ผ่านขบวนการผลิตต่างกันโดยใช้เทคนิคการวัดปริมาณแก๊สในห้องปฏิบัติการ (in vitro Gas production techniques) ตามวิธีของธีโอเดอร์ (Theodorou)

เทคนิคการวัดแก๊สในห้องปฏิบัติการตามวิธีของธีโอเดอร์ (Theodorou *et al*.,1994) เป็นการบ่มสารละลายในขวดที่ปิดสนิทแทนการใช้ไซริ่ง ซึ่งสามารถใช้ pressure transducer เพื่อวัดความดันแก๊ส ซึ่งเป็นการทำในลักษณะ gas-measurements + gasrelease ตามช่วงเวลาที่กำหนด สามารถคำนวณอัตราของขบวนการหมักได้เช่นกันวิธีของ Menke สามารถวัดขบวนการหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง end-point fermentation ที่ 166 ชั่วโมง วิธีนี้ถูกพัฒนาเพื่อใช้กับสารละลาย a nitrogen-rich (Theodorou) medium แต่สามารถใช้กับ Menke medium ได้เช่นกันถ้าไม่ต้องการให้เกิดไนโตรเจนในสารละลาย และยังสามารถประยุกต์ใช้กับการประเมินผลทางชีวภาพ (biological evaluation) ของสารประเภทฟีนอล (phemols) ที่มีผลกระทบกับกระบวนการหมักได้ โดยการเติมสารจับตัว (binding agents) บางชนิด (ฉลอง และเมธา, 2546)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์

วัตถุดิบที่ใช้ทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นรำที่ผ่านขบวนการผลิตต่างกัน คือ

1. รำละเอียด (RB) จากกระบวนการสีข้าวของโรงสีข้าว

2. รำสกัดน้ำมัน (RBS) จากการสกัดน้ำมันโดยใช้สารเคมี จากบริษัทเอกชน

3. รำบีบน้ำมัน (RBE) จากขบวนการบีบน้ำมันเย็น โดยใช้เครื่อง screw type press

แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองที่มีการวัดซ้ำในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Repeated Measurements in Completely Randomized Design) โดยมีกลุ่มการทดลองเป็นรำข้าวที่ผ่านขบวนการผลิตต่างกัน คือ รำละเอียด (RB) รำสกัดน้ำมัน (RBS) และรำบีบน้ำมัน (RBE)

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ทดลอง

1. สารละลายแร่ธาตุปลีกย่อย (Micro-mineral solution) (กรัมต่อ 100 มล.) การเตรียมสารละลายในปริมาณ 100 มล. สามารถเก็บไว้ในตู้เย็นพื่อเป็น stock solution ได้ ปรับปริมาณให้ได้ 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น

สารเคมี	กรัมต่อ 100 มล.
$CaCl_2.2H_2O$	13.2
$MnCl_2 2H_2O$	10.0
$CoCl_2.6H_2O$	1.0
$FeCl_3.6H_2O$	8.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer solution) (กรัมต่อลิตร) การเตรียมควรเตรียมในปริมาณที่เหมาะสมที่จะใช้ สามารถเก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นได้ แต่ควรให้มีปริมาณที่เหมาะสมในการใช้แต่ละครั้ง ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นและปรับให้มีค่า pH 8.1 ด้วย HCl 1 N

สารเคมี	กรัมต่อ 1 ลิตร
NH_4HCO_3	4
$NaHCO_3$	35

3. สารละลายแร่ธาตุหลัก (Macro-mineral solution) (กรัมต่อลิตร) การเตรียมควรเตรียมในปริมาณที่เหมาะสมที่จะใช้ สามารถเก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นได้ แต่ควรให้มีปริมาณที่เหมาะสมในการใช้แต่ละครั้ง ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นและปรับให้มีค่า pH 6.8

สารเคมี	กรัมต่อ 1 ลิตร
$Na_2HPO_4.12H_2O$	9.45
KH_2PO_4	6.20
$MgSO_4.7H_2O$	0.60

4. สารละลายรีซาซูรีน (Resazurin solution) ใช้รีซาซูรีน 0.1 กรัม ต่อ 100 มล. น้ำกลั่น

5. สารละลายกลาง 900 มล. (ถ้าจำเป็นต้องใช้จำนวนมากให้เตรียมตามสัดส่วน) ในขณะที่ผสมสารละลายจะต้องให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดเวลา (มีฟองแก๊สตลอดเวลา)

สารละลาย	ปริมาณ (มล.)
Micro-mineral solution	0.1
Buffer solution	200
Macro-mineral solution	200
Resazurin solution	1
Distilled water (น้ำกลั่น)	500

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ธีโอดอร์รีดิวซิ่งเอเจนต์ (Throdorou reducing agent) ควรผสมสารเคมีในตู้ดูดควัน (fume cupboard) และควรทำภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน

สารเคมี	ปริมาณ/ปริมาตร
Cysteine HCl.1H_2O	625 มก.
Distilled water (น้ำกลั่น)	95 มล.
1 M NaOH	4 มล.
Sodium sulphide	625 มก.

7. เครื่องมือ

- ขวดซีรี่ม (serum bottles) ขนาด 50 มล.

- อุปกรณ์สำหรับเก็บน้ำจากกระเพาะรูเมนของโคนม

- ตู้บ่ม หรืออ่างน้ำอุ่น (Water bath) ที่สามารถปรับอุณหภูมิให้คงที่ได้

- ไซริ่ง (syringe) ขนาด 10 มล. พร้อมเข็มเบอร์ 21 ยาว 1.5 นิ้ว

- ปิเปตอัตโนมัติ (semi-autopipette) ขนาด 50 มิลลิลิตร

- บิกเกอร์ สำหรับเตรียมสารละลาย

- พีเอชมีเตอร์ (pH meter)

- ถังบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบ

- บดตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร

- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 0.25 กรัม (±0.0020 กรัม)

- จัดเตรียมสารละลายมาตรฐาน ที่จะใช้ ตามชนิดของสารละลาย

- จัดเรียงขวดซีรั่ม (serum bottles) ขนาด 50 มล. ให้เป็นระบบเพื่อสะดวกต่อการจัดการ

2. การเตรียมสารละลาย

- เตรียมสารละลายมาตรฐาน ในปริมาณที่เหมาะสมที่จะใช้ ทำการกวนและไล่แก๊สออกซิเจนโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นเวลา 2 ถึง 3 ชั่วโมง แล้วทำการเติมสารละลายรีซาซูรีน (ประมาณ 2 มล. ต่อลิตรของสารละลายบัฟเฟอร์) ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไปเรื่อยๆ จนรีซาซูรีนที่เติมเปลี่ยนเป็นสีชมพู

- เติมสารละลายบัฟเฟอร์ จำนวน 90 มล. ใส่ในขวดซีรั่ม ขนาด 125 มล. โดยใช้ปั้ม และให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อย่างต่อเนื่อง

- จัดเตรียมขวดซีรั่มจำนวน 5 ถึง 10 ขวด สำหรับใช้ในการใส่สารละลาย แล้วปิดขวดซีรั่มโดยใช้จุกยาง แต่ยังไม่ต้องปิดด้วยฝาอะลูมิเนี่ยม

- เก็บขวดซีรั่มที่ใส่สารละลายแล้วเก็บในตู้เย็นในอุณหภูมิ4 องศาเซลเซียส 1 คืน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การใส่ตัวอย่างวัตถุดิบในขวดซีรั่ม

- จัดเตรียม reducing agent ในปริมาณที่เหมาะสมในตู้ดูดควัน ทำการคนอย่างต่อเนื่องภายใต้สภาพที่มีไนโตรเจน

- ใช้กรวยเล็กเพื่อใส่ตัวอย่างลงไปในขวดซีรั่ม และเติม Reducing agent จำนวน 4 มล.

- การทำแต่ละครั้งจะทำ 3 ซ้ำ

- ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อย่างต่อเนื่อง ปิดด้วยจุดยาง และฝาอะลูมิเนี่ยม

- วางขวดซีรั่มไว้ในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส

4. การเตรียมของเหลวจากกระเพาะรูเมน (inoculums)

- เก็บของเหลวจากกระเพาะหมักโคนมเพศผู้ พันธุ์โฮสไตน์ฟรีเชี่ยนxพื้นเมือง อายุประมาณ 2 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 450 กิโลกรัม จำนวน 2 ตัว ที่เปิดทางเดินอาหารบริเวณกระเพาะหมัก โดยเจาะกระเพาะแล้วฝัง Rumen fistula บริเวณสวาปด้ายซ้าย แล้วเก็บไว้ในกระติกน้ำร้อนที่ทำให้อุ่น (โดยเติมน้ำร้อนใส่ ทิ้งไว้สักครู่แล้วเทน้ำร้อนออก) ทำการกรองโดยใช้ผ้าขาวบางจำนวน 4 ชั้น แล้วเก็บไว้ในบิกเกอร์ที่ทราบปริมาตร ในขณะกรองให้แก๊สคาร์บอนไอออกไซด์ด้วย และทำการคนของเหลวอย่างเบาๆ ตลอดเวลา

- บันทึกปริมาตรของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่ผ่านการกรองแล้ว นำของแข็งไปใส่เครื่องบดแล้วเติมของเหลวเท่ากับปริมาตรที่เท่ากับปริมตรของของเหลวที่กรองได้ก่อนหน้านี้ ทำการปั่นเป็นเวลาประมาณ 30 วินาที แล้วกรองผ่านผ้าขาวบางใส่บิกเกอร์ แล้วนำไปรวมกับของเหลวที่ได้ก่อนหน้านี้

- ทำการกวนของเหลวและให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดเวลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การเติมของเหลวจากกระเพาะรูเมนใส่ขวดซีรั่ม

- ในระหว่างที่กรองของเหลวจากกระเพาะรูเมน ทำการอ่านและจดบันทึกค่าแก๊สที่มีอยู่ในขวดซีรั่ม แล้วปล่อยแก๊สออก แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส

- ใช้ไซริ่ง ขนาด 10 มล. พร้อมเข็มเบอร์ 21 ความยาว 1.5 นิ้ว ดูดของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่เตรียมไว้ จำนวน 5 มล. ฉีดใส่ในขวดซีรั่มที่มีตัวอย่างแล้วนำกับเข้าตู้บ่ม

- เมื่อทำการเติมของเหลวจากระเพาะรูเมนเสร็จของขวดแล้ว ก่อนเริ่มวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น (นับเวลาที่ 0 ชั่วโมง) ให้ทำการปรับแก๊สในขวดซีรั่มโดยการปล่อยแก๊สออก แล้วทำการเขย่าขวดซีรั่มแล้วนำไปไว้ในตู้บ่ม

6. การอ่านค่าแก๊สที่เกิดขึ้น

- อ่านค่าความดันแก๊สที่ เวลา 3 6 9 12 16 20 24 และ 48 ชั่วโมง

- ในกรณีที่ใช้ pressure transducer (Bailey and Mackey Ltd, Birmingham B24 IDE, UK) ทำการวัดผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น ควรใช้ transducer ที่มีแรงดันระหว่าง 0-25 psi. ซึ่งจะส่งผลให้ความความถูกต้อง 0.1±2 เปอร์เซ็นต์ ทำการอ่านและจดบันทึกหน่วยเป็น psi.

- ทำการเชื่อมต่อกับ disposable Luer lock 3-way tab ด้านหนึ่งมีเข็มเบอร์ 23 ยาว 1 นิ้ว แล้วอีกด้านมีไซริ่งแก้วขนาด 10 มล.

- การอ่านค่าความดันแก๊ส โดยการนำถาดที่มีขวดซีรั่มออกจากตู้บ่ม แล้วจิ้มเข็มพร้อมไซริ่งผ่านจุกยางให้ปลายเข็มอยู่เหนือของเหลวในขวด เพื่อวัดความดัน แล้วจดบันทึกปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้น

- ทำการเขย่าขวดซีรั่มทุกขวด แล้วนำไปใส่ตู้บ่มเหมือนเดิม แล้วทำการวัดปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นในชั่วโมงต่อไปจนเสร็จ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณผล

1. สมการในการศึกษาจลน์ศาสตร์ของการหมักในกระเพาะรูเมน และสมการคำนวณค่าศักยภาพการย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน (Ørskov and McDonald, 1979) โดยนำปริมาณผลผลิตแก๊สที่วัดได้ในแต่ละชั่วโมงไปหาค่าคงที่ a, b และ c โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY (Chen, 1979)

$$P = a + b\,(1 - e^{-ct})$$

$$\text{ED (effective degradability)} = \frac{a + bc}{c + k}$$

หมายเหตุ P = การเกิดแก๊สที่เวลาต่างๆ (จลน์ศาสตร์ของการหมักในกระเพาะรูเมน)

a = แก๊สที่เกิดขึ้นในส่วนที่สามารถละลายได้ทันที (mL)

b = แก๊สที่เกิดขึ้นในส่วนที่ไม่ละลายทันทีแต่ถูกหมักย่อยหรือปริมาณผลผลิตแก๊สที่ผลิตได้เหนือของเหลว (mL)

(a + b) = ปริมาณแก๊สสูงสุดที่ผลิตได้ (mL)

c = อัตราการเกิดแก๊ส (mL h^{-1})

t = เวลาที่ทำการวัดแก๊ส (hrs)

ED = ศักยภาพของวัตถุแห้งที่ถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน

k = อัตราการไหลผ่านของของแข็ง (ค่าคงที่ โดยทั่วไปใช้ที่ 0.05 %h)

2. ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (digestible organic matter; DOM) ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์กระเพาะรวม (metabolizable energy; ME) (Menke and Steingass, 1988) และค่ากรดไขมันระเหยได้สายสั้น (short chain fatty acids, SCFA) (Makkar, 2005) ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากการหมักคาร์โบไฮเดรต โดยนำปริมาณผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้นในชั่วโมงที่ 24 มาใช้ในการคำนวณ

$$DOM = 0.9991\ GP + 0.595\ CP + 0.181\ CA + 9$$

$$ME = 0.157\ GP + 0.084\ CP + 0.22\ EE - 0.081\ CA + 1.06$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

SCFA = 0.0222 GP – 0.00245

หมายเหตุ GP = ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในชั่วโมงที่ 24 (mL)

CP = โปรตีนทั้งหมดของวัตถุดิบที่ศึกษา (% DM)

CA = เถ้าทั้งหมดของวัตถุดิบที่ศึกษา (% DM)

EE = ไขมันทั้งหมดของวัตถุดิบที่ศึกษา (% DM)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (2003) โดยมีแบบหุ่นจำลองทางสถิติดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{k(i)} + \tau_j + \alpha\tau_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

หมายเหตุ Y_{ijk} = ค่าสังเกตที่ได้จากทรีตเมนต์ที่ระดับ i และ time ที่ j ซ้ำที่ k เมื่อ k = 1, 2, 3, ..., r

μ = ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด

α_i = อิทธิพลเนื่องจากทรีตเมนต์ ที่ระดับ i เมื่อ i = 1, 2, 3, ..., a

τ_j = อิทธิพลเนื่องจาก time ที่ระดับ j เมื่อ j = 1, 2,3, ….., t

β_j = อิทธิพลเนื่องจากหน่วยทดลองที่ระดับ k เมื่อ k = 1, 2, 3, …, b

$\alpha\tau_{ij}$ = อัทธิพลร่วมเนื่องจากทรีตเมนต์ ที่ระดับ i และ time ที่ระดับ j

ε_{ij} = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จนครปฐม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 3 ศึกษาสมรรถภาพการผลิตโคนมที่ได้รับอาหารผสมที่มีรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกัน

อุปกรณ์

สัตว์ทดลอง

โคนมพันธุ์โฮสไตน์ ฟรีเชี่ยน x พื้นเมือง ในระยะให้นมช่วงต้นที่มีปีการให้นม 1-5 ปี จำนวน 15 ตัว มีระยะการให้นมเฉลี่ย (Days in milk; DIM) 72 วัน ให้ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง 13.85 กิโลกรัม/วัน โดยได้รับการทำวัคซีนและถ่ายพยาธิก่อนเริ่มการทดลอง

อาหารทดลอง

อาหารข้นโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ 3 สูตร โดยแต่ละสูตรจะมีส่วนประกอบของรำแต่ละชนิดต่างกัน คือ รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน

คอกสัตว์ทดลอง

คอกทดลองอยู่ภายในโรงเรือนที่เป็นแบบหน้าจั่ว 2 ชั้น เป็นโรงเรือนโปร่ง หลังคากระเบื้อง และพื้นคอนกรีตเลี้ยงเดี่ยวขนาด 5 x 2.5 ตารางเมตร มีรางสำหรับใส่อาหาร และมีอ่างสำหรับใส่น้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1. เครื่องชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลอง และเครื่องชั่งอาหาร

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. อุปกรณ์เก็บเลือด ได้แก่ เข็มเจาะเลือด (เบอร์ 18 ยาว 1.5 นิ้ว) กระบอกฉีดยา (ไซริ่ง) ขนาด 10 มิลลิลิตร หลอดเก็บตัวอย่างเลือดพร้อมฝาปิด

4. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำนมดิบ ตามวิธีของ ณิฐิมา และคณะ (2546) และเครื่อง Milk Analyzer รุ่น Lacto Scan 90 (Milkotronic Ltd., Bulgaria) เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำนม (โปรตีน, ไขมัน, ของแข็งไม่รวมไขมัน และน้ำตาลแลคโตส)

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบของอาหารทดลอง

ส่วนประกอบ	สูตรที่ 1 (RB)	สูตรที่ 2 (RBS)	สูตรที่ 3 (RBE)
มันเส้น	31.5	32.5	31.8
รำละเอียด	30	-	-
รำสกัดน้ำมัน	-	30	-
รำบีบน้ำมัน	-	-	30
กากถั่วเหลือง(44%)	18.5	17.5	18.2
กากปาล์มเนื้อใน	9	9	9
กากน้ำตาล	7	7	7
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	2	2	2
เกลือป่น	0.45	0.45	0.45
ยูเรีย	1	1	1
กำมะถัน	0.05	0.05	0.05
แร่ธาตุและวิตามิน	0.5	0.5	0.5
รวม	100	100	100

แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยใช้โครีดนมที่สุ่มออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 5 ซ้ำ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การให้อาหารสัตว์ทดลอง

ให้อาหารข้นวันละ 3 ครั้ง คือ ช่วงเช้าขณะทำการรีดนม (4.30 น.) จำนวน 2.5 กิโลกรัม ช่วงสาย (10.00 น.) จำนวน 3 กิโลกรัม และช่วงบ่ายขณะทำการรีดนม (15.00 น.) จำนวน 2.5 กิโลกรัม โดยโคได้รับอาหารข้นทั้งหมด 8 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และโคทุกตัวได้รับหญ้าขนสดเป็นแหล่งอาหารหยาบอย่างเต็มที่ตลอดการทดลอง โดยที่ปริมาณหญ้าขนสดที่ให้ในแต่ละครั้งจะชั่งน้ำหนักก่อน และหญ้าขนสดที่เหลือจะชั่งออกทุกวันก่อนให้อาหารใหม่ในเวลาเช้าวันถัดไป เพิ่มปริมาณหญ้าขนสดขึ้นหากเหลือในรางอาหารน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำสะอาดให้กินอย่างเพียงพอตลอดเวลา

การบันทึกข้อมูล

1. เก็บข้อมูลเกี่ยวกับกินอาหาร โดยทำการบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ และที่เหลือในแต่ละวัน เพื่อนำไปหาปริมาณการกินอาหาร (feed intake) ของแต่ละวันตลอดระยะการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน

2. การชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลอง ชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองแต่ละตัวก่อนเข้าระยะการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว และนำค่าน้ำหนักตัวที่ได้มาคำนวณหาปริมาณการกินได้ในหน่วยกิโลกรัมต่อวัน (kg/d) เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก (% BW) และกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว 0.75 (g/kgW0.75)

3. สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะด้วยวิธี proximate analysis โดยปฏิบัติตามวิธีการของ A.O.A.C. (1995a) และการวิเคราะห์องค์ประกอบเซลล์พืชแบบ Van Soest (Goering and Van Soest, 1970)

4. สุ่มเก็บตัวอย่างเลือด การเจาะเลือดเพื่อวิเคราะห์สภาวะโภชนะที่สัตว์ได้รับตามวิธีของ Blowey *et al*. (1973) สุ่มเก็บตัวอย่างเลือดจากเส้นเลือดดำที่คอ (jugular vein) ของโคทดลองแต่ละตัวในวันสุดท้ายของการทดลอง โดยเจาะที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมง ภายหลังการให้อาหารในตอนเช้า ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ตัวอย่างเลือดจะถูกเก็บรักษาด้วย Heparin ก่อนนำไปปั่นแยกส่วนของพลาสม่าเพื่อรอตรวจหาความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (Blood urea nitrogen,

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

BUN) ตามวิธีของ Tiffany *et al*. (1972) และวิเคราะห์หากลูโคสในกระแสเลือด (Blood glucose, BG) ตามวิธีของ (Slein, 1963)

5. บันทึกปริมาณน้ำนมต่อวันและสุ่มวัดค่าองค์ประกอบในน้ำนม โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนม ทำการเก็บตัวอย่างน้ำนมทุกสัปดาห์ๆ ละครั้ง โดยเก็บในตอนเย็นและตอนเช้า นำมาผสมกันกัน เก็บตัวอย่างปริมาณ 50 มิลลิลิตร โดยเติมสารโปตัสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate) 500 มิลลิกรัม และเก็บที่อุณหภูมิ 2-4 องศาเซลเซียส ตามวิธีของ ณิฐิมา และคณะ (2546) เพื่อวิเคราะห์โปรตีน (protein) ไขมัน (fat) ของแข็งไม่รวมไขมัน (solid not fat) และน้ำตาลแลคโตส (lactose) โดยเครื่อง Milkoscan Tester นอกจากนั้นผลผลิตนมของแม่โคแต่ละตัวจะถูกคำนวณเป็นน้ำนมปรับไขมัน 4% (4% fat corrected milk; FCM)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์โดยวิธี Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (2003) โดยมีแบบหุ่นจำลองทางสถิติดังนี้

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

หมายเหตุ Y_{ij} = ค่าสังเกตที่ได้จากทรีตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j เมื่อ i = 1, 2, 3, ..., t และ j = 1, 2, 3, 4, 5

μ = ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด

τ_I = อิทธิพลเนื่องจากทรีตเมนต์ที่ i เมื่อ i = 1, 2, 3, ..., t

ε_{ij} = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง

1. คอกสัตว์ทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

3. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ และโรงงานอาหารสัตว์ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

4. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เลือด โรงพยาบาลสัตว์กำแพงแสน คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มการทดลองเดือนมิถุนายน 2552 และสิ้นสุดการทดลองเดือนธันวาคม 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกันในระยะเวลาการเก็บที่ต่างกัน

1. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวทั้ง 3 ชนิดที่ทำการศึกษา พบว่า รำสกัดน้ำมันมีปริมาณโปรตีนหยาบสูงที่สุด รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน และรำละเอียด (17.53, 14.80 และ 13.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ปริมาณไขมันในรำละเอียดสูงที่สุด รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน และรำสกัดน้ำมัน (18.77, 13.82 และ 1.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ปริมาณเยื่อใยในรำสกัดน้ำมันสูงที่สุด รองลงมาคือรำละเอียด และรำบีบน้ำมัน (10.51, 7.90 และ 7.60 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณเถ้าในรำสกัดน้ำมันสูงที่สุด รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน และรำละเอียด (10.65, 9.29 และ 8.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (แป้งและน้ำตาล) ในรำสกัดน้ำมันมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน และรำละเอียด (49.31, 45.40 และ 42.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี (%)	รำละเอียด	รำสกัดน้ำมัน	รำบีบน้ำมัน
วัตถุแห้ง (DM)	90.61	90.69	90.91
โปรตีนหยาบ (CP)	13.45	17.53	14.80
ไขมัน (EE)	18.77	1.25	13.82
เยื่อใย (CF)	7.90	10.51	7.60
เถ้า (Ash)	8.43	10.65	9.29
คาร์โบไฮเดรตย่อยง่าย (NFE)	42.06	49.31	45.40

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าว

โดยทั่วไปปริมาณไขมันของรำละเอียดมีค่าประมาณ 16.40 เปอร์เซ็นต์ (Sauvant *et al*., 2004) เมื่อนำไปผ่านขบวนการสกัดน้ำมัน ค่าของไขมันจะลดลงมากน้อยขึ้นอยู่กับวิธีการสกัด คือ การสกัดด้วยวิธีการใช้สารละลายจะสามารถสกัดไขมันออกได้มากถึง 95-99 เปอร์เซ็นต์ เพราะสารละลายจะเข้าไปละลายน้ำมันที่อยู่ในรำข้าวได้ทั้งหมด ส่วนการบีบน้ำมันโดยทั่วไปจะสามารถบีบน้ำมันออกได้ประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดเครื่องมือที่ใช้ในการบีบ (Chang *et al*., 1980) ส่งผลให้กากรำบีบน้ำมันมีปริมาณไขมันสูงกว่ากากรำสกัดน้ำมัน สอดคล้องกับ MAFF (1986) ที่รายงานปริมาณไขมัน ของรำสกัดน้ำมันและรำบีบน้ำมัน เท่ากับ 0.73 และ 9.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ NARO (2001) รายงานปริมาณไขมันของรำสกัดน้ำมัน เท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกันในระยะเวลาการเก็บที่ต่างกัน พบว่า ชนิดของรำข้าวที่ต่างกันแสดงค่าการเกิดการหืน (Rancidity) ที่บ่งชี้โดยค่า Acid value (มิลลิกรัมโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม) และค่า Hydrolysis of lipase (ยูนิตต่อมิลลิกรัม) แตกต่างกันในทุกระยะเวลาของการเก็บ โดยรำละเอียดแสดงค่าบ่งชี้การเกิดการหืนที่เร็วกว่า และมากกว่า เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ (p<0.01) และเมื่อวิเคราะห์ปัจจัยร่วมพบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.01) ดังนั้นจึงทำการรายงานผลแบบ Treatments combination (ตารางที่ 7)

ชนิดของรำที่ต่างกัน (รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน) ส่งผลทำให้ค่าเฉลี่ย Acid value และค่าเฉลี่ย Hydrolysis of lipase ตลอดระยะเวลาการเก็บ 30 วัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) โดยมีค่า Acid value เท่ากับ 17.35, 3.51 และ 11.70 มิลลิกรัมโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม ตามลำดับ และค่า Hydrolysis of lipase เท่ากับ 8.02, 0.91 และ 6.09 ยูนิตต่อมิลลิกรัม (p<0.01) ตามลำดับ

ระยะเวลาการเก็บ 4 ช่วงเวลา (0, 10, 20 และ 30 วัน) พบว่าอายุการเก็บที่นานขึ้น ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเกิดการหืนที่มากขึ้น โดยที่ระยะการเก็บที่ 0, 10, 20 และ 30 วัน แสดงค่าเฉลี่ย Acid value เท่ากับ 6.86, 10.34, 12.54 และ 13.67 มิลลิกรัมโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม (p<0.01) ตามลำดับ และค่าเฉลี่ย Hydrolysis of lipase เท่ากับ 2.75, 4.27, 6.19 และ 6.82 ยูนิตต่อมิลลิกรัม (p<0.01) ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ค่า Acid value และ ค่า Hydrolysis of lipase

ชนิดรำข้าว	ระยะเวลาที่เก็บ	Acid value (mg. KOH/ gram of oil)	Hydrolysis of lipase (Unit/mg.)
รำละเอียด	เริ่มต้น	10.55^{e}	4.88^{e}
รำละเอียด	10 วัน	16.25^{c}	6.69^{d}
รำละเอียด	20 วัน	20.05^{b}	9.91^{b}
รำละเอียด	30 วัน	22.54^{a}	10.60^{a}
รำสกัดน้ำมัน	เริ่มต้น	2.22^{h}	0.22^{i}
รำสกัดน้ำมัน	10 วัน	3.60^{g}	0.60^{ih}
รำสกัดน้ำมัน	20 วัน	3.94^{g}	1.09^{h}
รำสกัดน้ำมัน	30 วัน	4.28^{g}	1.73^{g}
รำบีบน้ำมัน	เริ่มต้น	7.82^{f}	3.14^{f}
รำบีบน้ำมัน	10 วัน	10.84^{e}	5.51^{e}
รำบีบน้ำมัน	20 วัน	13.97^{d}	7.57^{c}
รำบีบน้ำมัน	30 วัน	14.19^{d}	8.12^{c}
	SEM	0.42	0.29
	VT	<0.01	<0.01
	SP	<0.01	<0.01
	VT x SP	<0.01	<0.01

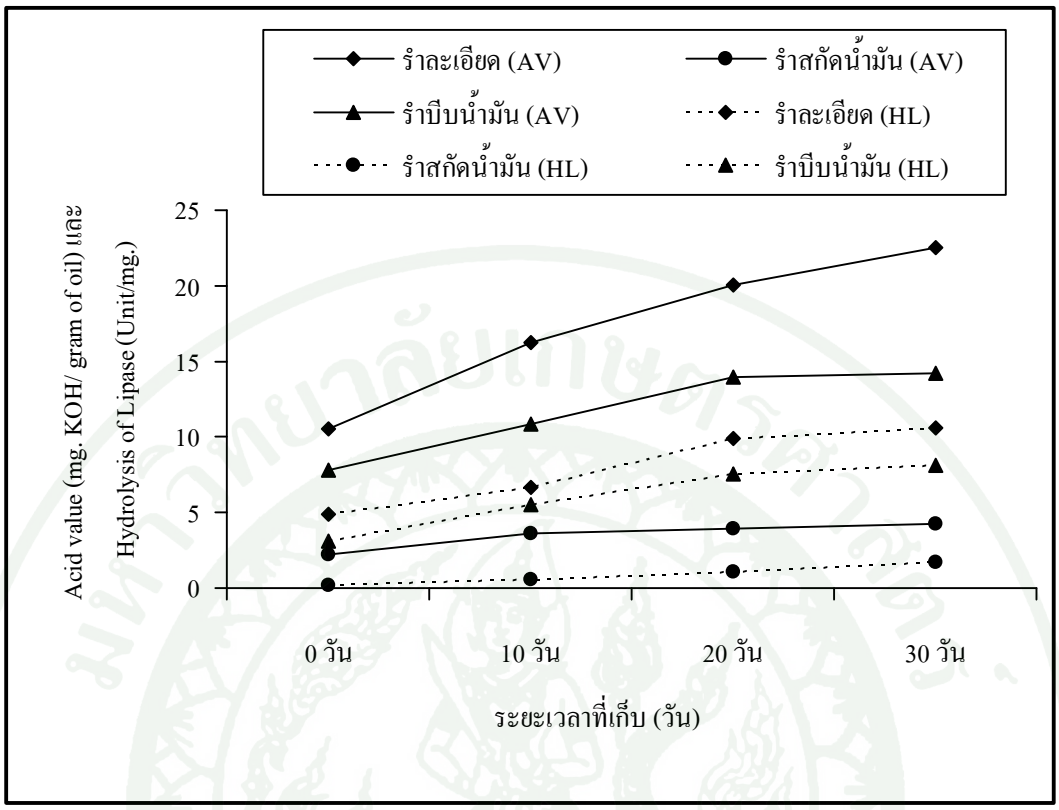
หมายเหตุ VT คือ ชนิดของรำข้าว

SP คือ ระยะเวลาที่เก็บ

VT x SP คือ ปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของรำข้าวกับระยะเวลาที่เก็บ

$^{a-h}$ อักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ *(P<0.01)*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



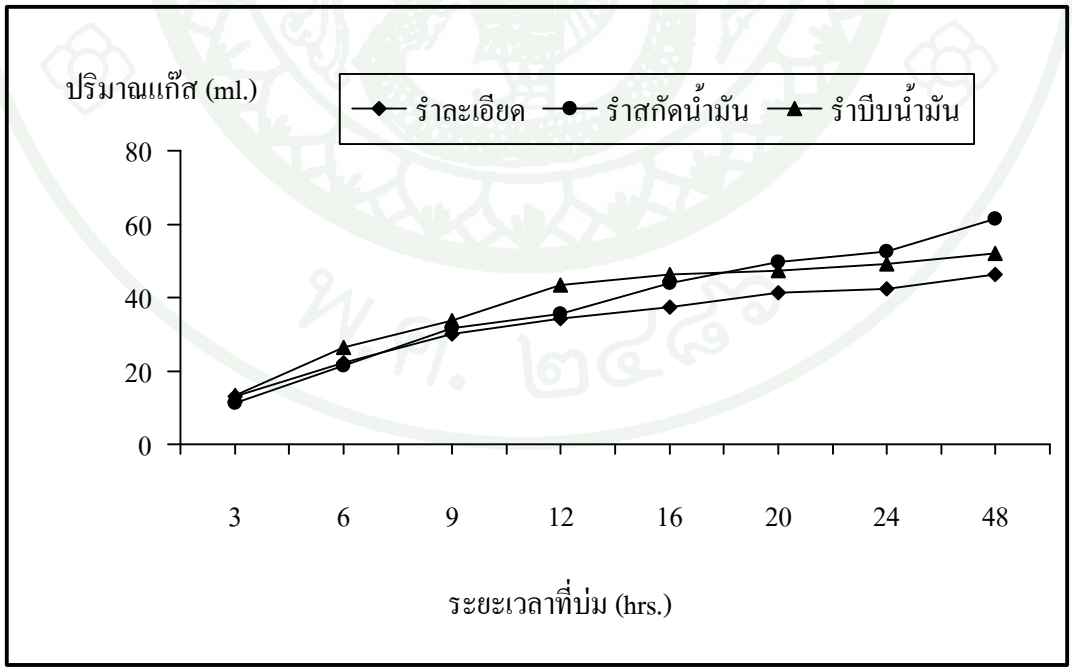
ภาพที่ 6 ค่า Acid value (มิลลิกรัมโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม) และค่า Hydrolysis of lipase (ยูนิตต่อมิลลิกรัม) ที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 10, 20 และ 30 วัน

จากผลการทดลองรำสกัดน้ำมันมีค่าตัวชี้วัดการเกิดการหืนทั้งสองค่าต่ำสุด ซึ่งส่งผลต่อการคงสภาพของรำได้นานขึ้น Takahashi (1919) รายงานว่าเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวสามารถทำลายได้ด้วยการใช้ความร้อนร่วมกับสารเคมี (ซัลเฟอร์ไดออกไซด์) และพบว่าการลำลายเอ็นไซม์ไลเปสสามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระได้ ในขณะที่นัยวัฒน์ (2550) กล่าวว่า ความร้อนสามารถทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสลดลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสม รวมถึงระยะเวลาการเก็บ โดยระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้นที่ 30 วัน ส่งผลให้ ค่า Acid value และ Hydrolysis of lipase มีค่าสูงสุด (13.67, 6.82) (p<0.01) เมื่อทำการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดรำและระยะเวลาที่เก็บ พบว่ามีอิทธิพลร่วมกันส่งผลให้ค่า Acid value และ Hydrolysis of lipase แตกต่างกัน (p<0.01)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2 ศึกษาการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกันโดยใช้เทคนิคการวัดปริมาณแก๊สในห้องปฏิบัติการ (in vitro gas production technique) ตามวิธีของธีโอเดอร์ (Theodorou)

จากการศึกษาการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกันโดยใช้เทคนิคการวัดปริมาณแก๊สในห้องปฏิบัติการ พบว่า ปริมาณการผลิตแก๊สของรำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน ที่ชั่วโมงที่ 3 ของการบ่มมีค่าเท่ากับ 13.10, 11.32 และ 13.45 มิลลิลิตร ตามลำดับ *(P>0.05)* เมื่อทำการบ่มที่ชั่วโมงที่ 6, 9, 12 และ 16 รำบีบน้ำมันมีปริมาณการผลิตแก๊สสูงที่สุด (26.50, 33.65, 43.40 และ 46.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ) รองลงมาคือรำสกัดน้ำมัน (21.32, 31.55, 35.55 และ 43.55 มิลลิลิตร ตามลำดับ) และรำละเอียด (22.30, 30.00, 34.23 และ 37.40 มิลลิลิตร ตามลำดับ) เมื่อทำการบ่มที่ชั่วโมงที่ 20, 24 และ 48 รำสกัดน้ำมันมีปริมาณการผลิตแก๊สสูงที่สุด (49.55, 52.60 และ 61.40 มิลลิลิตร ตามลำดับ) รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน (47.40, 49.25 และ 51.95 มิลลิลิตร ตามลำดับ) และรำละเอียด (41.40, 42.25 และ 46.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ) *(P<0.01)* ค่าการเกิดแก๊สของรำละเอียดมีค่าน้อยกว่าการศึกษาของ นฤมล (2541) ซึ่งได้ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในการบ่มรำละเอียดเท่ากับ 54.6 มิลลิลิตร



ภาพที่ 7 ปริมาณแก๊ส (ml/250 mgDM) ที่ชั่วโมงต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ปริมาณการผลิตแก๊สที่ช่วงเวลาต่างๆ

ระยะเวลาบ่ม (hrs.)	รำละเอียด	รำสกัดน้ำมัน	รำบีบน้ำมัน	SEM
3	13.10	11.32	13.45	0.47
6	22.30[a]	21.32[a]	26.50[b]	1.01
9	30.00[a]	31.55[ab]	33.65[b]	0.72
12	34.23[a]	35.55[a]	43.40[b]	1.83
16	37.40[a]	43.95[b]	46.25[b]	1.70
20	41.40[a]	49.55[c]	47.40[b]	1.55
24	42.25[a]	52.60[c]	49.25[b]	1.93
48	46.25[a]	61.40[c]	51.95[b]	2.80

หมายเหตุ ค่า *p*-value จากการวัดซ้ำ = 0.0005 *(P<0.01)*

[a-c] อักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)*

จากการบ่มรำทั้ง 3 ชนิด (รำบีบน้ำมัน รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน) ด้วยเทคนิคการวัดปริมาณแก๊สในห้องปฏิบัติการตามวิธีของธีโอเดอร์ ได้ผลดังนี้

ส่วนที่สามารถละลายได้ทันที (a) ของรำทั้ง 3 ชนิด พบว่า ส่วนที่ละลายได้ทันทีมีความต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* เมื่อพิจารณาด้วยค่าสมบูรณ์ |a| จะเห็นได้ว่าส่วนที่ละลายได้ทันทีของรำบีบน้ำมันมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือรำสกัดน้ำมัน และรำละเอียด (|-7.52|, |-2.14| และ 0.30 มิลลิลิตร ตามลำดับ) ซึ่งส่วนที่ละลายได้ทันที (a) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ง่าย ได้แก่ แป้ง และน้ำตาล จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำทั้ง 3 ชนิด พบว่า รำสกัดน้ำมันมีปริมาณส่วนประกอบที่เป็นแป้งและน้ำตาล (NFE) สูงกว่ารำชนิดอื่น ส่วนรำละเอียดจะมีปริมาณส่วนประกอบที่เป็นแป้งและน้ำตาล (NFE) น้อยกว่ารำชนิดอื่นจึงส่งผลต่อส่วนที่สามารถละลายได้ทันที (a) อย่างไรก็ตาม ค่าส่วนที่สามารถละลายได้ทันที (a) ที่มีค่าติดลบไม่ได้เป็นผลที่เกิดขึ้นโดยตรงจากการหมักของส่วนที่ละลายได้ของอาหาร และการเริ่มต้นของการหมักอาจจะถูกยืดเวลาออกไป เนื่องจากการเกิด microbial colonization (Chesson and Forsberg, 1988 อ้างถึงใน Blűmmel and Becker, 1997) หรือความล่าช้าของการหมักอาจเกิดขึ้นภายหลังจากส่วนที่ละลายได้ของซับสเตรท (substrate) ที่ถูกใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จนหมด แต่การหมักของผนังเซลล์ยังไม่เริ่มขึ้น (Blűmmel and Becker, 1997) จากการศึกษาของ นฤมล (2541) พบว่า รำละเอียดที่มีปริมาณส่วนประกอบที่เป็นแป้งและน้ำตาล (NFE) อยู่ 49.46 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการวิเคราะห์ผลผลิตแก๊สมีค่าส่วนที่สามารถละลายได้ทันที (a) เท่ากับ 32.00 มิลลิลิตร ซึ่งมีปริมาณที่สูงกว่าที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองครั้งนี้

ส่วนที่ไม่ละลายทันทีแต่ถูกหมักย่อย (b) ของรำทั้ง 3 ชนิด พบว่า ส่วนที่ไม่ละลายทันทีแต่ถูกหมักย่อยมีความต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* ซึ่งรำสกัดน้ำมันมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน และรำละเอียด (65.33, 59.20 และ 45.74 มิลลิลิตร ตามลำดับ) ส่วนที่ไม่ละลายทันทีแต่ถูกหมักย่อย (b) บ่งบอกถึงส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายของวัตถุดิบ ถ้ามีค่าส่วนที่ไม่ละลายทันทีแต่ถูกหมักย่อย (b) สูงแสดงว่ามีศักยภาพในการย่อยสลายได้สูง (ทรงศักดิ์ และคณะ, 2548) Van Soest *et al*. (1991) รายงานว่า การย่อยสลายอย่างรวดเร็วในกระเพาะรูเมนของส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย (non structural carbohydrate) เกิดขึ้น 90-100 เปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษาของ นฤมล (2541) พบว่า รำละเอียดมีค่าส่วนที่ไม่ละลายทันทีแต่ถูกหมักย่อย (b) เท่ากับ 50.97 มิลลิลิตร ซึ่งมีปริมาณที่สูงกว่ารำละเอียดที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองครั้งนี้เล็กน้อย

อัตราการเกิดแก๊ส (c) ของรำทั้ง 3 ชนิด พบว่า อัตราการเกิดแก๊สมีความต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* ซึ่งรำบีบน้ำมันมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือรำละเอียด และรำสกัดน้ำมัน (0.14, 0.11 และ 0.08 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ) *(P<0.05)* แสดงให้เป็นว่ารำสกัดน้ำมันมีการเกิดแก๊สขึ้นอย่างช้าๆ ส่งผลให้อัตราไหลผ่านช้าด้วย ส่วนรำบีบน้ำมันมีการเกิดแก๊สขึ้นเร็วที่สุดจึงส่งผลให้อัตราการไหลผ่านสูงไปด้วย จากการศึกษาของ นฤมล (2541) พบว่า รำละเอียดมีอัตราการเกิดแก๊ส (c) เท่ากับ 0.13 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณที่สูงกว่ารำละเอียดที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองครั้งนี้

ปริมาณแก๊สสูงสุดที่ผลิตได้ (a+b) ของรำทั้ง 3 ชนิด พบว่า ปริมาณแก๊สสูงสุดที่ผลิตได้มีความต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* เมื่อพิจารณาด้วยค่าสมบูรณ์ |a+b| จะเห็นว่ารำสกัดน้ำมันมีค่าสูงสุด รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน และรำละเอียด (67.47, 66.72 และ 46.04 มิลลิลิตร ตามลำดับ) โดยรำละเอียดมีปริมาณแก๊สสูงสุดที่ผลิตได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับรำสกัดน้ำมันและรำบีบน้ำมัน *(P<0.05)* ส่วนรำสกัดน้ำมันและรำบีบน้ำมันมีปริมาณแก๊สสูงสุดที่ผลิตได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ *(P>0.05)* กรณีที่รำสกัดน้ำมันและรำบีบน้ำมันมีค่าปริมาณแก๊สสูงกว่ารำละเอียด อาจเป็นผลเนื่องจากปริมาณไขมันและกระบวนการที่เอาน้ำมันออก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่งผลให้แป้งย่อยยากขึ้น เพราะในขั้นตอนสกัดน้ำมันและบีบน้ำมันรำข้าวไขมันจะได้รับความร้อน ซึ่งความร้อนจะช่วยป้องกันการสลายตัวในกระเพาะหมักได้ โดยความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลาร์ด (maillard reaction) (Broderick *et al*., 1991) เป็นผลทำให้ลดพื้นที่เข้าย่อยสลายของจุลินทรีย์ ด้วยเหตุนี้จุลินทรีย์จึงต้องใช้เวลาในการเข้าย่อยนานกว่า McDonald *et al*. (2002) ได้กล่าวว่า ความสามารถในการย่อยสลายไขมันของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนมีค่อนข้างจำกัด เพราะไขมันที่สูงเกินไปจะไปเคลือบผิวของจุลินทรีย์และอนุภาคของอาหาร ทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของอาหารลดลง ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง โดยเฉพาะไขมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะมีผลเสียต่อจุลินทรีย์มากกว่ากรดไขมันที่อิ่มตัว จากการศึกษาของนฤมล (2541) พบว่า รำละเอียดมีปริมาณแก๊สสูงสุดที่ผลิตได้ (a+b) เท่ากับ 89.95 มิลลิลิตร ซึ่งมีปริมาณที่สูงกว่ารำละเอียดที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองครั้งนี้

Ørskov and McDonald (1979) ได้กล่าวว่า ค่าพารามิเตอร์ a, b และ c ที่ได้จากสมการ exponential นั้น สามารถที่จะใช้เป็นตัวกำหนดคุณภาพของอาหารหรือวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ เช่น อาหารหรือวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดใดมีค่า a สูง แสดงว่ามีปริมาณของส่วนที่ละลายได้สูง นั้นคือมีส่วนของแป้งอยู่สูง สัตว์หรือจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที อาหารหรือวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดใดมีค่า b สูง แสดงว่ามีส่วนของเยื่อใยที่ไม่ถูกละลายได้สูง แต่เมื่อถูกหมักย่อยต่อไปนานขึ้นก็จะทำให้เกิดการผลิตแก๊สมากขึ้น สังเกตได้จากค่า |a+b| จะเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่า c สามารถใช้เป็นตัวบอกอัตราการไหลผ่าน (rate of passage) ได้ ซึ่งหมายถึงอาหารหรือวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีค่า c สูงแสดงว่ามีอัตราการย่อยได้สูง จึงทำให้มีอัตราการไหลผ่านสูงตามไปด้วย โดยสังเกตได้จากค่าอัตราการเกิดแก๊สที่มีค่าสูง

Wolin (1960) ได้อธิบายว่าแก๊สที่เกิดขึ้นนั้นอาจเกิดได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงคือการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์และทางอ้อมเกิดจากปฏิกิริยาของกรดไขมันระเหยได้กับไบคาร์บอเนต (bicarbonate) ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของสารละลายบัฟเฟอร์ รวมไปถึงการบ่มอาหารในระยะเวลาที่ยาวนานจะทำให้เกิด Secondary fermentation ของจุลินทรีย์ในแต่ละรุ่นที่เกิดขึ้นภายในระบบ เป็นผลทำให้ปริมาณแก๊สมากขึ้น (Blűmmel and Ørskov, 1993) Schoeneer (1981) ได้ทำการศึกษาการผลิตแก๊สโดยใช้จำนวนวัตถุดิบในการบ่มต่างกัน คือ 50, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัม พบว่า จำนวนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) กับปริมาณแก๊สที่ผลิตขึ้นในชั่วโมงที่ 24 สอดคล้องกับ Steingass (1983) ทำการศึกษาใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรณีเดียวกัน พบว่า การเพิ่มจำนวนวัตถุในการบ่มสูงกว่า 200 มิลลิกรัม ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตแก๊สในชั่วโมงที่ 24

ตารางที่ 9 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการวัดแก๊ส ค่าศักยภาพของวัตถุแห้งที่ถูกย่อยได้ในกระเพาะรูเมน ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง กรดไขมันสายสั้น และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้

ค่าพารามิเตอร์	รำละเอียด	รำสกัดน้ำมัน	รำบีบน้ำมัน	SEM
a (mL)	0.30^{c}	-2.14^{b}	-7.52^{a}	1.46
b (mL)	45.74^{a}	65.33^{c}	59.20^{b}	3.66
c (mL h^{-1})	0.11^{b}	0.08^{a}	0.14^{c}	0.01
|a + b| (mL)	46.04^{a}	67.47^{b}	66.72^{b}	4.48
ED (%)	31.74^{a}	38.07^{c}	36.10^{b}	1.18
DOM (%)	62.09^{a}	76.26^{c}	68.97^{b}	2.59
ME (MJ kg^{-1} DM)	11.69^{b}	10.44^{a}	12.88^{c}	0.44
SCFA (mmol)	0.94^{a}	1.17^{c}	1.09^{b}	0.04

หมายเหตุ a คือ แก๊สที่เกิดขึ้นในส่วนที่สามารถละลายได้ทันที (mL)

b คือ แก๊สที่เกิดขึ้นในส่วนที่ไม่ละลายทันทีแต่ถูกหมักย่อย (mL)

c คือ อัตราการเกิดแก๊ส (mL h^{-1})

(a + b) คือ ปริมาณแก๊สสูงสุดที่ผลิตได้ (mL)

ED คือ ศักยภาพของวัตถุแห้งที่ถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน

DOM คือ ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในชั่วโมงที่ 24

ME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์กระเพาะรวมในชั่วโมงที่ 24

SCFA คือ กรดไขมันสายสั้นในชั่วโมงที่ 24

$^{a-c}$ อักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($P<0.05$)*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รำข้าวเป็นวัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูงจึงทำให้เกิดการหมักย่อยได้อย่างรวดเร็ว ในการสลายตัวของแป้งจะเกิดน้ำตาลขึ้นในกระเพาะรูเมนและจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เมื่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนทำการย่อยแป้งผลผลิตส่วนใหญ่ที่ได้ คือ กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไฮโดรเจน (H_2) เล็กน้อย (Hungate, 1966) Murphy *et al*., (1982) กล่าวว่าอัตราการย่อยแป้งในอาหารมีผลต่อรูปแบบการหมักย่อยด้วย Cone *et al*. (1996) ได้ทำการวัดผลผลิตแก๊สโดยวิธี Pressure transducer technigue พบว่า corn cob mix เป็นอาหารที่มีแป้งอยู่สูงทำให้มีการหมักที่รวดเร็ว เมื่อทำการหมักในของเหลวจากกระเพาะรูเมนของแกะที่ได้รับอาหารข้น โดยมีค่าการย่อยได้สูงกว่าการย่อยได้ในของเหลวจากกระเพาะรูเมนของแกะที่ได้รับต้นข้าวโพดเป็นอาหารหยาบ และมีการปรับตัวที่รวดเร็วของประชากรจุลินทรีย์ต่อการหมัก สอดคล้องกับการศึกษาของ Van Gelder *et al*. (2005) พบว่า ใน 3 ชั่งโมงแรกของการหมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในส่วนที่ละลายน้ำ และการผลิตแก๊สที่เกิดขึ้นหลังชั่งโมงที่ 3 ถึง ชั่วโมงที่ 20 การหมักจะเกิดขึ้นเร็วปานกลางในการหมักของส่วนที่ไม่ละลายน้ำ Grings *et al*. (2005) รายงานว่าประสิทธิภาพการผลิตของจุลินทรีย์ (efficiency of microbial production) ที่ประเมินได้จากการย่อยได้จริงของซับสเตรท และการผลิตแก๊สในหลอดลดลอง มีความสัมพันธ์กับการประเมินได้จากตัวสัตว์ อย่างไรก็ตาม การทำงานของจุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศมีผลต่อการผลิตแก๊สใน 24 ชั่วโมงแรกของการหมัก (Van Gelder *et al*., 2005) Khazaal *et al*. (1995) ได้ทำการศึกษาอัตราการผลิตแก๊ส พบว่า ค่าคงที่ของอัตราการผลิตแก๊สมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$)

การทำนายค่าศักยภาพของวัตถุแห้งที่ถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในชั่วโมงที่ 24 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์กระเพาะรวมในชั่วโมงที่ 24 และกรดไขมันสายสั้นในชั่วโมงที่ 24 พบว่า ค่าศักยภาพของวัตถุแห้งที่ถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน (ED) รำสกัดน้ำมันมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน และรำละเอียด (38.07, 36.10 และ 31.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) *($P<0.05$)* ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DOM) รำสกัดน้ำมันมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน และรำละเอียด (76.26, 68.97 และ 62.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) *($P<0.05$)* ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์กระเพาะรวม (ME) รำบีบน้ำมันมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือรำละเอียด และรำสกัดน้ำมัน (12.88, 11.69 และ 10.44 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ) *($P<0.05$)* จะเห็นได้ว่ารำสกัดน้ำมันมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่ารำชนิดอื่น อาจเนื่องจากรำสกัดน้ำมันเป็นวัตถุดิบที่ได้จากการสกัดน้ำมันโดยใช้สารเคมีซึ่งในขั้นตอนการสกัดน้ำมันจะมีการให้ความร้อน ซึ่งความร้อนที่สูงอาจมีผลต่อแป้งและน้ำตาลทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

reaction) โดยแป้งและน้ำตาลทำปฏิกิริยากับโปรตีนทำให้สัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแป้งและน้ำตาลได้เต็มที่ สอดคล้องกับ Stern *et al*. (1985) รายงานว่าความร้อนส่งผลให้เกิดการ Schif basw ระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาล ได้เป็นสารประกอบ amadori โดยทำให้โปรตีนเกิดการเกาะกันส่งผลให้ลดพื้นที่การเข้าย่อยของเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนและแป้งหลังจากได้รับความร้อน จะส่งผลกระทบต่อการย่อยสลายในกระเพาะหมัก รวมทั้งการสกัดไขมันโดยใช้สารเคมียังส่งผลให้ค่าองค์ประกอบของไขมันในรำสกัดต่ำซึ่งในสูตรการคำนวณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปริมาณไขมันในวัตถุดิบมีผลต่อค่าที่ต่ำด้วย และกรดไขมันสายสั้น (SCFA) รำสกัดน้ำมันมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน และรำละเอียด (1.17, 1.09 และ 0.94 มิลลิโมล ตามลำดับ) *(P<0.05)* จากการทำนายศักยภาพที่กล่าวมา รำสกัดน้ำมันมีปริมาณการเกิดแก๊สสุทธิที่ 24 ชั่วโมง สูงที่สุด รวมถึงปริมาณองค์ประกอบของโภชนะที่สูง จึงทำให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์กระเพาะรวมซึ่งจะแปรฝันไปตามค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของ Menke *et al*. (1979) ได้กล่าวว่า อาหารชนิดใดที่มีปริมาณการเกิดแก๊สสูง ย่อมมีความสามารถในการย่อยได้สูงตาม จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในรำข้าวทั้ง 3 ชนิดเป็นไปในทำนองเดียวกับปริมาณแก๊สสูงสุดที่ผลิตได้ (|a+b|) แตกต่างจากการศึกษาของ นฤมล (2541) พบว่า รำละเอียดมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์กระเพาะรวม เท่ากับ 51.53 เปอร์เซ็นต์ และ8.69 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ซึ่งค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าน้อยกว่าการศึกษาในครั้งนี้ แต่พลังงานใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์กระเพาะรวมมีค่าต่ำกว่า

การทดลองที่ 3 ศึกษาสมรรถภาพการผลิตโคนมที่ได้รับอาหารผสมที่มีรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกัน

1. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง ทั้ง 3 สูตร ที่ใช้รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน เป็นวัตถุดิบที่แตกต่างกันในแต่ละสูตร พบว่า โปรตีนหยาบ (CP) เท่ากับ 18.43, 19.30 และ 18.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไขมัน (EE) เท่ากับ 6.62, 1.60 และ 4.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เยื่อใย (CF) เท่ากับ 7.00, 6.98 และ 7.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เถ้า (Ash) เท่ากับ 7.12, 8.08 และ 7.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผนังเซลล์ (NDF) เท่ากับ 16.11, 16.85 และ 19.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ลิกโนเซลลูโลส (ADF) เท่ากับ 8.68, 8.88 และ 10.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ลิกนิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ADL) เท่ากับ 2.38, 2.56 และ 2.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (NFE) เท่ากับ 54.53, 54.53 และ 54.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (TDN) เท่ากับ 73.75, 68.25 และ 71.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพลังงานหยาบ (GE) เท่ากับ 4393.90, 4225.24 และ 4396.13 แคลอรี่ต่อกรัม ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 10

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารหยาบ (หญ้าขนสด) พบว่า โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) เยื่อใย (CF) เถ้า (Ash) ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL) เท่ากับ 7.18, 1.36, 28.62, 5.14, 68.79, 31.48 และ 3.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนพลังงานหยาบ (GE) เท่ากับ 4165.46 แคลอรี่ต่อกรัม

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี (%DM)	อาหารข้นสูตร			หญ้าขนสด
	รำละเอียด	รำสกัดน้ำมัน	รำบีบน้ำมัน	
โปรตีนหยาบ (CP)	18.43	19.30	18.48	7.18
ไขมัน (EE)	6.62	1.60	4.96	1.36
เยื่อใย (CF)	7.00	6.98	7.79	28.62
เถ้า (%Ash)	7.12	8.08	7.41	5.14
ผนังเซลล์ (NDF)	16.11	16.85	19.01	68.79
ลิกโนเซลลูโลส (ADF)	8.68	8.88	10.48	31.48
ลิกนิน (ADL)	2.38	2.57	2.66	3.82
คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (NFE)	54.53	54.53	54.86	-
โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (TDN)	73.75	68.25	71.91	-
พลังงานหยาบ (GE), Cal/g	4393.90	4225.24	4396.13	4165.46

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. สมรรถภาพการผลิตของโคนม

2.1 การกินได้ของวัตถุแห้ง การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนม

การกินได้ของวัตถุแห้ง การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนมของแม่โคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร (รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยมีการกินได้ของวัตถุแห้ง เท่ากับ 15.04, 15.07 และ 15.07 กิโลกรัม/วัน การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก เท่ากับ 10.80, 8.60 และ 11.20 กิโลกรัม และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนม เท่ากับ 1.73, 1.72 และ 2.01 ตามลำดับ สูตรอาหารทดลองทั้ง 3 สูตร โดยรวมมีวัตถุดิบอาหารที่เหมือนกันแต่มีความแตกต่างกันตรงที่วัตถุดิบรำข้าวที่มีปริมาณไขมันมากน้อยต่างกันทำให้องค์ประกอบทางเคมีของสูตรรำละเอียดมีไขมันสูงกว่ากลุ่มรำสกัดน้ำมัน แต่ใกล้เคียงกลุ่มรำบีบน้ำมัน อย่างไรก็ตามอาหารทั้ง 3 สูตรถูกคำนวณให้มีปริมาณโปรตีน และ TDN ที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 11) ดังนั้น ผลของอาหารทดลองในโคให้นมทั้ง 3 กลุ่มต่อสมรรถภาพการผลิตของโคทดลองจึงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริรัตน์และคณะ (2549) ที่ศึกษาการใช้รำสกัดน้ำมันเป็นวัตถุดิบหลักในอาหารโครระยะรีดนมเปรียบเทียบกับอาหารสำเร็จรูปของบริษัทเอกชนที่มีรำละเอียดเป็นองค์ประกอบ พบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง และผลผลิตน้ำนม แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

Zhao *et al*. (1996) รายงานเปรียบเทียบผลของอาหารที่ประกอบด้วยรำข้าวชนิดต่างๆ ต่อค่าการย่อยได้ที่ส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินอาหารของโคเนื้อ พบว่า ค่า microbial efficiency ในโคที่ได้รับอาหารที่ประกอบด้วยรำข้าวที่ไม่มีการสกัดน้ำมันและที่ประกอบด้วยรำข้าวที่ผ่านการสกัดนำมัน มีค่าไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับ Singh *et al*. (2000) ที่รายงานว่า จากการศึกษาในโคนมสาวที่ได้รับรำข้าวสาลีเปรียบเทียบกับรำข้าวสกัดน้ำมันอย่างเต็มที่ โคนมทดลองแสดงค่าการกินได้วัตถุแห้ง และอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการกินได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ตัวสัตว์ การเมทาบอลิซึม สัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้น ช่วงการให้นม ความถี่ของการให้อาหาร กระบวนการหมักในกระเพาะหมัก และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ เป็นต้น (เมธา, 2533) ส่วนการเพิ่มหรือการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของโคนมจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ อาหาร โรค พันธุกรรม การให้ผลผลิตน้ำนม ซึ่งในโคนมปริมาณการให้ผลผลิตน้ำนมมีผลต่อการเพิ่มหรือลดลงของน้ำหนักตัวอย่างเห็นได้ชัด น้ำหนักของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โคนมหลังคลอดลูกและให้น้ำนมจะลดลงจากเดิมมาก ซึ่งอาจลดลงถึง 40-60 กิโลกรัม แต่หลังจากให้นมไป 6 สัปดาห์ น้ำหนักตัวของโคนมจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น แต่ผลผลิตน้ำนมจะค่อยๆ ลดลง (Folman *et al*., 1981)

ตารางที่ 11 ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 3 สูตร

สมรรถภาพการผลิต	RB	RBS	RBE	SEM
น้ำหนักเริ่มทดลอง, กก.	382.40	414.80	430.40	13.30
น้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง, กก.	393.20	424.40	441.60	12.60
น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง, กก.	10.80	8.60	11.20	1.34
ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง, กก./วัน	15.04	15.07	15.07	0.03
อาหารข้น	7.28	7.29	7.27	0.01
หญ้าขน	7.76	7.77	7.80	0.03
ผลผลิตน้ำนม, กก./วัน	13.82	12.74	13.44	1.44
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FCR)	1.73	1.72	2.10	0.21
ผลผลิตน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์, กก./วัน	13.15	11.81	12.66	0.42
องค์ประกอบน้ำนม, เปอร์เซ็นต์				
ไขมัน	4.23	4.31	4.31	0.48
โปรตีน	3.29	3.38	3.31	0.10
แลคโตส	4.44	4.57	4.47	0.01
ของแข็งไม่รวมไขมัน	8.42	8.65	8.48	0.25
ของแข็งทั้งหมด	12.64	12.96	12.79	0.62

หมายเหตุ RB คือ อาหารข้นสูตรรำละเอียด
RBS คือ อาหารข้นสูตรรำสกัดน้ำมัน
RBE คือ อาหารข้นสูตรรำบีบน้ำมัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

แม่โคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีปริมาณน้ำนม โปรตีน แลคโตส แร่ธาตุ ของแข็งไม่รวมไขมัน และของแข็งทั้งหมดในน้ำนม แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) เมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำนมพบว่า โคที่ได้รับอาหารสูตรรำสกัดน้ำมัน มีปริมาณน้ำนมเฉลี่ยเท่ากับ 12.74 กิโลกรัม/วัน ซึ่งน้อยกว่าโคที่ได้รับอาหารสูตรรำละเอียด และรำบีบน้ำมัน (13.82 และ 13.44 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ) ประมาณ 1 กิโลกรัม อาจเป็นผลเนื่องจากปริมาณไขมันของสูตรอาหาร ที่มีความแตกต่างกัน คือ อาหารทั้ง 3 สูตร (รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน) มีค่าองค์ประกอบไขมัน เท่ากับ 6.62, 1.60 และ 4.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ McDonald *et al*. (2002) ได้กล่าวว่า ความสามารถในการย่อยสลายไขมันของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนมีค่อนข้างจำกัด โดยปกติไขมันในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่ควรมีมากเกิน 5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง เพราะไขมันที่สูงเกินไปจะไปเคลือบผิวของจุลินทรีย์และอนุภาคของอาหาร ทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของอาหารลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ไม่สามารถใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานได้โดยตรง ซึ่งส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนลดลง โดยเฉพาะไขมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะมีผลเสียต่อจุลินทรีย์มากกว่ากรดไขมันที่อิ่มตัว ในการทดลองครั้งนี้ถึงแม้ว่าปริมาณไขมันในสูตรอาหารทั้ง 3 สูตรจะแตกต่างกัน แต่ก็ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนมของแม่โคที่ใช้ในการทดลอง อาจเนื่องจากในสูตรอาหารมีระดับคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งถือว่าเป็นแหล่งพลังงานหลัก จากการศึกษา De Fries *et al*. (1998) เปรียบเทียบแม่โคนมหลังคลอดที่ได้รับอาหารที่มีค่าพลังงานและไนโตรเจนเหมือนกันพบว่า โคนมหลังคลอดที่ได้รับอาหารที่มีรำละเอียดและปริมาณไขมัน 5.2 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความสมบูรณ์ของร่างกายที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับโคนมกลุ่มควบคุมที่ได้รับอาหารที่มีองค์ประกอบไขมัน 3.7 เปอร์เซ็นต์ และส่งผลให้มีประสิทธิภาพการสืบพันธุ์และการให้ผลผลิตที่ดีกว่า ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบไขมันในรำละเอียดส่วนหนึ่งอาจไหลผ่านไปถูกย่อยที่ลำไส้เล็ก ส่งผลให้สัตว์ได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น ทำให้สัตว์มีพลังงานมากขึ้นสำหรับการเพิ่มความสมบูรณ์ของร่างกาย และการเพิ่มประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ที่ค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของโคนมทดลองตลอดการทดลองมีค่าต่ำสุด ในสูตรรำสกัดน้ำมันที่มีค่าไขมันต่ำสุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ค่าชีวเคมีในเลือด

3.1 ความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด

ความเข้มข้นของกลูโคสและยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดที่ช่วงเวลาการเก็บหลังจากได้รับอาหารวันสุดท้ายของการทดลอง 3 ช่วงเวลา คือ ชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 หลังจากได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร (รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน) มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดที่เวลาต่างๆ กัน สูตรรำละเอียด เท่ากับ 13.37, 14.80 และ 14.26 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ สูตรรำสกัดน้ำมัน เท่ากับ 15.47, 16.17 และ 15.47 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และสูตรรำบีบน้ำมัน เท่ากับ 11.32, 10.48 และ 10.48 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดของแม่โคที่ได้รับสูตรอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 2 และจะเริ่มลดลงในชั่วโมงที่ 4 ซึ่งค่ายูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดจะมีความสัมพันธ์กันโดยตรงต่อระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายโปรตีนเป็นแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมัก (Higginbotham *et al*., 1989) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในการศึกษาครั้งนี้อยู่ในระดับปกติ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 30 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Kearl, 1982) ส่วน Kohn *et al*. (2005) รายงานว่าค่าเฉลี่ยของระดับยูเรียในเลือดของโคนมตลอดทั้งวันอยู่ที่ระดับ 12 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ซึ่งค่าที่ต่ำที่สุดคือ 4 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร และสูงที่สุดคือ 25 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ระดับยูเรียในเลือดจะสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 2 หลังจากให้อาหาร โดยสอดคล้องกับ Gustafsson and Palmquist (1993) รายงานว่าระดับความเข้มข้นของยูเรียในเลือดจะสูงที่สุดในเวลาประมาณ 2.5-3.0 ชั่วโมง และจากผลการทดลองพบว่าในชั่วโมงที่ 2 หลังจากให้อาหาร ระดับความเข้มข้นของยูเรียในเลือดของโคนมกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรรำสกัดน้ำมัน มีแนวโน้มสูงกว่าโคนมที่ได้รับอาหารสูตรรำละเอียดและรำบีบน้ำมัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากรำสกัดน้ำมันมีค่าการย่อยสลายได้ของโปรตีนสูงกว่ารำชนิดอื่นๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ค่าชีวเคมีในเลือด ภายหลังการกินอาหารที่เวลาแตกต่างกัน

ค่าชีวเคมีในเลือด	RB	RBS	RBE	SEM
ยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด, มก.เปอร์เซ็นต์				
0 ชั่วโมง	13.37	15.47	11.32	3.21
2 ชั่วโมง	14.80	16.17	10.48	4.36
4 ชั่วโมง	14.26	15.47	10.48	4.05
กลูโคสในเลือด, มก.เปอร์เซ็นต์				
0 ชั่วโมง	62.94	59.14	60.16	5.95
2 ชั่วโมง	65.34	69.18	70.36	6.46
4 ชั่วโมง	67.68	70.40	72.86	5.53

หมายเหตุ RB คือ อาหารข้นสูตรรำละเอียด
RBS คือ อาหารข้นสูตรรำสกัดน้ำมัน
RBE คือ อาหารข้นสูตรรำบีบน้ำมัน

3.2 ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือด

ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดหลังจากได้รับอาหารที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมง พบว่า สูตรรำละเอียด เท่ากับ 62.94, 65.34 และ 67.68 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สูตรรำสกัดน้ำมัน เท่ากับ 59.14, 69.18 และ 70.40 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสูตรรำบีบน้ำมัน เท่ากับ 60.16, 70.36 และ 72.86 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่ากลูโคสในเลือดบ่งบอกถึงการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานในสูตรอาหาร ซึ่งระดับกลูโคสในกระแสเลือดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากการเพิ่มขึ้นของปริมาณการกินได้และพลังงานในร่างกายที่ได้รับจากอาหาร (Vazquez-anon *et al*., 1994) ซึ่งระดับกลูโคสในเลือดของสัตว์กระเพาะรวม เท่ากับ 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และร่างกายสัตว์จะรักษาระดับกลูโคสในเลือดให้อยู่ระหว่าง 40-60 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ โดยฮอร์โมนอินซูลินและกลูคากอน เพื่อให้เนื้อเยื่อทำงานได้ปกติ (เมธา, 2533; Dawsan *et al*., 1998) และ Mudron *et al*. (2005) รายงานว่าระดับของน้ำตาลกลูโคสในเลือดโคที่สภาวะปกติจะอยู่ที่ระดับ 43.2, 68.4 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

เมื่อคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจโดยพิจารณาเฉพาะต้นทุนค่าอาหารข้น พบว่า ต้นทุนค่าอาหารทั้ง 3 สูตร (รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน) มีค่าเท่ากับ 8.76, 8.04 และ 6.60 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 13) โดยสูตรรำบีบน้ำมันมีต้นทุนต่ำสุดส่งผลให้กำไรหลังหักต้นทุนค่าอาหารข้นสูงสุด (11.07 บาท/กิโลกรัม) เนื่องจากรำบีบน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากธุรกิจน้ำมันรำข้าวเพื่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งที่เป็นวัตถุดิบที่โรงงานประกอบการขนาดเล็ก ส่งขายให้เกษตรกรผู้เลี้ยงโคในพื้นที่เฉพาะที่ใกล้เคียงในราคาต่ำมาก คือ 3.00-3.50 บาท/กิโลกรัม ดังนั้นเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจึงสามารถใช้แทนรำละเอียดและรำสกัดน้ำมันที่มีราคาแพงกว่าได้โดยไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิต ส่งผลต่อการลดต้นทุนค่าอาหารข้นและทำให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงขึ้น

ตารางที่ 13 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

รายการ	รำละเอียด	รำสกัดน้ำมัน	รำบีบน้ำมัน
ผลผลิตน้ำนม, กก./วัน	13.82	12.74	13.44
ค่าอาหารข้น, บาท/กก.	8.76	8.04	6.60
ราคาขายน้ำนม, บาท/กก.	15.00	15.00	15.00
ต้นทุนค่าอาหารข้น, บาท	31,886.40	29,265.60	24,024.00
ต้นทุนค่าอาหารหยาบ, บาท	12,412.40	12,426.05	12,476.10
ต้นทุนค่าอาหาร, บาท	44,298.80	41,691.65	36,500.01
รายได้จากการขายน้ำนม, บาท	94,321.50	86,950.50	91,728.00
รายได้หลังหักค่าอาหารข้น, บาท	62,435.10	57,684.90	67,704.00
รายได้หลังหักค่าอาหารข้น, บาท/กก.	9.93	9.95	11.07
รายได้หลังหักค่าอาหาร, บาท	50,022.70	45,258.85	55,227.99
รายได้หลังหักค่าอาหาร, บาท/กก.	7.96	7.20	8.78

หมายเหตุ ราคาหญ้าแพงโกล่าสด กิโลกรัมละ 1 บาท (ความชื้น 71.55 เปอร์เซ็นต์)

ราคารำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน กิโลกรัมละ 9.20, 8.30 และ 3.00 บาท ตามลำดับ (ราคา ณ เดือนมิถุนายน 2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการผลิตของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกัน มีข้อสรุปแต่ละการทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกันในระยะเวลาการเก็บที่ต่างกัน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำละเอียด ในระยะเวลาการเก็บ 4 ช่วงเวลา คือ 0, 10, 20 และ 30 วัน สรุปได้ว่า รำที่ผ่านขบวนการสกัดน้ำมันสามารถเก็บไว้ได้นานกว่ารำที่ผ่านขบวนการบีบน้ำมันและรำละเอียดเนื่องจากมีปริมาณไขมันต่ำสุด ซึ่งรำสกัดน้ำมันมีค่าตัวชี้วัดการเกิดความหืนทั้งค่า Acid value (มิลลิกรัมโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม) และค่า Hydrolysis of Lipase (ยูนิตต่อมิลลิกรัม) ต่ำสุดส่งผลต่อการคงสภาพของรำได้นานขึ้น ในกรณีที่เกษตรกรสามารถซื้อรำละเอียดได้ในราคาถูกก็สามารถเก็บไว้เป็นวัตถุดิบได้ประมาณ 30 วัน แต่ถ้ามากกว่า 30 วัน รำละเอียดจะเปลี่ยนสภาพไป โดยมีกลิ่นหืนส่งผลต่อการกินได้ของสัตว์ ส่วนรำบีบน้ำมันและรำสกัดน้ำมันสามารถเก็บไว้ได้นานกว่ารำละเอียด อาจเก็บได้ถึง 60 วัน เมื่อดูจากการเปลี่ยนแปลงของค่า Acid value ซึ่งในวงการอาหารสัตว์สามารถยอมรับได้ที่ 30 มิลลิกรัมโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม

การทดลองที่ 2 ศึกษาการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกันโดยใช้เทคนิคการวัดปริมาณแก๊สในห้องปฏิบัติการ (in vitro Gas production techniques) ตามวิธีของธีโอเดอร์ (Theodorou)

จากการศึกษาการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน โดยใช้เทคนิคการวัดปริมาณแก๊สในห้องปฏิบัติการ สรุปได้ว่า รำสกัดน้ำมันมีปริมาณแก๊สสูงสุด รองลงมาคือรำบีบน้ำมัน และรำละเอียดมีปริมาณแก๊สต่ำสุด อัตราการเกิดแก๊สที่สูงนั้นทำให้ทราบถึงการเข้าย่อยของจุลินทรีย์ที่เป็นไปอย่างช้าๆ และมีการเกิดแก๊สขึ้นอย่างช้าๆ ด้วย ทำให้อัตราการไหลผ่านช้าเกิดขึ้นช้าตาม ส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของรำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สกัดน้ำมันมีค่าสูงสุดเช่นกัน แต่เมื่อดูจากค่าอัตราการเกิดแก๊สจะเห็นว่ารำบีบน้ำมันมีอัตราการเกิดแก๊สสูงที่สุด รองลงมาคือรำละเอียด และรำสกัดน้ำมันมีอัตราการเกิดแก๊สต่ำสุด ซึ่งอัตราการเกิดแก๊สที่สูงนั้นส่งผลให้รำบีบน้ำมันมีการเกิดแก๊สขึ้นเร็วที่สุดทำให้อัตราการไหลผ่านสูงตาม และส่งผลให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของรำบีบน้ำมันมีค่าสูง ส่วนค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของรำสกัดน้ำมันมีค่าต่ำสุด อาจเนื่องจากรำสกัดน้ำมันเป็นวัตถุดิบที่ได้จากการสกัดน้ำมันโดยใช้สารเคมี ซึ่งในขั้นตอนการสกัดน้ำมันจะมีการให้ความร้อน ซึ่งความร้อนที่สูงอาจมีผลต่อแป้งและน้ำตาลทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) โดยแป้งและน้ำตาลทำปฏิกิริยากับโปรตีนทำให้สัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแป้งและน้ำตาลได้เต็มที่ รวมทั้งการสกัดไขมันโดยใช้สารเคมียังส่งผลให้ค่าองค์ประกอบของไขมันในรำสกัดต่ำด้วย

การทดลองที่ 3 ศึกษาสมรรถภาพการผลิตโคนมที่ได้รับอาหารผสมที่มีรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกัน

การทดลองที่ใช้รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมันใช้ในสูตรอาหารข้นสำหรับโคนม สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก การกินได้ของวัตถุแห้ง ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบในน้ำนมดิบ และค่าเมทตาโบไลต์ในเลือด ไม่มีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามด้านต้นทุนการผลิตอาหารข้นสูตรรำบีบน้ำมันมีค่าต่ำสุด ส่งผลให้มีกำไรหลังหักต้นทุนค่าอาหารข้นสูงกว่าสูตรอื่น เนื่องจากราคารำบีบน้ำมันถูกกว่ารำละเอียดและรำสกัดน้ำมัน เพราะเป็นวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการบีบน้ำมันเย็นเพื่อนำไปใช้เพื่อสุขภาพของมนุษย์ และเป็นวัตถุดิบที่ไม่ได้ผลิตในเชิงการค้า จึงทำให้ราคายังต่ำอยู่

การศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่า การใช้รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำบีบน้ำมัน เพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับโคนมไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของโคนมที่แตกต่างกัน แต่มีความชัดเจนในส่วนของระยะเวลาการเก็บเพื่อเป็นวัตถุดิบ และต้นทุนด้านราคาของรำทั้ง 3 ชนิด ในแต่ละพื้นที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการผลิตของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกัน ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างกัน ควรทำการเก็บรำข้าวในช่วงระยะเวลาที่นานขึ้น และควรเก็บในสภาพที่เสมือนจริง คือ เก็บโดยใช้กระสอบหรืออุปกรณ์ที่รำข้าวมีสัมผัสกับอากาศ

2. การศึกษาการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยใช้เทคนิคการวัดปริมาณแก๊ส ควรกำหนดระยะเวลาในการเก็บค่าแก๊สให้และช่วงห่างของการเก็บให้เหมาะสม

3. การศึกษาสมรรถภาพการผลิตโคนม ควรใช้แผนการทดลองที่มีความเหมาะสมในการศึกษาโคนม เพราะมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อตัวโคนมที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งทำให้ผลการทดลองที่ออกมาไม่ชัดเจนหรือไม่เห็นผลมากนัก

การเลือกรำข้าวทั้งสามชนิดในอาหารข้นเลี้ยงโคนม เกษตรกรสามารถเลือกใช้วัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดได้ โดยคำนึงถึงแหล่งที่สามารถหาวัตถุดิบได้ง่ายและมีราคาถูกเป็นสำคัญที่สุด ในขณะเดียวกัน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความน่ากินที่ลดลงอันเป็นผลจากการหืนที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะในรำละเอียดที่มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น ควรเลือกใช้รำที่ใหม่และมีระยะเวลาการเก็บรักษาที่ไม่นานมากนัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จินดา สนิทวงศ์ ศศิธร ถิ่นนคร อรรถยา เกียรติ์สุทร สวัสดิ์ อาตมางกูล เสาวคนธ์ โรจนศถิตย์ และชาญชัย มณีดุล. 2529. **วารสารโคกระบือ**. 9:38-40.

จันทร์สม แก้วอุดร. 2546. **การทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยไมโครเวฟ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฉลอง วชิราภากร และเมธา วรรณพัฒน์. 2546. **คู่มือวิเคราะห์ทางด้านอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง.** ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ณิฐิมา เฉลิมแสน ประวีร์ วิชชุลตา พรศรี ชัยรัตนายุทธิ์ สมจิตร สุรพัฒน์ สิรินทร์พร สินธุวณิชย์ และอรุณี อิงคากุล. 2546. **อิทธิพลของวัตถุกันเสียต่อการวิเคราะห์องค์ประกอบและจำนวนโซมาติคเซลล์ในนมดิบ**. ในการประชุมทางวิชาการ สาขาสัตว์ ครั้งที่ 41 หน้า 127-135. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทรงศักดิ์ จำปาวะดี, กฤตพล สมมาตย์, เทวิน วงษ์พระลับ, และวิโรจน์ ภัทรจินดา. 2548. **การประเมินค่าโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนโดยเทคนิคถุงไนลอนและเทคนิคเอนไซม์ในวัตถุดิบอาหารข้นเขตร้อน**. แก่นเกษตร. 33: 259.

บรรจบ ไชยโยธา. 2542. **การศึกษาการใช้รำสกัดน้ำมันและรำสตาบิไลซ์ทดแทนรำละเอียดในอาหารไก่เนื้อและนกกระทา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

บริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด. มปป. **กระบวนการสกัดน้ำมันรำข้าว**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.tvothai.com (สืบค้นวันที่ 11 พฤษภาคม 2553).

ฝ่ายศึกษาและรายงานสถานการณ์ข้าว. 2525. **การพิสูจน์คุณภาพข้าว**. กองควบคุมข้าว กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นฤมล สุมาลี. 2541. **การหาค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในอาหารโคนม โดยใช้เทคนิคการวัดแก๊สแบบโฮเฮนไฮม์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2543. **เคมีอาหาร**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นิลุบล บุตรโพธิ์ศรี. 2543. **ผลของการใช้มันเส้นดัดแปลง (โดยการเสริมโปรตีนจากพืชชนิดต่างๆ และสารสี จากดอกดาวเรือง) ทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นัยวัฒน์ สุขทั่ง. 2550. **การออกแบบเครื่องให้ความร้อนรำข้าวสำหรับการเก็บรักษา** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. **โภชนะศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ฟันนี่พับบลิชชิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2538. **สรีระวิทยาเมล็ดพันธุ์**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์, กรุงเทพฯ.

สมบัติ นิลพุธ. 2550. **การประเมินคุณค่าทางโภชนะ และจลศาสตร์การย่อยสลายของแหล่งอาหารหยาบ และแหล่งอาหารโปรตีนจากพืช โดยใช้การวัดผลผลิตแก๊สในหลอดทดลอง**. การศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สาโรช ค้าเจริญ. 2547. **อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง** โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น.

สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล ประไพพิศ เคโชดมพันธ์ และสิรี ชัยเสรี. 2540. **การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเอนไซม์ไลเพสจากรำข้าว**. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ 31 (1):56-71.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2539. **การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์**. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สุวิทย์ ธีรพันธุวัฒน์. 2536. **วัตถุดิบอาหารสัตว์และการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์**. ภาควิชาสัตว์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). มปป. **คลังข้อมูลสารสนเทศข้าวเชิงลึก. ข้าว**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://kasetinfo.arda.or.th/rice/rice-product2.html. ข้อมูลจากสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว (www.brrd.in.th) (สืบค้นวันที่ 11 พฤษภาคม 2553).

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. มปป. **อุตสาหกรรมแปรรูปข้าว**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.oie.go.th (สืบค้นวันที่ 11 พฤษภาคม 2553).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ม.ป.ป. **ผลพยากรณ์ข้าวนาปีและนาปรังปี 2547**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.oae.go.th. (สืบค้นวันที่ 11 พฤษภาคม 2553).

ศิริรัตน์ บัวผัน นครชัย อันชื่น สมเกียรติ ประสานพานิช สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และอุทัย คันโธ. 2549. **การใช้รำสกัดน้ำมันเป็นวัตถุดิบหลักในอาหารโครยะรีดนม** เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44, สาขาสัตว์ สาขาสัตวแพทยศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อัมมาร์ สยามวาลา. 2522. **ข้าวในเศรษฐกิจของไทย.** โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2538. **เอกสารคำสอนวิชาเคมีทางธัญญาหาร**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตร, กรุงเทพฯ.

A.O.A.C. 1995a. **Official Method of Analysis of the Association of Official Analysis Chemists**. 16th ed. Washington. DC.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

_____. 1995b. Official Method of Analysis. The d., William, S., Ed Washington, DC., Official Method Cd3d-63. **Sampling and Analysis of Commercial Fat and Oil**.

A.O.C.S. 1989. **Official Method of Acid value (Ca 2b-38)**. AOCS, Champaign, IL.

Barber, S. and C. Benedito de Barber. 1980. Rice bran: Chemistry and technology, pp. 791-862. In B.S. Luh, ed. **Rice: Production and utilization**. AVI Publ. Co.,Inc., Westport.

Belyea, R.L., B.J. Steevens, R.J. Restrepo and A.P. Clubb. 1989. Variation in composition of by-product feeds. **J. Dairy Sci**. 72:2339.

Blowey, R.W., D.W. Wood and J.R. Davis. 1973. A nutritional monitoring system for dairy herds based on blood glucose, urea and albumin levels. **Vet. Rec**. 82:691.

Blümmel, M. and Ørskov, E.R. 1993. Comparison of *in vitro* gas production and nylon bag degradability of roughages on predicting feed intake in cattle. **Anim. Feed Sci**. Tech. 40:109-119.

_____ and K. Becker. 1997. The degradability characteristic of fifty-four roughages and roughage neutral-detergent fiber as described by in vitro gas production and their relationship of voluntary feed intake. **Br. J. Nutr**. 77:757.

Broderick, G.A., R.J. Wallace and E.R. Ørskov. 1991. Control of Rate and Extent of Protein degradation. In **Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminant**, Inc, San Diego, California, U.S.A.

Chang, S.C., R.M. Sauder and B.S. Luh. 1980. Rice Oil Chemistry and Technology. **In Rice: production and Utilization**, edited by Luh, S.B., West-port, CT: AVI. 764-789.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Chaudhary, L. C., A. Sahoo, N. Agarwal, D. N. Kamra, and N. N. Pathak. 2001. Effect of replacing grain with deoiled rice bran and molasses from the diet of lactating cows. Asianaustralas. **J. Anim. Sci**. 14:646.

Christensen, R.A., G.L. Lynch, J.H. Clark and Y. Yu. 1993. Influence of amount and degradability of protein and production of milk and milk component by lactating Holsteins cows. **J. Dairy. Sci.** 76:123.

Davis, G., W. Kellogg, B. Kegley and S. Gadberry. 2000. Effects of rice milling procedures on nutrient composition of rice bran. **Arkansas Agric**. Exp. Sta. Res. Series 478:100, Fayetteville, AR.

Dawson, J.M., G, M.R. Grathead, J. Chigon, D.L. Hachey, P.J. Reeds, Pell and P.J. Buttery. 1998. The interaction between nutrition status and growth hormone in young cattle differential responsiveness of fat and protein metabolism. **Britist J. Nutri**. 79:275-286.

De Fries, C. A., D. A. Neuendorff, and R. D. Randel. 1998. Fat supplementation influences postpartum reproductive performance in Brahman cows. **J. Anim**. Sci. 76:864.

Daniels, L. B., K. P. Coffey, K. F. Harrison, D. H. Hubbell, and Z. B. Johnson. 1999. Productio of stocker cattle supplemented with defatted rice bran while grazing bermudagrass pasture. **Arkansas Agric**. Exp. Sta. Res. Series 470:88, Fayetteville.

DePeters, E.J., J.G. Fadel, M.J. Arana, N. Ohanesian, M.A. Etchebarne, C.A. Hamilton, R.G. Hinders, M.D. Maloney, C.A. Old, T.J. Riordan, H. Perez-Monti and J.W. Pareas. 2000. Variability in the chemical Composition of seventeen selected by-product feedstuffs used by the California dairy industry. Prof. **Anim. Sci**. 16:69.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Forster, L. A., Jr., A. L. Goetsch, D. L. Galloway, Sr., and Z. B. Johnson. 1993. Feed intake, digestibility, and live weight gain by cattle consuming forage supplemented with rice bran and(or) corn. **J. Anim. Sci**. 71:3105.

Forster, L. A., Jr., A. L. Goetsch, D. L. Galloway, Sr., W. Sun, A. R. Patil, and Z. B. Johnson. 1994. Digestion characteristics, feed intake and live weight gain by cattle consuming forage supplemented with defatted rice bran or other feedstuffs. **Anim. Feed Sci**. Tech. 47:259.

Fuller, M.F. 2004. **The Encyclopedia of Farm Animal Nutrition**. Includes bibliographical references. CABI Publishing, Washington, DC, USA.

Gadberry, M. S., P. A. Beck, and S. A. Gunter. 2004. Forage intake and performance of beef heifers grazing cool season pastures and supplemented with de-oiled rice bran or corn. Prof. **Anim. Sci.** 20:394.

Gadberry, M. S., P. A. Beck, T. C. Lois, and S. A. Gunter. 2006. Performance of beef cows supplemented with de-oiled rice bran. **J. Appl. Anim**. Res. 29:97.

Garg, M. R., and B. N. Gupta. 1994. Ruminal dry matter and protein degradation of some feed ingredients under two different rumen environments. **Indian J. Dairy Sci**. 47:162.

Goering, G.O. and P.J. Van Soest. 1970. Forge Fiber Analysis. USDA, Agricultural Research Service. **Agricultural Handbook.** No.379. Washington DC.

Higginbotham. M.V., M. Jorabi and J.T. Huber. 1989. Influence of dietary protein concentration and degradability on performance of lactating cows during hot environmental temperature. **J. Dairy. Sci**. 73:2554.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hoi, S.W., J.B. Holland and E.G. Hammond. 1999. Heritability of lipase activity of oat caryopsis. **Crop Sci**. 39:1056-1059.

Hu, W., J.H. Wells., T-S. Shin and J.S. Godber. 1996. Comperison of isopropanol and hexane for extraction of vitamin E and oryzanol from stabilized rice bran. **J. Am. Oil Chem**. Soc. 73(12):1653-1656.

Hungate, R.R. 1966. **The rumen and its microbes**. Academic Press; New York.

Hussien, A.S. and F.H. Kratzer. 1982. Effect of rancidity on the feeding value of rice bran for chickens. **Poultry Soi**. 61:2450-2455.

http:// www.smethai.com. (สืบค้นวันที่ 3 พฤษภาคม 2553)

http://ricegermoil.blogspot.com. (สืบค้นวันที่ 3 พฤษภาคม 2553)

Ibrahimm, M.N.M. 1986. **Rice bran as a supplement for straw base ration**. The sixth AAAP workshop.

Islam, M. R., M. Ishida, S. Ando, and T. Nishida. 2002. In situ dry matter, nitrogen, and phosphorus disappearance of different feeds for ruminants. Asian-australas. **J. Anim. Sci**. 15:793.

Ieki, H., Y. Zhao, K. Taniguchi, T. Obits and Y. Zhao. 1997. Ruminant balance and intestinal digestion of fatty acid by steers feed full-fat rice bran. **J. Anim. Feed Sci**. Technol. 49:265-277

Juliano, R.O. 1985. Rice: Chemitry and Technology. 2nd ed., **American Association of Cereal Chemists**, St. Paul, Minesota.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kearl, L.C. 1982. **Nutrient Requirement of Ruminant in Developing Countries**. Logan Utah: International Feedstuffs Institute. Utah State University. U.S.A.

Khazaal, K., M.T. Dentinho, J.M. Ribeiro, and E.R. Orskov. 1995. Prediction of apparent digestibility and voluntary intake of hays fed to sheep: comparison between using fibre components, in vitro digestibility or characteristics of gas production or nylon bag degradation. **Animal Science**. 61: 527.

Kohn, R.A., M.M. Dinneen and E. Russek-Cohen. 2005. Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs and rats. **J. Anim. Sci.** 83.879-889.

Luh, B.S. 1991. **Rice: Production and Utilization**. Westport. CT: AVI.

Lundburg, W.O. 1966. **Autoxidation and Antioxidants**. V. 2. Easton. John Wiley & Sons, Inc.

MAFF. 1986. Feed composition: UK tables of feed composition and nutritional value. Marlow Bottom, UK, Chalcombe Publications for the Ministry of Agriculture, **Fisheries and Food** (MAFF).

McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh and C.A. Morgan. 2002. **Animal Nutrition**. (6th ed.) Pearson Prentice Hall, London.

Makkar, H.P.S. 2005. In vtro gas methods for evaluation of feeds containing phytochemicals. **Anim. Feed Sci**. Technol. 123-123: 291-302.

Marshall, W.E. and J.I. Wedworth. 1993. Introduction. In Marshall W.E., editor. **Rice Science and Technology**. New York. Marcel Dekker, Inc. 1-15.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Menke, K.H., L. Raab, A. Salewski, H. Steingass, D. Fritz, and W. Schneider. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. **Journal of Agricultural Science (Cambridge)**. 93: 217.

_____ and H. Steingass. 1988. Estimation of energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. **Anim. Res**. Dev. 28: 7-55.

Morrison, F.B. 1959. **Feed and feeding**. Norrison Publ. Co.,Clinton, IA.

Mudron, P., J. Rehage, H.P. Sallmann, M. Hőltershinken, H. Scholz. 2005. Stress response in dairy cows related to blood glucose. **Acta Vet.** 74: 37-42.

Murphy, M.R., Baldwin, R.L. and Berger, L.J. 1982. Estimation of Stoichiometric parameters for rumen fermentation of roughage and concentrate diets. **J. Anim. Sci.** 55: 411-421.

NARO (National Agricultural Research Organization. 2001. Outreach and Partnership Initiatives: A strategy for decentralization and Institutional learning. Entebbe. **Working Paper** No.1 October, 2001.

National Research Council. 1988. **Nutrient Requirement of Dairy Cattle**. 6th ed. National. Academy. Press, Washington, DC.

National Research Council. 1996. **Nutrient Requirement of Beef Cattle**. 7th ed. National. Academy. Press, Washington, DC.

Ørskov, E.R. and McDnald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **J. Agric. Sci**., Camb. 92:499-503.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Orthoefer, F.T., 1996. Rice Bran Oil: Iicalthy Lipid Source. **Food Technology**, Dcc., pp. 62-64.

Salvador Barbera and Carmer Bendetito de Barber. 1991. Rice bran: Chemical and Technology. In Luh B.S., editor. **Rice bran: Production and Utilization 2th ed**. Connecticut. The AVI Publishing company, Inc. 1991;790-862.

Sanson, D. W., and D. F. Coombs. 2003. Performance of bred heifers fed various supplements during gestation. **Prof. Anim. Sci**. 19:267.

Saunders, R.M. 1990. The properties of rice bran as foodstuff. **Cereal Foods World**. 37(10):760-766.

Sauvant, D., J.-M. Perez and and G. Tran. 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. Translated by A, Ponter. **Wageningen Academic Publishers**. The Netherlands & INRA, Paris, France.

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

Scott, M. L., M. C. Nesheim and R. J. Young. 1982. **Nutrition of the Chicken**. 3rd ed., M.L. Scott and Associates New York.

Singh, A. S., V. K. Jain, P. Singh, and N. N. Pathak. 2000. Effect of feeding ad libitum wheat bran or de-oiled rice bran with restricted wheat straw on feed intake and nutrient utilization in crossbred cows. **Indian J. Anim**. Nutr. 17:232.

Slein, M.W. 1963. **Methods of Enzymatic Analysis**. Academic Press: New York.

Snell, M. G., C. I. Bray, F. L. Morrison, and M.E. Jackson. 1945. Fattening steers on corn, rice products, and rice straw. **Louisiana Agric**. Exp. Sta. Bull. 389, Baton Rouge.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Takei, T. 1977. Utilization of defetted rice bran as fish soluble absorbent material. In Proceeding Rice By-Products Utilizational conference , 1974, Valencia, Spain, Vol. IV. Rice bran utilization; Feed and Feeding. Edited by S. Berder and E. Tortosa. **Institute Agroquim Technology Alliment**, Valenoia.

Takahashi, K. 1919. Rice bran oil. **Japanese patent** 4(11):35, 263.

Taniguohi, K., Y. Zhao, T. Obitsu, A. Djajanegara and A. Sukmawati. 1991. Utilization of rice bran in the gastrointestinal tract of steers. Proceeding of the 7th AAAP **Animal Science Congress**. Bali; Indonesia. 3:103-404.

Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., MeAllan, A.B. and J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. **Anim. Feed Sci**. Technal. 48:185-197.

Tiffany, T.O., J.M. Jansen, C.A. Burtis, J.B. Overton and C.D. Scott. 1972. Enzymatic Kinetic Rate and end point Analysis of Substrate by use of a GeMSAEC fast analyser. **Clinical Chemistry**. 18:829-840

Till, A. R., M. R. Hunt, T. Pnggabean, D. Bulo, and G. J. Blair. 1991. The liveweight gain of cattle at pasture in south Sulawesi supplemented with locally available by-products. Aust. **J. Anim. Sci**. 4:85.

Van Soest, P.J., J.B. Robertson, and B.A. Lewis. 1991. Method for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **J. Dairy Sci**. 74:3583.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Van Gelder, A.H., M. Hetta, M.A.M. Rodrigues, J.L. De Boever, H. Den Hartigh, C. Rymer, M. Van Oostrum, R. Van Kaathoven, and J.W. Cone. 2005. Ranking of in vitro fermentability of 20 feedstuffs with an automated gas production technique: results of a ring test. **Anim. Feed Sci. Technol**. 123-124: 243.

Vazquez-Anon, M., S.J. Bertics, M. Luck, R.R. Grummer and J. Pinjeiro. 1994. Peripartum liver triglyceride and plasmametabolites in dairy cows. **J. Dairy Sci**. 77: 1521-1528.

Warren, B.E. and D.J. Farrell. 1990. The nutrition value of full-fat and defatted Australian rice bran. I. Chemical composition. **J. Anim. Feed Sci**. Technol. 62:1495-1500.

Wannapat, M., S. Praserdes. and K. Thummasang. 1985. Effect of concentration to urea addition to safe and from urea treated rice straw on intake and digestibility. **Ann. Report of the utilization of fibrous Agricultural residues and ruminant feed project.**

Webb, S. M., A. W. Lewis, D. A. Neuendorff, and R. D. Randel. 2001. Effects of dietary rice bran, lasalocid, and sex of calf on postpartum reproduction in Brahman cows. **J. Anim. Sci.** 79:2968.

White, T. W. 1965. Rice bran in beef cattle fattening rations. **Louisiana Agric**. Exp. Sta. Bull. 600, Baton Rouge.

White, T. W., and F. G. Hembry. 1985. Rice by-products in ruminant rations. **Louisiana Agric**. Exp. Sta. Bull. 771, Baton Rouge.

Wolin, M.J. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. **J. Dairy Sci.** 43: 1452-1459.

Zhao, Y., K. Taniguchi and T. Obitsu. 1996. Effect of different processing for rice bran on dietary nutrient each segment of the digestive tract of steers. **J. Anim Feed Sci**. Technol. 59:265-277.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ค่าความหืน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 925.10, 1995)

นำถ้วยสำหรับหาความชื้นอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำออกจากตู้และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นำมาบรรจุตัวอย่าง 3 กรัม ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบและทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำมาอบต่อจนน้ำหนักคงที่ ซึ่งใช้เวลาในการอบทั้งหมดประมาณ 5 ชั่วโมง แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากน้ำหนักที่หายไป

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

2. วิธีทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพส (Hoi *et al.*, 1999)

นำรำข้าวที่ต้องการหากินกรรมของเอนไซม์ไลเพสมา 10 กรัม เติมน้ำหลั่นปริมาตร 2 ลบ.ซม. คนให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง จากนั้นเติมน้ำมันรำข้าวบริสุทธิจำนวน 10 กรัม คนให้เข้ากัน พร้อมทั้งตัวคบบคุมที่ไม่มีรำข้าวควบคู่ไปด้วย จากนั้นนำมาบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองน้ำมันจากแต่ละตัวอย่างมา 0.2 กรัม มาละลายในตัวทำละลายผสมระหว่างเมทานอลกับไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 จำนวน 15 ลบ.ซม. แล้วนำตัวอย่างมา 5 ลบ.ซม. ทำให้เจือจางด้วยเมทานอล และปรับให้มีปริมาตร 50 ลบ.ซม. นำมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ไทเทรตจนกว่า pH จะถึง 9 จากนั้นนำค่าปริมาณการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ไลเพส จากสูตร

$$\% \text{ Hydrolysis} = 4.334^{*} \times (\text{ml consumed by sample} - \text{ml consumed by control})$$

* ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันรำข้าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. วิธีการสกัดน้ำมันเพื่อวิเคราะห์ค่าต่างๆ (Hu *et al*., 1996)

ชั่งรำข้าวที่ต้องการสกัด 25 กรัม ให้ทราบน้ำหนักแน่นอน ใส่ขวดรูปชมพู่ สกัดด้วยตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ในอัตราส่วน 75 ลบ.ซม. แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่อง incubator shaker เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำออกมากรองด้วยเครื่องกรอง suction vacuum separator โดยใช้กระดาษกรองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.0 เซนติเมตร นำสิ่งที่กรองได้ไประเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแล้วระเหย ตัวทำละลายให้หมด โดยการไล่ด้วยแก๊สไนโตรเจน นำมาชั่งปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

4. วิธีการวิเคราะห์ค่ากรด (Acid value) (AOCS Ca 2b-38, 1989

ชั่งตัวอย่างที่เป็นน้ำมัน 1 กรัมใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml. เติมส่วนผสมระหว่าง Ethanol และ Diethyl ether อัตราส่วน 1:1 ใส่ลงในตัวอย่าง จากนั้นเติมฟีนอล์ฟทาลีนประมาณ 1 ml. เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ นำไปไตเตรทด้วย 0.1 N KOH แล้วทำการบันทึกปริมาณที่ใช้ และนำไปคำนวณหาค่า Acid value โดยใช้สูตร

$$\text{Acid value} = \frac{56.1 \times aN}{W}$$

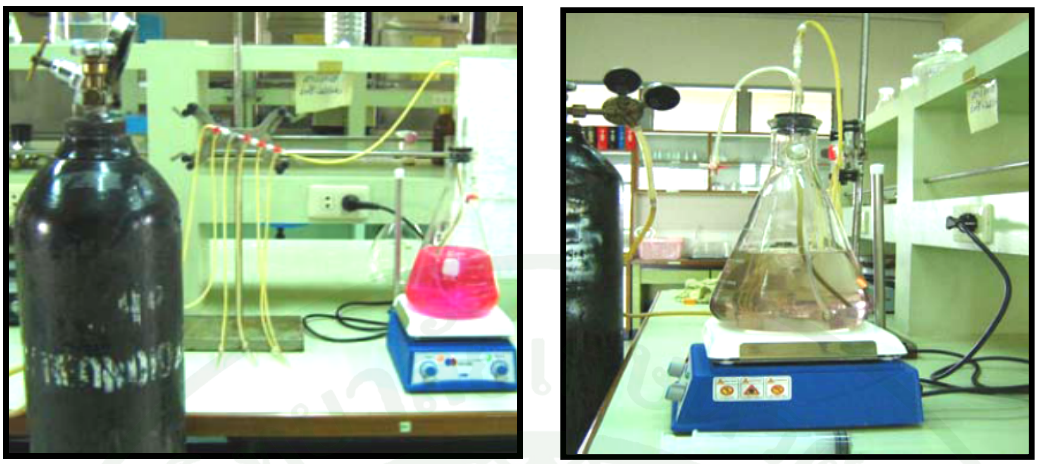
a คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็น (มิลลิลิตร)
N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโปรแตสเซียมไฮตรอกไซด์ (N)
W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

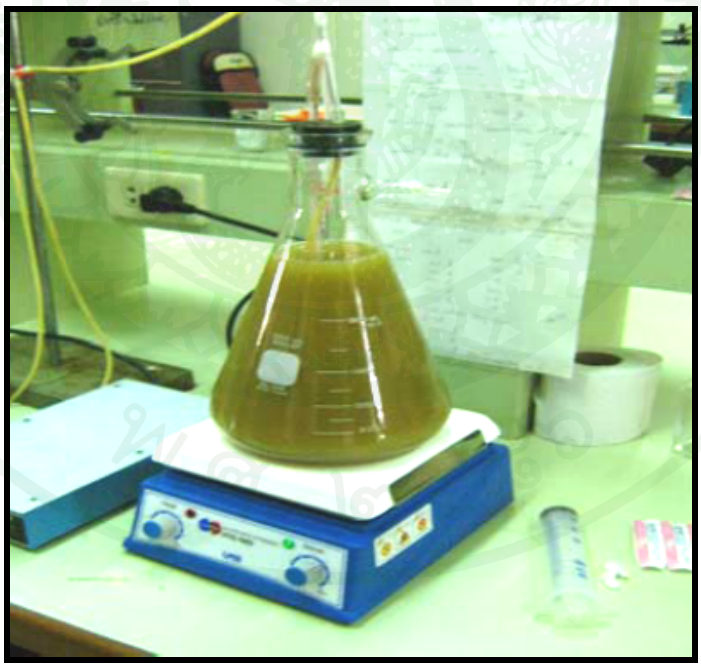
ภาพประกอบการศึกษาปริมาณแก๊ส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุ

ที่มา: สมบัติ (2550)



ภาพผนวกที่ 2 การใส่ของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่ผ่านการกรองลงในสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุที่เตรียมไว้

ที่มา: สมบัติ (2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

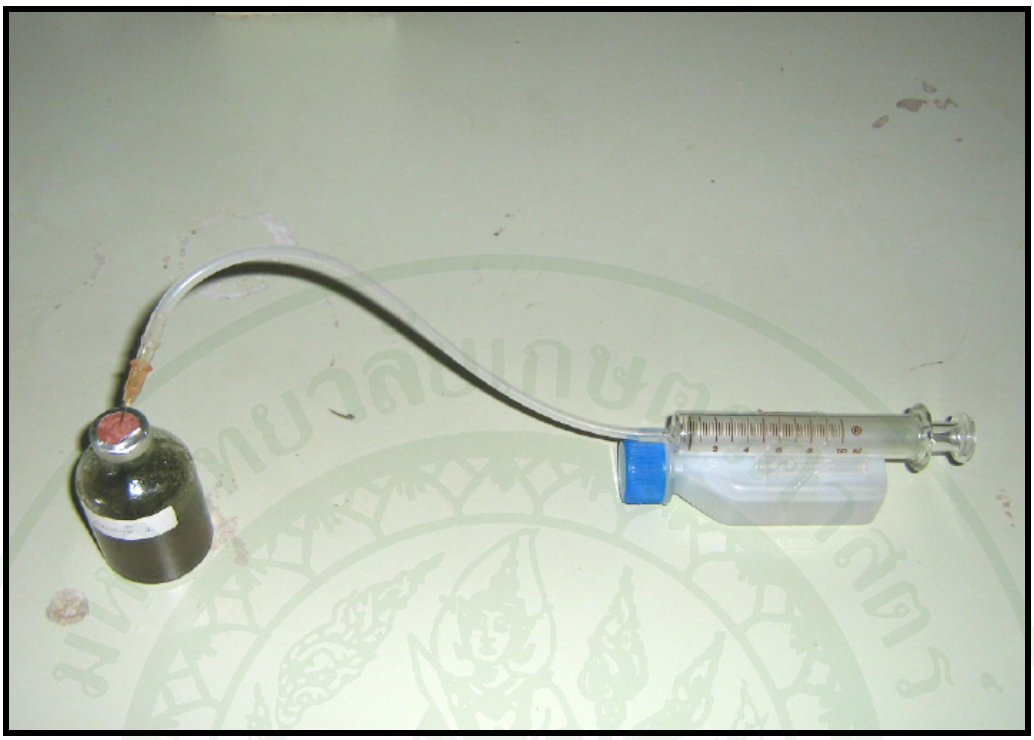
ภาพผนวกที่ 3 การใส่ของเหลวจากกระเพาะรูเมนผสมลงในขวดซีรั่ม

ที่มา: สมบัติ (2550)

ภาพผนวกที่ 4 นำขวดซีรั่มเข้าบ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส

ที่มา: สมบัติ (2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 5 วิธีวัดปริมาณผลผลิตแก๊สในขวดซีรั่ม

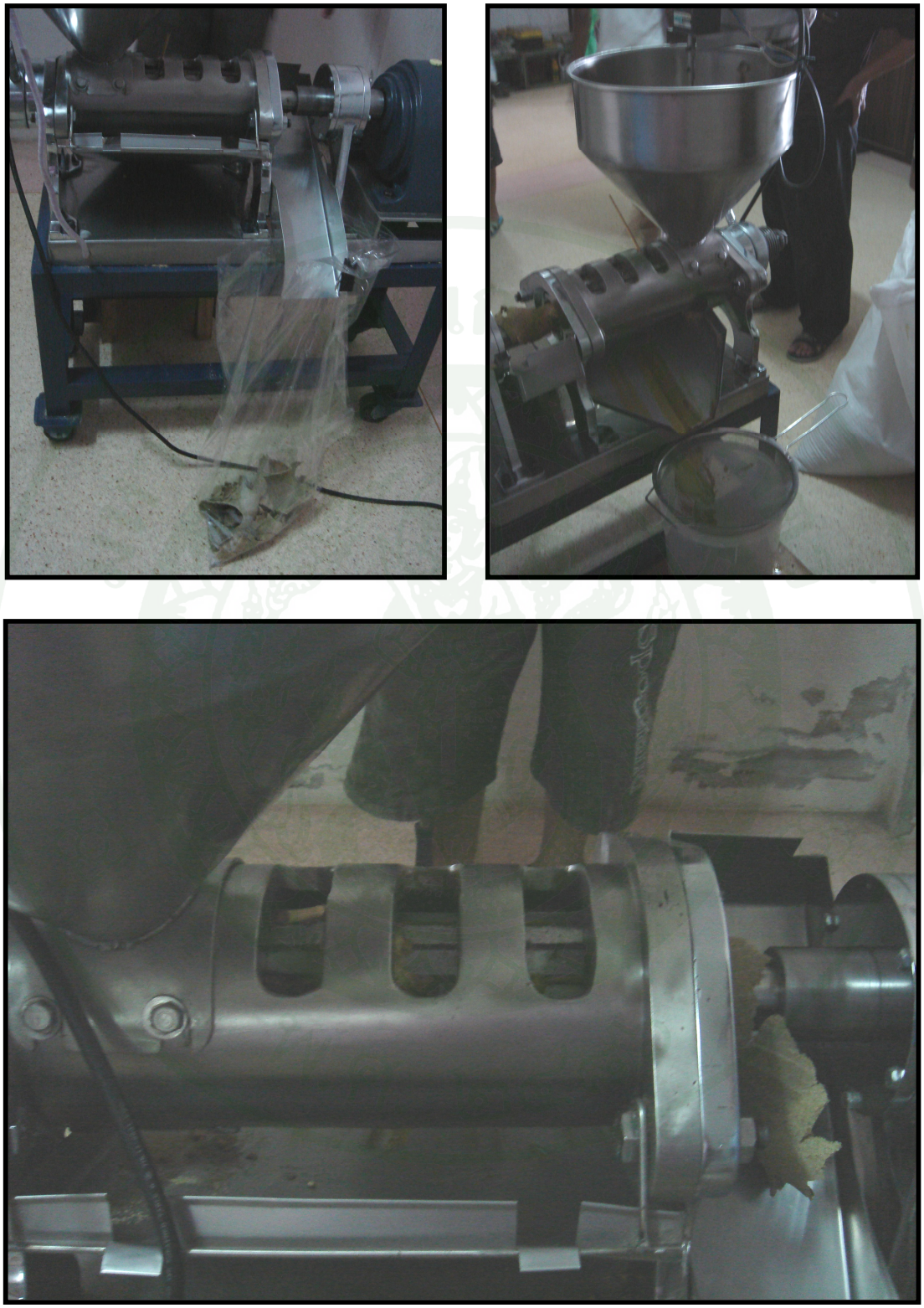
ที่มา: สมบัติ (2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

เครื่องบีบน้ำมันแบบเกลียวอัด (screw press)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 6 เครื่องบีบน้ำมันแบบเกลียวอัด (screw press)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายอธิปวัฒน์ ปลื้มกลาง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 12 ธันวาคม 2525
สถานที่เกิด	อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีการเกษตร) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการสัตวบาล
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โครงการลดต้นทุนและปรับปรุงประสิทธิภาพการเลี้ยงโคนมด้วยวิธีที่ปฏิบัติได้และเห็นผลจริง สหกรณ์โคนมในเขตปฏิรูปที่ดินลำพญากลาง จำกัด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2551-2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์