ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ | สัตวบาล

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของกากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการต่างๆในอาหารแกะ ต่อค่าสมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการผลิต

Effects of Different Processing Soybean Meal in Diet of Sheep on Nitrogen Balance and Productive Performance

นามผู้วิจัย นายปริญญา คามา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลอชาติ บุญเอก, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์อุทัย คันโธ, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์สมิต ยิ้มมงคล, ปร.ด.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของกากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการต่างๆในอาหารแกะ ต่อค่าสมดุลไนโตรเจนและสมรรถภาพการผลิต

Effects of Different Processing Soybean Meal in Diet of Sheep on Nitrogen Balance and Productive Performance

โดย

นายปริญญา คามา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริญญา คามา 2555: ผลของกากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการต่างๆในอาหารแกะต่อค่าสมดุลไนโตรเจนและสมรรถภาพการผลิต ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เลอชาติ บุญเอก, Ph.D. 85 หน้า

การทดลอง เพื่อศึกษาผลการใช้กากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการต่างๆเป็นแหล่งโปรตีนหลักในอาหารแกะ ต่อสมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการผลิต โดยใช้แกะเพศผู้จำนวน 16 ตัว อายุ 7-8 เดือน สุ่มแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 4 ตัว ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) อาหารทดลองเป็นอาหารผสมสำเร็จ (TMR) ที่มีอาหารข้นผสมกับเปลือกสับปะรดผสมชานอ้อยหมักและหญ้าขนสด อาหารข้นที่ใช้ทดลอง 4 กลุ่ม มีกากถั่วเหลืองต่างๆ เป็นแหล่งโปรตีนหลัก ได้แก่ TMR1 ใช้กากถั่วเหลืองจากการใช้สารเคมีสกัด (solvent extraction) TMR2 ใช้กากถั่วเหลืองจากการบีบอัด (expeller) TMR 3 ใช้กากถั่วเหลืองจากสูตร 1 ที่ผ่านขบวนการเอ๊กซทรูด (Extrusion) และ TMR4 ใช้กากถั่วเหลืองจากสูตร2 ที่ผ่านขบวนการเอ๊กซทรูด ผลการทดลองพบว่า การสะสมไนโตรเจนในร่างกายของแกะที่ได้รับอาหาร TMR1และ TMR2 แสดงค่าต่ำกว่า ($p<0.05$) ในแกะกลุ่มที่ได้รับอาหาร TMR3 และTMR4 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.55, 5.60, 6.88 และ 7.37 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มน้ำหนักและประสิทธิภาพการใช้อาหารของแกะทดลองทั้ง4กลุ่ม ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 219.02, 219.02, 233.69 และ 233.92 กรัม/วัน และ 4.58, 4.49, 4.30 และ 4.42 สำหรับกลุ่ม TMR1, TMR2, TMR3 และ TMR4 ตามลำดับ

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Parinya Khama 2012: Effects of Different Processing Soybean Meal in Diet of Sheep on Nitrogen Balance and Productive Performance. 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. 85 pages.

The aim of this study was to determine the effect of different processing soybean meal as a main protein source in diet of sheep on nitrogen balance and productive performance. Sixteen lambs (7-8 months of age) were randomly allocated to 4 experimental groups in Completely Randomized Design trial. The animals received total mixed ration (TMR) containing concentrate, mixed pineapple peel and bagasse silage and fresh para grass. Experimental treatments were of TMR1 TMR2 TMR3 and TMR4 which contained either solvent extracted soybean meal, expeller soybean meal, extruded solvent extracted soybean meal or extruded expeller soybean meal, respectively as a main protein source. The results showed that N retention in lambs received TMR1 and TMR2 was lower ($p<0.05$) than those of lambs in TMR3, and TMR4 with mean values of 5.55, 5.60, 6.88 and 7.37 g/head/day respectively. Average daily gain and feed efficiency of experimental lamb were all similar among experimental groups ($p>0.05$) with the mean values of 219.02, 219.02, 233.69 and 233.92 g/day and of 4.58, 4.49, 4.30 and 4.42 for TMR1, TMR2, TMR3 and TMR4, respectively.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอชาติ บุญเอก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ อุทัย คันโธ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมิต ยิ้มมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ แพงคำ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ความกรุณาและคำแนะนำในการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาสัตวบาลทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณ อาจารย์ลักษณ์ เพียซ้าย หัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำงานวิจัยและสัตว์ทดลอง ขอขอบคุณศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ และสถานีวิจัยกำแพงแสน สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับผสมอาหารสัตว์และหญ้าขน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ที่ให้คำแนะนำและความสะดวกในการทดลอง และขอขอบพระคุณวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ที่ได้กรุณามอบทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ คุณแม่ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง และขอขอบคุณแกะทดลองทั้งหมดที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้

ปริญญา คามา

พฤษภาคม 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	41
ผลและวิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	56
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	57
ภาคผนวก	69
ภาคผนวก ก กระบวนการบีบน้ำมันถั่วเหลือง	70
ภาคผนวก ข กระบวนการเอ๊กซทรูดกากถั่วเหลือง	72
ภาคผนวก ค การหาค่าสมดุลไนโตรเจน	77
ภาคผนวก ง ดัชนีการละลายได้ของโปรตีน	79
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	85

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลผลิตธัญพืชสำคัญของโลก (สถิติมูลรวมของโลก) หน่วย: ล้านตัน	8
2	ผลผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์ในประเทศ หน่วย: ล้านตัน	8
3	สถานการณ์การผลิต และนำเข้าเมล็ดถั่วเหลืองในระยะ 4 ปี (ล้านตัน)	9
4	สถานการณ์การผลิต และนำเข้ากากถั่วเหลืองในระยะ 4 ปี (ล้านตัน)	10
5	แสดงองค์ประกอบทางเคมี และกรดอะมิโนของกากถั่วเหลืองที่สกัดแบบ Solvent และ expeller	14
6	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักของวัตถุดิบอาหารต่างชนิด (% โปรตีนทั้งหมด)	17
7	สัดส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักของโปรตีนบางชนิด และกรรมวิธีที่ใช้ลดการย่อยสลาย	20
8	การย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลอง (IVRDP, 24 h) NH_4^+- N (mg, 24 และ 72 h) ของถั่วอัลฟาฟ่าแห้งที่ได้รับแทนนินชนิดต่างๆในระดับที่แตกต่างกัน	23
9	ประสิทธิภาพการย่อยได้ของกากเมล็ดทานตะวัน และกากถั่วเหลืองที่มีการทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ และไม่ได้ทรีตเสริมในอาหาร	24
10	ค่าการประเมินจากการถูกย่อยสลายได้ของโปรตีนในกากถั่วเหลืองที่ไม่ได้ผ่านการทรีตกากถั่วเหลืองที่ผ่านการทรีตด้วยไอน้ำ กากถั่วเหลืองที่ทรีต xylose หรือกากถั่วเหลืองที่ทรีต calcium lignosulfonate	26
11	ผลของอุณหภูมิ และเวลาต่อปริมาณโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลาย และไลซีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ของถั่วเหลืองที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการอบคั่ว	29
12	ผลของอุณหภูมิที่ต่างกัน และระยะเวลาการเก็บให้ร้อนหลังการอบต่อปริมาณโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลาย และไลซีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ของถั่วเหลือง	30
13	ปริมาณโภชนะของกากถั่วเหลือง และถั่วเหลืองที่ใช้กระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน	31
14	Concentrate ingredient	37
15	องค์ประกอบทางคำนวณของสูตรอาหารทดลอง	38
16	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง	45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	สภาพแวดล้อมในกระเพาะหมักของแกะก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารทดลอง 4 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง	48
18	ปริมาณไขมันระเหยได้ง่ายภายในกระเพาะหมักก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารทดลอง 4 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง (เปอร์เซ็นต์)	50
19	ค่าทางชีววิทยาในเลือดของแกะก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารทดลอง 4 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง	53
20	ผลของอาหารทดลองต่อค่าสะสมไนโตรเจนในแกะ	54
21	น้ำหนักมีชีวิต (LW) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)	55

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างการผลิตและการตลาดถั่วเหลือง ปี 2550	6
2	โครงสร้างการผลิตและการตลาดกากถั่วเหลือง ปี 2550	7
3	การย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนในกระเพาะหมัก การเปลี่ยนแปลงในร่างกาย และการขับออก	16

ภาพผนวกที่

ก1	กระบวนการบีบน้ำมันถั่วเหลือง	70
ข1		74
ข2	ตรวจสภาพความพร้อมของเครื่อง พร้อมทั้งทำการอุ่นเครื่อง	74
ข3	การผสมวัตถุดิบอาหารและคลุกเล้าให้เข้ากัน พร้อมทั้งทำการเติมน้ำเพื่อปรับความชื้นให้เหมาะสม	75
ข4	เมื่อเข้ากันแล้วจากนั้นเปิดสวิตซ์ควบคุมการไหลของวัตถุดิบไปยังท่อกระบอกโลหะจนอาหารออกจากท่อกระบอกโลหะออกมามีลักษณะเป็นของหนืดเป็นเส้น	75
ข5	การใช้ใบมีดตัดอาหารให้สั้นลงเป็นท่อนเล็กๆ	75
ข6	ผึ่งให้แห้งเพื่อไล่ความชื้นออก	76
ข7	ลักษณะของเม็ดอาหารที่ผึ่งจนแห้งแล้ว	76
ค1	ระบบการจัดการ การให้อาหาร และน้ำ	78
ค2	การเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะ	78
ค3	แกะเจาะกระเพาะรูเมน	79
ค4	ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างปัสสาวะและมูลแกะทดลอง	79
ค5	การวิเคราะห์ทางเคมี	79
ค6	ชั่งน้ำหนักแกะ	80
ค7	การเจาะเลือด	80
ค8	การดูดของเหลวในกระเพาะหมัก	80
ง1	แสดงอุปกรณ์ขั้นตอน และวิธีการละลายโปรตีนในน้ำ	83
ง2	แสดงขั้นตอน อุปกรณ์และวิธีการวิเคราะห์หาไนโตรเจน (AOAC, 1990)	84

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของกากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการต่างๆในอาหารแกะ ต่อค่าสมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการผลิต

Effects of Different Processing Soybean Meal in Diet of Sheep on Nitrogen Balance and Productive Performance

คำนำ

ปัจจุบันการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก เช่น แพะ และแกะในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค เป็นเหตุให้ราคาแพะ และแกะเปลี่ยนแปลงขึ้นตามปริมาณแพะ และแกะที่เข้าสู่ตลาด ด้วยเหตุนี้รูปแบบการเลี้ยงแพะ และแกะจึงมีการพัฒนาเข้าสู่ระบบธุรกิจมากขึ้น คือ มีการวางแผนผลิตแพะ และแกะ และการขุนแพะ และแกะอย่างเป็นระบบ ในขณะเดียวกันเจ้าของธุรกิจก็ต้องอาศัยหลักวิชาการที่ถูกต้องในการบริหาร และการจัดการการเลี้ยงให้มีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าแก่การลงทุน ปัจจัยสำคัญต่อการเลี้ยงแพะ และแกะให้มีประสิทธิภาพสูงสุด คืออาหารโดยเฉพาะอาหารข้นที่มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว และต้นทุนการผลิตซึ่งมีสัดส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับต้นทุนทั้งหมด กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายที่สามารถใช้ได้ดีทั้งในสูตรอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว และสัตว์กระเพาะรวม เนื่องจากมีความสมดุลของกรดอะมิโนที่ดี และเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพงจนเกินไปเมื่อคิดต่อหน่วยโปรตีน แต่อย่างไรก็ตามการใช้กากถั่วเหลืองในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องมีข้อด้อย คือ องค์ประกอบโปรตีนจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักในอัตราที่ค่อนข้างเร็ว และในสัดส่วนที่สูงทำให้หากมีการใช้ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม หรือ ในสัดส่วนที่ไม่สมดุลกับแหล่งพลังงานจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการนำไปใช้ได้ของสัตว์ลดลง ทางแก้ปัญหาที่ดีอย่างหนึ่งก็ คือ การทำให้โปรตีนในกากถั่วเหลืองมีความสามารถในการทนทานต่อการถูกย่อยสลาย และสามารถรอดพ้นจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก หรือ ที่เรียกโปรตีนชนิดนี้ว่า บายพาสโปรตีน (by-pass protein) ซึ่งโปรตีนนี้เมื่อหลุดพ้นจากกระเพาะหมักแล้ว ก็จะถูกย่อยได้กรดอะมิโน และถูกดูดซึมได้ตามปกติที่ลำไส้เล็ก และสัตว์สามารถนำเอากรดอะมิโนดังกล่าวไปใช้สร้างผลผลิตได้ตามความต้องการ กากถั่วเหลืองที่ผ่านกรรมวิธีโดยการให้ความร้อน เช่น การเอ็กซทรูดเป็นวิธีการหนึ่งในการลดการถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และการนำกากถั่วเหลืองที่มีบายพาสโปรตีนสูงนี้มาเป็นแหล่งโปรตีนหลักในอาหารก็น่าจะเป็นวิธีการที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิการผลิตแพะ และแกะในประเทศไทยปัจจุบันได้ดี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของกากถั่วเหลืองที่มีการเพิ่มบายพาสโปรตีนโดยวิธีการเอ๊กซทรูดในอาหารแกะขุนต่อการหมักย่อยภายในกระเพาะหมัก และชีวเคมีของเลือด

2. เพื่อศึกษาผลของกากถั่วเหลืองเอ๊กซทรูดที่เป็นแหล่งโปรตีนหลักในอาหารแกะขุน ต่อค่าสมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการผลิตของแกะขุน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

พฤกษศาสตร์ของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองที่ปลูกเป็นการค้ามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max* (L.) Merrill อยู่ในวงศ์ (family): Leguminosae, วงศ์ย่อย (sub-family): Papilionoideae พืชในสกุล (genus) นี้ยังแบ่งออกไปอีกหลายชนิด (species) มีถิ่นกำหนดกระจายอยู่ตั้งแต่เอเชียตะวันออก และหมู่เกาะต่างๆในมหาสมุทรแปซิฟิค ไปจนถึงทวีปออสเตรเลีย (กรมวิชาการเกษตร, 2523)

ถั่วเหลืองเป็นพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจ มีการปลูกกันแพร่หลายในเขตร้อน และในเขตอบอุ่น ซึ่งในปัจจุบันนับได้ว่าถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมันที่มีพื้นที่เพาะปลูก และผลผลิตมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 45.94 และ 56.77 ของพืชน้ำมันทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ฝ้าย เรพซีด ถั่วลิสง และทานตะวัน

กากถั่วเหลือง (Soybean meal) เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในหมวดโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพสูง มีกรดอะมีโนจำเป็นหลายตัว และมีปริมาณมากที่สุดในโลก โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 5 ปีย้อนหลัง (ปี 2543-2547) ประมาณ 127.721 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 68.04 ของปริมาณการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์หมวดโปรตีนของโลก รองลงมาได้แก่ กากเรพซีด กากเมล็ดฝ้าย กากเมล็ดทานตะวัน กากถั่วลิสง และปลาป่น

กากถั่วเหลือง (Soybean meal) เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากเป็นโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพสูงรองจากปลาป่น ซึ่งมีปริมาณ กรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid) สูง คุณค่าทางอาหารของกากถั่วเหลืองที่นำมาเป็นอาหารสัตว์นั้นขึ้นอยู่กับความร้อนในขั้นตอนการผลิตของกากถั่วเหลือง ถ้ามีความร้อนที่พอเหมาะจะช่วยเพิ่มคุณค่าของโปรตีนที่มีประโยชน์ต่อสัตว์ กากถั่วเหลืองเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันถั่วเหลืองที่แยกเอาน้ำมันออก สำหรับกากถั่วเหลืองในประเทศไทยได้จากวิธีการผลิต 2 วิธี คือ

1. กากถั่วเหลืองที่ได้จากวิธีการอัดน้ำมัน (Expeller extracted, hydraulic extracted) กากถั่วเหลืองที่ได้จากวิธีนี้คือการนำเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วทำให้แตกก่อนแล้วทำให้แห้งโดยผ่านเข้าไปที่ถังทำความร้อนด้วยไอน้ำ เพื่อลดความชื้น แล้วส่งไปในเครื่องบีบอัดเพื่อเอาน้ำมันออกจากเมล็ดถั่วเหลือง เครื่องบีบอัดมีลักษณะเป็นลูกกลิ้งเหล็กทรงกระบอก 2 ลูกที่บังคับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ให้บีบเข้ามาอยู่ชิดติดกันด้วยแรงจากการขันสกรูหรือแรงจากไฮดรอลิค และตัวลูกกลิ้งเหล็กสามารถทำให้ร้อนขึ้นได้ในขั้นตอนการผลิต ในขณะที่กำลังบีบอัดนี้จะมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 183-302^0 F อัดนาน 3 นาที ที่ลูกกลิ้งพร้อมกันไปด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ถั่วเหลืองสุกและน้ำมันไหลออกจากเมล็ดถั่วเหลืองได้มากขึ้น น้ำมันที่ได้จากการอัดและกากถั่วเหลืองจะแยกออกจากกัน อุทัย (2529) กล่าวว่ากากถั่วเหลืองที่ได้จากวิธีนี้ ได้รับการให้ความร้อนที่ลูกกลิ้งและความร้อนจากการเสียดสีในกระบวนการบีบอัดน้ำมันเป็นความร้อนแห้ง ซึ่งความร้อนที่ได้นี้ไม่เพียงพอที่จะสามารถทำลายสารยับยั้งการทำงานของ Trypsin inhibitor ได้หมด

2. กากถั่วเหลืองที่ได้จากวิธีการสกัดน้ำมันด้วยสารเคมี (Solvent Extraction หรือ Extracted Solvent) วิธีนี้จะเลือกใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติละลายไขมัน (Solvent) ได้ดี เป็นตัวสกัดไขมันออกจากเมล็ดถั่วเหลือง เช่น Hexane เป็นต้น ข้อสำคัญสารเคมีตัวนี้จะต้องไม่มีพิษตกค้างและสามารถชะไขมันออกได้ 100 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลืองที่ได้จากการใช้สารละลายเอาน้ำมันออกจากเมล็ดถั่วเหลืองโดยใช้สารเฮกเซน (Hexane) เป็นตัวละลาย มีวิธีการสกัดเอาน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลืองออก ดังนี้ นำเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วไปทำการบดให้แตกก่อน จากนั้นผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 140^0 F ประมาณ 10 นาที เพื่อเป็นการกระตุ้นให้ Oil grand อยู่ในสภาพพร้อมที่จะละลายไขมันปนออกมากับ Solvent และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อให้สารเคมีซึมเข้าไปชะเอาไขมันออกมาได้มากที่สุด นำไปรีดให้เป็นแบนทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 113^0 F แล้วนำเข้าเครื่องสกัดน้ำมันสารเคมีเฮกเซน (Hexane) จะพ่นฝอยลงบนกากถั่วเหลืองที่แบนเพื่อชะเอาไขมันละลายปนลงไปด้วยกันอย่างต่อเนื่อง ในเวลาเดียวกันสารละลายไขมันจะถูกกลั่นแยกเอาสารเคมีออกจากน้ำมัน นำกลับมาใช้ใหม่ น้ำมันจะถูกแยกออกมา กากถั่วเหลืองจะถูกเฮกเซนพ่นชะเป็นจำนวนหลายรอบเป็นเวลานาน จนแน่ใจว่าไขมันถูกชะออกหมดแล้ว จึงนำกากถั่วเหลืองไประเหยเฮกเซนออกที่อุณหภูมิ 208^0 F นาน 10 นาที นำกากถั่วเหลืองไปทำให้สุกที่อุณหภูมิ 200^0 F เป็นเวลา 90 นาที ทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 100^0 F ประมาณ 10-20 นาที จะได้กากถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันด้วยสารเคมี ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดคือ กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันด้วยสารเคมีชนิดกะเทาะเปลือกออก และกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันด้วยสารเคมีชนิดไม่กะเทาะเปลือกออก อุทัย (2529) กล่าวว่า กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันด้วยสารเคมีได้รับความร้อนชื้นจากกระบวนการสกัดน้ำมันในปริมาณที่มากพอที่สามารถยับยั้งการทำงานของ Trypsin inhibitor ได้เกือบหมด

ลักษณะคุณภาพของกากถั่วเหลืองที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ควรเป็นกากถั่วเหลืองที่มีคุณภาพไม่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักพัฒนา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

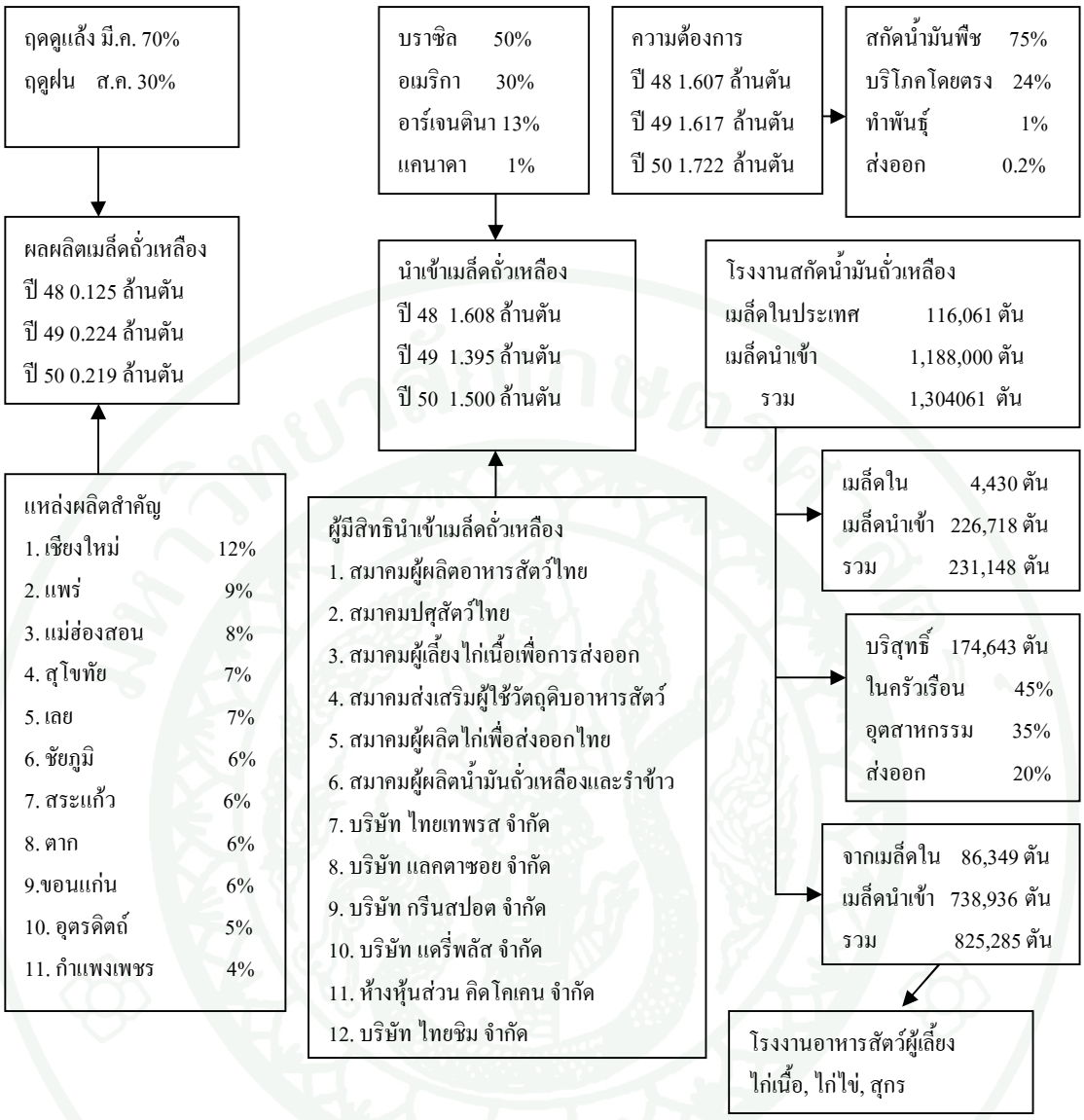
ระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์ (2548) ดังนี้ โปรตีนไม่น้อยกว่า ร้อยละ 42 ไขมันไม่มากกว่า ร้อยละ 7 กากไม่มากกว่า ร้อยละ 8 ความชื้นไม่มากกว่า ร้อยละ 13 และเถ้าไม่มากกว่า ร้อยละ 7

มาตรฐานกากถั่วเหลืองของสหรัฐอเมริกา Feedstuffs, circulation Department (1999) ซึ่งมีคุณภาพทางเคมีใกล้เคียงกับคุณภาพของกากถั่วเหลืองที่นิยมนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนี้

กากถั่วเหลืองที่ได้จากวิธีอัดน้ำมัน มีโปรตีนไม่น้อยกว่า ร้อยละ 42 ไขมันไม่มากกว่า ร้อยละ 3.5 กากไม่มากกว่า ร้อยละ 6.5 ความชื้นไม่มากกว่า ร้อยละ 11 เถ้าไม่มากกว่า ร้อยละ 6

กากถั่วเหลืองที่ได้จากวิธีสกัดน้ำมันด้วยสารเคมี มีโปรตีนไม่น้อยกว่า ร้อยละ 44 ไขมันไม่มากกว่า ร้อยละ 0.5 กากไม่มากกว่า ร้อยละ 7 ความชื้นไม่มากกว่า ร้อยละ 10

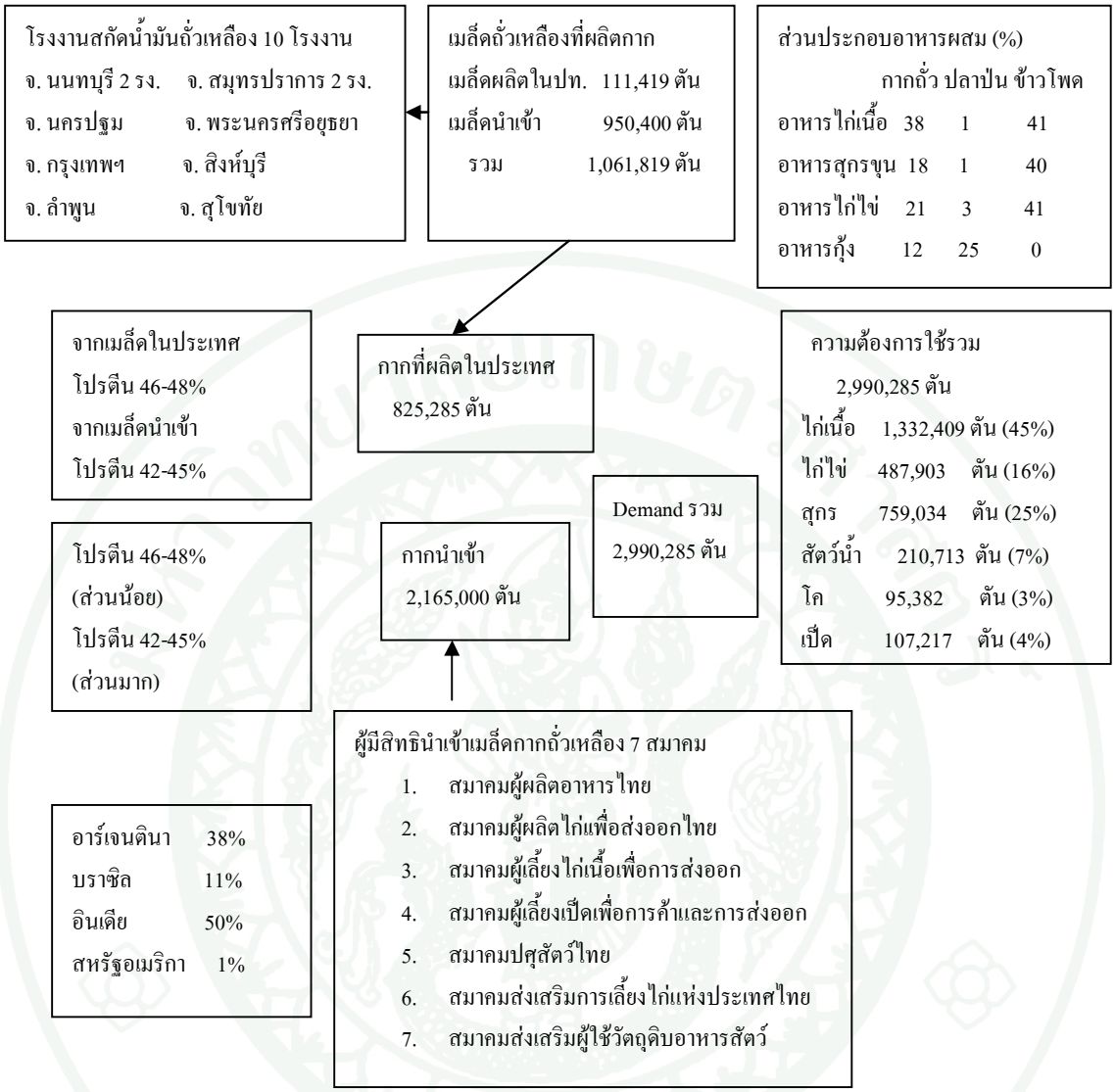
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 โครงสร้างการผลิตและการตลาดถั่วเหลือง ปี 2550

ที่มา: ธุรกิจอาหารสัตว์ (2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 โครงสร้างการผลิตและการตลาดกากถั่วเหลือง ปี 2550

ที่มา: ธุรกิจอาหารสัตว์ (2551)

เนื้อที่เพาะปลูก ในประเทศไทย ในปี 2551 รวมทั้งประเทศ 867,036 ไร่ ลดลง จากปีที่แล้ว 6,264 ไร่ หรือลดลงร้อยละ 0.72

ผลผลิต รวมทั้งประเทศ 214,308 ตัน เพิ่มขึ้นจากปีที่แล้ว 729 ตัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.34

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลผลิตต่อไร่ ทั้งประเทศ 260 กิโลกรัม เพิ่มขึ้นจากปีที่แล้ว 2 กิโลกรัม หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.82

ตารางที่ 1 ผลผลิตธัญพืชสำคัญของโลก (สถิติ มูลรวมของโลก) หน่วย: ล้านตัน

ผลผลิต	ปี 2547/48	ปี 2548/2549	ปี 25549/2550	ปี 2550/2551
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	714.76	696.36	703.85	769.31
ข้าวสาลี	626.83	621.66	593.66	602.31
ถั่วเหลือง	215.69	220.44	235.57	221.59
กากถั่วเหลือง	138.74	145.55	153.69	161.31
มันสำปะหลัง	203.16	203.06	208.51	214.09

ที่มา : ธุรกิจอาหารสัตว์ (2551)

ตารางที่ 2 ผลผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์ในประเทศ หน่วย: ล้านตัน

ผลผลิต	ปี 2547/48	ปี2548/49	ปี2549/50	ปี2550/51
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	4.216	3.943	3.716	3.602
กากถั่วเหลือง				
⊙ ผลิตในประเทศ	0.875	0.931	0.774	0.823
⊙ นำเข้า	1.262	1.881	2.174	2.165
ปลายข้าว	1.999	2.120	2.076	2.125
ปลาป่น	0.541	0.473	0.461	0.470
เมล็ดถั่วเหลือง				
⊙ ผลิตในประเทศ	0.223	0.215	0.220	0.213
⊙ นำเข้า	1.436	1.608	1.395	1.500
มันสำปะหลัง	16.94	22.58	26.41	27.62

ที่มา: ธุรกิจอาหารสัตว์ (2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 สถานการณ์การผลิตและนำเข้าเมล็ดถั่วเหลืองในระยะ 4 ปี (ล้านตัน)

	ปี 2548	ปี 2549	ปี 2550	ปี 2551
1) ผลผลิตโลก	215.689	220.438	235.573	221.592
2) ผลผลิตไทย	0.215	0.220	0.213	0.216
⊙ ถั่วฤดูแล้ง	0.137	0.148	0.143	0.143
⊙ ถั่วฤดูฝน	0.078	0.072	0.071	0.074
3) นำเข้า	1.608	1.395	1.360	1.500
4) ส่งออก	0.0012	0.0012	0.0018	0.0019
5) ความต้องการใช้	1.607	1.617	1.722	1.724

ที่มา: ธุรกิจอาหารสัตว์ (2551)

ผลผลิตถั่วเหลืองของโลก ปี 2551 คาดว่าจะมีประมาณ 221.592 ล้านตันลดลงร้อยละ 5.92 ประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก ได้แก่ บราซิล สหรัฐอเมริกา อาร์เจนตินา

กระบวนการแปรรูปเพื่อความต้องการใช้ประโยชน์ ประกอบด้วย

1. เพื่อการสกัดน้ำมันพืช ประมาณร้อยละ 70 ของความต้องการใช้รวม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลืองเพื่อใช้บริโภคและใช้อุตสาหกรรมต่อเนื่อง อาทิ สีทาบ้าน ปลาทูน่ากระป๋อง น้ำพริกเผา น้ำสลัด และ กากถั่วเหลืองใช้ในการผลิตอาหารสัตว์

2. เพื่ออุตสาหกรรมอื่นๆ ประมาณร้อยละ 30 ของความต้องการใช้ทั้งหมด ได้แก่ การผลิตอาหารสัตว์โดยการแปรรูปเป็นถั่วเหลืองนึ่ง (Full Fat Soy) ใช้ผสมอาหารสัตว์ การแปรรูปอาหาร ซึ่งมีผลิตภัณฑ์หลัก ได้แก่ แป้งถั่วเหลือง น้ำนมถั่วเหลือง เต้าหู้ ฟองเต้าหู้ ถั่วเหลืองงอก ซีอิ้ว เต้าเจี้ยว เต้าหู้ยี้ และถั่วเน่า

3. ใช้ทำพันธุ์ ประมาณร้อยละ 1

4. เพื่อการส่งออก ในแต่ละปีไม่มากนัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 สถานการณ์การผลิตและนำเข้ากากถั่วเหลืองในระยะ 4 ปี (ล้านตัน)

	ปี 2548	ปี 2549	ปี 2550	ปี 2551
ผลผลิตโลก	138.74	145.55	153.69	161.31
ผลผลิตไทย	0.931	0.774	0.823	0.824
⊙ จากเมล็ดในประเทศ	0.085	0.087	0.084	0.085
⊙ จากเมล็ดนำเข้า	0.846	0.687	0.739	0.739
กากถั่วเหลืองนำเข้า	1.881	2.174	2.002	2.005
การใช้ในประเทศ	2.815	2.949	2.992	2.998

ที่มา: ธุรกิจอาหารสัตว์ (2551)

ผลผลิตกากถั่วเหลืองของโลก ปี 2551 คาดว่าจะมีประมาณ 161.31 ล้านตันเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.96 ผู้ผลิตสำคัญรายใหญ่ของโลก ได้แก่ บราซิล อาร์เจนตินา อินเดีย

อุปสรรค และปัญหาการใช้กากถั่วเหลืองในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์

มีหลายประการแต่ที่สำคัญที่สุดคือ ยังขาดเสถียรภาพในด้านคุณภาพตามมาตรฐานในด้านปริมาณและราคา ดังนี้ คือ

1. คุณภาพของกากถั่วเหลืองนั้นมีส่วนสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเมล็ดถั่ว

2. กากถั่วเหลืองถ้าเอาเปลือกออกจะทำให้โปรตีนของกากสูงขึ้นถึงเกือบ 50% ซึ่งกากถั่วเหลืองที่มีเปลือกปนอยู่ด้วยจะมีโปรตีนประมาณ 40-45%

3. ในฤดูเก็บเกี่ยวหลังฤดูฝน จะมีฝนตกหนักปลายฤดู ทำให้เมล็ดถั่วมีเมล็ดลีบมากเกินไป ซึ่งนอกจากจะมีเชื้อรามาก และพิษจากเชื้อรามีปริมาณสูงแล้ว ยังจะทำให้โปรตีนในกากถั่วลดลงด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. สิ่งเจือปนในกากถั่วเหลืองมีมากเกินมาตรฐาน (3%) ซึ่งเนื่องจากถั่วเหลืองที่ซื้อขายกันในตลาดมีสิ่งเจือปน เช่น ทราย ดิน และอื่นๆ ประมาณ 4-5% บางครั้งก็มากกว่า ฉะนั้นการซื้อถั่วเหลืองของโรงงานอุตสาหกรรมจึงอยู่ในภาวะจำยอม จึงทำให้คุณภาพทั้งเมล็ดถั่วเหลืองและกากถั่วเหลืองไม่ได้มาตรฐาน

5. ในช่วงที่ราคาถั่วเหลืองในต่างประเทศสูง จะมีการร่อนถั่วเหลืองชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อเอาแต่เมล็ดโตแยกออกขายเพราะได้ราคาสูงกว่า ทำให้กากถั่วเหลืองซึ่งใช้ทำอาหารสัตว์มีเมล็ดลีบมาก เชื้อรามากและโปรตีนต่ำลง ซึ่งเสียหายแก่อุตสาหกรรมอาหารสัตว์

6. มาตรฐานกากถั่วเหลืองที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ควรมีความชื้นไม่เกิน 12% โปรตีนไม่ต่ำกว่า 44% สิ่งเจือปนไม่ควรเกิน 3% กากไม่เกิน 8%

7. ถั่วเหลืองพื้นเมืองชนิดเปลือกดำ (ไฮโอ) ควรส่งเสริมให้มีการปลูกมากขึ้นเพราะอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ใช้กากถั่วเหลืองดังกล่าวได้เช่นเดียวกับกากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. ชนิดต่างๆ เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกัน ความต้องการใช้กากถั่วเหลืองของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์เน้นหนักในเรื่องโปรตีนและมาตรฐานตามข้อ 6

8. ถ้าโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันพืชจะปรับปรุงกรรมวิธีการสกัดให้ได้กากถั่วซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้ที่มีราคาสูง ให้มีคุณภาพและได้มาตรฐานพอสมควรอย่างคงที่แล้ว โรงงานอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ก็จะได้กากถั่วเหลืองที่มีคุณภาพดีใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ให้มีคุณภาพและประสิทธิภาพ ช่วยให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์สามารถลดต้นทุนการเลี้ยงสัตว์ได้อีกมาก

9. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากถั่วเหลืองที่นำเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์เนื่องจากปริมาณที่ผลิตได้ในประเทศไม่พอกับความต้องการ มีค่าเฉลี่ยดังนี้

กากถั่วเหลืองจากบราซิลและสหรัฐอเมริกาชนิดไม่กะเทาะเปลือก

1. มีปริมาณโปรตีนอย่างน้อย	46% ขึ้นไป
2. มีความชื้นไม่เกิน	12%
3. มีกากไม่เกิน	6%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กากถั่วเหลืองจากอินเดียชนิดไม่กะเทาะเปลือก

1. มีปริมาณโปรตีนอย่างน้อย	45% ขึ้นไป
2. มีความชื้นไม่เกิน	8%
3. มีไขมันไม่เกิน	1%
4. มีกากไม่เกิน	8%

10. ผลการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบกากถั่วเหลืองที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันพืชในประเทศไทยตามกรรมวิธี 2 แบบ คือ Solvent Extraction และ Expeller Extraction มีส่วนประกอบได้ดังนี้

ความชื้นไม่เกิน	12%
โปรตีนไม่ต่ำกว่า	44%
สิ่งเจือปนไม่เกิน	3%

คุณภาพของโปรตีนเมล็ดถั่วเหลือง และกากถั่วเหลือง

คุณภาพโปรตีนพิจารณาจากการย่อยได้ รวมถึงปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid pattern) ทั้งนี้เพราะเมื่อโปรตีนถูกย่อยและถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกายสัตว์สามารถนำกรดอะมิโนไปใช้เพื่อการสร้างโปรตีนในร่างกายได้ แต่ถ้าโปรตีนชนิดนั้นย่อยได้ยาก อีกทั้งมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่เหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ โดยขาดกรดอะมิโนชนิดหนึ่งหรือหลายชนิด ก็จะทำให้สัตว์ไม่สามารถนำกรดอะมิโนตัวอื่นๆไปใช้สร้างโปรตีนได้ โดยทั่วไป 80% ของไนโตรเจนในตัวจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์โดยการใช้แอมโมเนีย ส่วนอีก 20% ใช้กรดอะมิโนโดยตรง ประมาณ 59% ของไนโตรเจนในอาหารจะถูกย่อยในกระเพาะหมัก ปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกย่อย 29% จะถูกใช้ประโยชน์ในรูปของกรดอะมิโน และอีก 71% จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนีย อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของชนิดของอาหาร โปรตีนแต่ละชนิด (บุญล้อม, 2546)

เมล็ดถั่วเหลืองดิบ มีโปรตีนประมาณ 38% แต่มีสารชนิดหนึ่งเรียกว่าสารยับยั้งทริปซิน (Trypsin inhibitor) ที่จะขัดขวางการย่อยโปรตีนโดย เอนไซม์ทริปซิน ทำให้สัตว์เจริญเติบโตช้าลง จึงต้องทำให้สุกเสียก่อน โดยใช้ความร้อน 110°C นาน 3 นาที ส่วนกากถั่วเหลืองมีเปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โปรตีนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขบวนการเอาน้ำมันออกมา เช่น การใช้วิธีการบีบหรืออัด (Hydraulic press or Expeller) จะได้กากถั่วเหลืองอัดน้ำมันมีโปรตีนประมาณ 42% มีไขมัน 4-5% ถ้าใช้วิธีการสกัดน้ำมันด้วยสารเคมี (Solvent extraction) จะได้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน มีโปรตีนประมาณ 45% มีไขมัน 1-2% มีแคลเซียม และฟอสฟอรัสต่ำ กากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบแหล่งอาหารเสริมโปรตีนจากพืชที่ดีที่สุด มีกรดอะมิโนเกือบทุกตัว (ตารางที่ 5)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 แสดงองค์ประกอบทางเคมี และกรดอะมิโนของกากถั่วเหลืองที่สกัดแบบ solvent และ expeller

องค์ประกอบ	สกัดแบบ SOLVENT (%)	สกัดแบบ EXPELLER (%)
โปรตีน (CP)	47.91[a]	46.13[a]
ไขมัน (FAT)	1.36[a]	5.28[a]
กาก (FIBER)	5.52[a]	5.89[a]
ความชื้น	11.52[a]	7.27[a]
เถ้า	6.63[a]	6.67[a]
Amino acid		
Arginine	3.21[b]	2.79[b]
Histidine	1.10[b]	1.02[b]
Isoleucine	1.86[b]	1.59[b]
Leucine	3.20[b]	2.86[b]
Lysine	2.77[b]	2.61[b]
Methionine	0.52[b]	0.53[b]
Phenylalanine	2.19[b]	1.90[b]
Threonine	1.82[b]	1.66[b]
Valine	1.86[b]	1.74[b]
Alanine	1.86[b]	1.74[b]
Aspartic acid	4.79[b]	4.36[b]
Cysteine	0.64[b]	0.66[b]
Glutamic acid	7.16[b]	6.66[b]
Glycine	1.82[b]	1.71[b]
Proline	2.56[b]	1.98[b]
Serine	2.32[b]	2.09[b]
Tyrosine	1.60[b]	1.30[b]

ที่มา: [a]รุจิรา (2547)

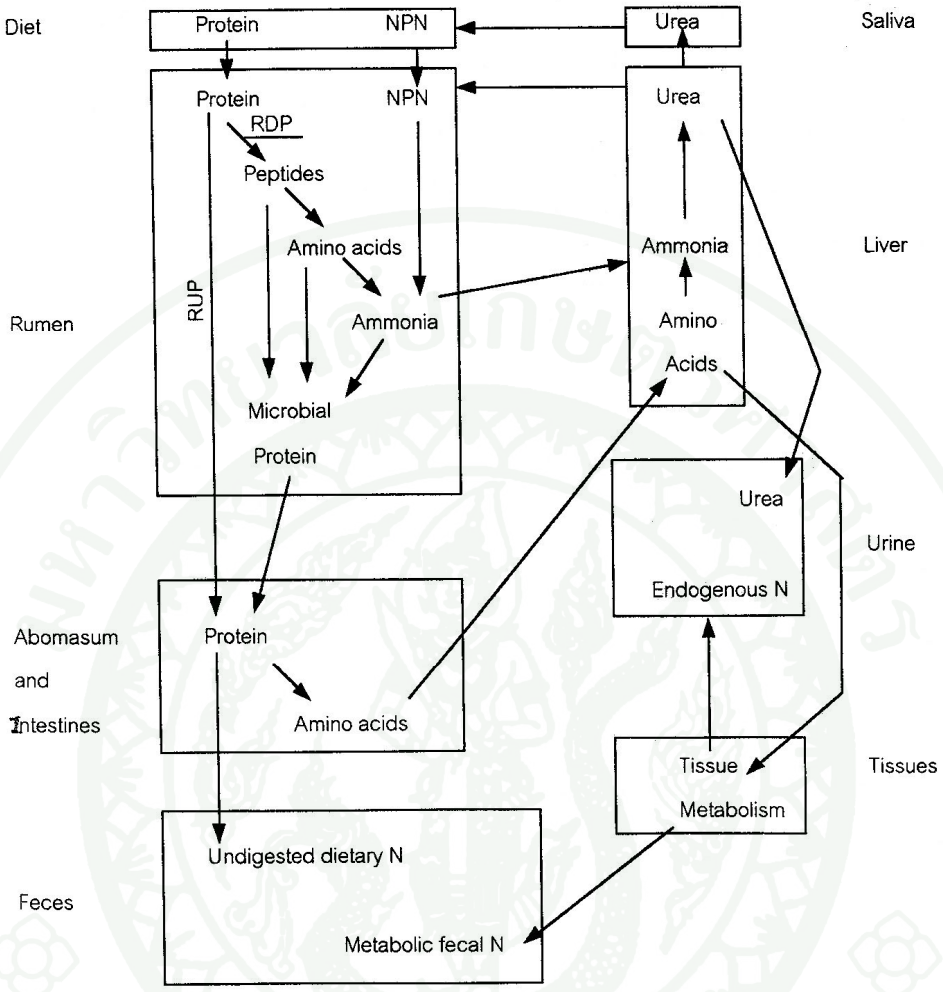
[b]Manitoba (2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การย่อยโปรตีนในกระเพาะหมัก

การย่อยสลายอาหารโปรตีนของสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้น คือเอนไซม์ที่หลั่งออกมาจากจุลินทรีย์ (extra cellular enzyme) จะทำให้โปรตีนจะถูกไฮโดรไลซ์ได้เปบไทด์สายสั้นๆ และกรดอะมิโน หลังจากนั้นขั้นตอนที่สองจะเกิดขบวนการ decarboxylation และ deamination ของกรดอะมิโนได้ผลผลิตสุดท้าย คือแอมโมเนีย (NH^{+}_{4}) กรดอินทรีย์ และคาร์บอนไดออกไซด์ โปรตีนที่ย่อยสลายง่าย (degraded protein)ในกระเพาะหมัก จะถูกย่อยสลายให้แก๊สแอมโมเนียออกมามาก (พันทิพา, 2547) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะใช้แอมโมเนียในการสังเคราะห์โปรตีนของตัวเอง เมื่อมีแหล่งคาร์บอนจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในอาหารอย่างเพียงพอ (นวลจันทร์ และสินชัย, 2544) จากนั้นโปรตีนจากจุลินทรีย์จะเคลื่อนสู่กระเพาะจริง (abomasum) และลำไส้เล็ก โดยผ่านขบวนการย่อยและการดูดซึมของสัตว์ต่อไป จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญและมีสัดส่วนมากที่สุดคือกลุ่มแบคทีเรีย (bacteria) ที่มีจำนวนถึง $10^{10\text{-}11}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตรของน้ำจากกระเพาะหมัก และกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของแบคทีเรียที่แยกได้ พบว่ามีความสามารถในการย่อยโปรตีนได้ (Cotta and Hespell, 1984; Wallace, 1996 อ้างโดยวิโรจน์, 2546) แบคทีเรียกลุ่มที่เข้าย่อยสลายโปรตีนจัดเป็นพวก proteolytic bacteria เช่น *Bacteroid amylophilus*, *Clostidium sporgens* เป็นต้น ซึ่งสามารถทำงานได้ในสภาพไร้ออกซิเจนโดยทำการปล่อย extracellular proteinase ออกมาย่อยสลาย (hydrolysis) พวก polypeptide ได้เป็นเพปไทด์สายสั้นๆ และกรดอะมิโนซึ่งขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ของแบคทีเรีย (Tamminga *et al*., 1979) จากนั้นเพปไทด์สายสั้นๆ และกรดอะมิโนจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ทำการย่อยสลายต่อภายในเซลล์ เพื่อให้ได้กรดอะมิโนไปสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ต่อไป อัตราการเคลื่อนไหวของอาหารจะมีผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนด้วยเหมือนกัน เพราะโดยปกติอาหารที่มีเยื่อใยสูงจะเดินทางผ่านทางเดินอาหารช้า แต่อาหารเหลวหรืออาหารข้นที่ละเอียดเกินไป หรือการที่ได้รับอาหารมากเกินไปจะเป็นสาเหตุให้อาหารผ่านทางเดินอาหารเร็ว ซึ่งเป็นผลเสียเพราะบางครั้งอาหารไม่ทันถูกย่อยหรือถูกดูดซึม ทำให้มีสารอาหารหลงเหลืออยู่มากสัตว์ดึงไปใช้ประโยชน์ได้น้อย (พันทิพา, 2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 การย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนในกระเพาะหมัก การเปลี่ยนแปลงในร่างกายและการขับออก

ที่มา: Lewis and Hill (1983)

โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายที่กระเพาะหมัก โดยจุลินทรีย์หรือโปรตีนไหลผ่านจะมีส่วนสำคัญ และเป็นประโยชน์กับตัวสัตว์ ในการเพิ่มปริมาณผลผลิตเพราะสัตว์ได้ใช้โปรตีนคุณภาพสูงโดยตรง (Nocek and Tamminga,1991) แต่เนื่องจากวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีนที่ใช้ประกอบสูตรอาหารข้นส่วนใหญ่จะถูกละลาย และย่อยสลายในกระเพาะหมัก ได้ในสัดส่วนที่สูง เป็นสาเหตุทำให้เกิดการขาดสมดุล ระหว่างอัตราการย่อยสลายโปรตีนกับอัตราการสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ ส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนออกไปจากกระเพาะหมัก (Tamminga and Jansman,1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยไนโตรเจนที่เกิดจากการย่อยสลายที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียจะดูดซึมผ่านทางผนังของกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือดลำเลียงไปที่ตับซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียก่อนที่จะถูกขับออกผ่านทางไตกับปัสสาวะ จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจะมีความสามารถในการย่อยโปรตีนจากวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดได้ไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 6 โดยวัตถุดิบบางชนิดจะถูกย่อยในกระเพาะหมักได้สูง ซึ่งผลผลิตส่วนใหญ่จะได้แอมโมเนีย แต่วัตถุดิบบางชนิดจุลินทรีย์จะย่อยได้ต่ำกว่า เป็นผลทำให้มีโปรตีนเหลือผ่านต่อไปสู่กระเพาะจริงและลำไส้เล็กของสัตว์ได้มากขึ้น โดยเรียกโปรตีนส่วนนี้ว่า โปรตีนที่ ไม่ถูกย่อยสลายที่กระเพาะหมัก (rumen undegradable protein, RUP) หรือ โปรตีนไหลผ่าน (by – pass protein) ทำให้สัตว์ได้รับกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นนอกเหนือจากโปรตีนจากจุลินทรีย์ ซึ่งมีผลดีในกรณีเมื่อสัตว์อยู่ในช่วงให้ผลผลิตสูง (นวลจันทร์ และสินชัย, 2544)

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักของวัตถุดิบอาหารต่างชนิด (%โปรตีนทั้งหมด)

วัตถุดิบอาหาร	%
โปรตีนจากพืช	
กากทานตะวัน	26
กากถั่วเหลือง	35
กากฝ้าย	43
กากเบียร์	49
โปรตีนจากสัตว์	
เนื้อกระดูกป่น	49
ปลาป่น	60
ขนไก่ป่น	71
เลือดป่น	82

ที่มา: Schwab (1994)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก

Rumen undegradable protein (RUP) หรือ undegraded intake protein (UIP) หรือ by – pass protein หมายถึง โปรตีนส่วนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักโดยจุลินทรีย์ (วิโรจน์, 2546) วัตถุดิบอาหารสัตว์มีคุณสมบัติของโปรตีนนี้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ประการ คือ

1. ระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาะหมัก ซึ่งมีผลมาจากอิทธิพลของอัตราการไหลผ่านของการย่อยจากกระเพาะหมัก (effect of passage rate) โดยที่อัตราการไหลผ่านของอาหารออกจาก reticulo-rumen จะมีผลต่อการย่อยได้ของอาหารในกระเพาะหมัก ถ้าอัตราการไหลผ่านเพิ่มขึ้นจะทำให้การย่อยได้ของอาหารในกระเพาะหมักลดลงทั้งนี้เพราะการย่อยมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักน้อยจุลินทรีย์จึงมีระยะเวลาในการเข้าย่อยสลายโปรตีนได้น้อยลง (นิรนาม, 2551)

2. ความสามารถในการละลายของโปรตีน โดยโปรตีนที่ละลายได้ หรือ soluble protein ที่เมื่อเข้าสู่กระเพาะหมัก โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถย่อยสลายโปรตีนในส่วนนี้ได้เลย ในพืชอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มีการละลายได้ของโปรตีนประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน ส่วนพืชหมักที่มีวัตถุแห้งต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์จะมีการละลายได้ของโปรตีนสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในกรณีเช่นนี้จะทำให้ค่าของ by - pass proteinในพืชอาหารสัตว์ลดลง (กรมปศุสัตว์, 2550)

ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์กระเพาะรวม โดยทั่วไปต้องการให้โปรตีนที่มีคุณภาพต่ำในอาหารถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักมาก และต้องการให้ โปรตีนคุณภาพดีไปถูกย่อยที่กระเพาะแท้ และลำไส้เล็กให้ได้เป็นกรดอะมิโน ซึ่งจะถูกดูดซึมนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อตัวสัตว์โดยตรง (บุญล้อม, 2541) ในปัจจุบันได้มีความสนใจในการใช้ by – pass protein กันมากขึ้นโดยพยายามหาวิธีที่เหมาะสมเพื่อให้ได้โปรตีนคุณภาพดีในอาหารที่มีการสลายตัวในกระเพาะหมักในอัตราที่เหมาะสม และทำให้มีโปรตีนไหลผ่านเพิ่มขึ้น โดยการทำให้โปรตีนทนต่อการย่อยสลายในกระเพาะหมักหรือที่เรียกว่า protected protein

การย่อยโปรตีนในลำไส้เล็ก

ลำไส้เล็กเป็นส่วนหนึ่งของทางเดินอาหารที่สำคัญในกระบวนการย่อยและดูดซึมโปรตีนในรูปของเพปไทด์และกรดอะมิโน สารประกอบไนโตรเจนจะเข้าสู่ส่วนของลำไส้เล็กโดยมาจากหลายแหล่ง แหล่งที่สำคัญคือ มาจาก abomasum หรือมาจากสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในน้ำดีหรือน้ำย่อยในตับอ่อนหรือมาจากการลอกหลุดของเยื่อบุอาหารในแต่ละวัน สารประกอบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไนโตรเจนเหล่านี้ส่วนใหญ่ ประมาณ 64-69 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ในรูปของกรดอะมิโน ดังนั้นจึงสามารถดูดซึมไปใช้ในลำไส้เล็กได้เลย ปริมาณของไนโตรเจนที่ผ่านมาในลำไส้จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อในอาหารมีสารประกอบโปรตีนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการเพิ่มของกรดอะมิโนที่ได้มาจากอาหารที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก เช่น by – pass protein โดยกรดอะมิโนจะถูกดูดซึมได้ดีที่ส่วนกลางของ jejunum หรือ ileum ส่วนท้าย โดยจะมีอัตราการดูดซึมสูงสุดที่ส่วนกลางของ jejunum (กฤษ, 2547)

วิธีการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลาย ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ปัจจุบันเทคนิคการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักของอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องมีหลายวิธี ได้แก่ เทคนิคทาง *in sacco* โดยการใช้ถุงไนล่อน (nylon bag technique) (Ørskov and McDonald, 1979) เทคนิคทาง *in situ* (dacron bag technique) (Nocek, 1985) ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นเทคนิคมาตรฐานที่ใช้ประเมินหาค่าโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก อย่างไรก็ตาม การใช้เทคนิคถุงไนล่อนใช้แรงงาน เวลาและทุนจำนวนมากอีกทั้งยังต้องมีสัตว์เจาะกระเพาะ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการทำเป็นงานประจำสำหรับห้องปฏิบัติการ (Mathis *et al*., 2001) ในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาวิธีการที่สามารถปฏิบัติเป็นงานประจำสำหรับห้องปฏิบัติการได้โดยทำในหลอดทดลอง (*in vitro*) เช่น เทคนิคการละลายได้ของโปรตีน (Susmel *et al*., 1993) และที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับของ NRC (2001) ในสหรัฐอเมริกาคือ เทคนิคการใช้เอนไซม์ซึ่งเป็นการใช้เอนไซม์โปรตีเอส (protease) จากหลายแหล่งด้วยกัน เช่น จากแบคทีเรียในกระเพาะหมัก (Mahadevan *et al*., 1987) บาซิลลัสซับติลิส (*Bacillus subtilis*) (Assoumani *et al*., 1992) โบรมีเลน (bromelain) (Tomonkava and Kopecny, 1995) และสเตรปโตรไมซีส- กรีเซียส (Streptromyces griseus) (Krishnamoothy et al.,1983)

วิธีการทรีตโปรตีนเพื่อลดการถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Methods of treating proteins to reduce their degradation in the rumen)

ในการทำให้โปรตีนทนต่อการย่อยสลายในกระเพาะหมักนั้น สามารถทำได้โดยใช้วิธีการใช้สารเคมี เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ แทนนิน และลิกโนซัลโฟเนต การใช้วิธีกระบวนการทางกายภาพโดยการเคลือบป้องกันโปรตีน หรือโดยวิธีการใช้ความร้อน เช่น การคั่ว การอบ เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้ให้ผลที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 สัดส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักของโปรตีนบางชนิด และกรรมวิธีที่ใช้ลดการถูกย่อยสลาย

ชนิดวัตถุดิบ	สัดส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลาย	กระบวนการลดการสลายตัว	สัดส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลาย
เคซีน(casein)	0.19	Treat ด้วย formaldehyde	0.72
ข้าวโพด	0.52	อบไอน้ำแล้วรีดเป็นแผ่น	0.68
กากฝ้าย	0.43	Treat ด้วย formaldehyde	0.64
กากเรพซีด	0.28	Protected	0.7
กากถั่วเหลือง	0.14	Treat ด้วย formaldehyde	0.8
กากถั่วเหลืองผ่านความร้อน 120 °C	0.59	ผ่านความร้อน 130 °C	0.71
		ผ่านความร้อน 140 °C	0.82

ที่มา: NRC (1988)

1. การทรีตด้วยสารเคมี (chemical treatment)

สารเคมีที่ใช้ป้องกันการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมักมีหลายชนิด แต่สารที่นิยมกันคือ ฟอร์มัลดีไฮด์ และแทนนิน สารเคมีที่ใช้ป้องกันโปรตีนไม่ให้ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักนั้น จะไปสร้างพันธะกับกรดอะมิโนที่บริเวณหมู่ amide ของโปรตีน จึงทำให้การละลายของโปรตีนภายใต้สภาวะ pH ในกระเพาะหมักลดลง แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้ย้อนกลับได้ พันธะดังกล่าวจึงถูกทำลายที่สภาวะเป็นกรดในกระเพาะแท้ของสัตว์ ทำให้โปรตีนถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Chalupa, 1974)

1.1 การทรีตด้วยสารแทนนิน

แทนนิน (tannin) เป็นสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) ซึ่งพบในส่วนต่างๆ ของพืชแทนนินสามารถละลายน้ำได้โดยมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 500 ถึง 5,000 และมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสามารถในการตกตะกอนโปรตีนได้ แทนนินแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ condensed tannins และ hydrolysable tannins แทนนินทั้ง 2 ชนิด มีคุณสมบัติแตกต่างกันตามลักษณะโครงสร้าง และปฏิกิริยาการเกิดแทนนินชนิดนั้นๆ condensed tannins หรือ proanthocyanidins เป็นแทนนินที่รวมตัวกันแน่น มีโมเลกุลตั้งแต่ 1,000 ขึ้นไป ประกอบด้วย polyhydric phenols ซึ่งเชื่อมกันเป็นโมเลกุลใหญ่ด้วยพันธะเดี่ยวของคาร์บอนอะตอม จึงไม่เกิดการไฮโดรไลซ์ แทนนินกลุ่มนี้เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของ flavan-3-ols (catechin และ epicatechin) พบได้ในส่วนเปลือก ต้น และแก่นไม้เป็นส่วนใหญ่ เป็นสารที่ไม่มีสี ตัวอย่างกลุ่มนี้ได้แก่ sorghum procyanidin ส่วน hydrolysable tannins เป็นแทนนินที่สลายตัวได้เมื่อทำการแยกด้วยน้ำ โดยเป็นเอสเทอร์ระหว่างน้ำตาลกับ polyphenoliccarboxylic acid เกิดพันธะเอสเทอร์ที่เรียกว่า depside linkage ทำให้ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด ด่าง และเอนไซม์บางชนิด สารตั้งต้นในการสังเคราะห์แทนนินกลุ่มนี้ ได้แก่ gallic acid, ellagic acid และ glucose เป็นต้น พบมากในส่วนใบ และผล ตัวอย่างแทนนินกลุ่มนี้ gallotannins (Kumar and D'Mello, 1995; Hagerman, 2002)

จากการศึกษาของ Kumar and D'Mello (1995) พบว่า การรวมตัวกันของแทนนินและโปรตีนเป็นการจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (H-bond) ระหว่างกลุ่ม phenolic ของแทนนินกับกลุ่ม ketoimide ของโปรตีน และโดย hydrophobic interaction ระหว่างโครงสร้างที่เป็นวงแหวนของแทนนินกับส่วนที่เป็น hydrophobic ของโปรตีน กระบวนการในการรวมตัวกันของแทนนินและโปรตีน เป็นกระบวนการที่สามารถผันกลับได้ง่าย โดยโปรตีนที่มีขนาดใหญ่จะจับกับแทนนินได้แน่น การสลายตัวของ tannin – protein complex ในกระเพาะแท้ของสัตว์กระเพาะรวม เกิดได้ในสภาพ pH ต่ำกว่า 3 และสูงกว่า 8 (Broderick *et al*., 1991) ได้เป็นโปรตีน และ free tannin สภาวะภายในกระเพาะแท้ของสัตว์มี pH 2.5-3.5 มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพของ tannin – protein complex โดยทำให้โปรตีนถูกทำลายจนเสียสภาพ และคลายพันธะที่จับกับแทนนิน หลังจากนั้นโปรตีนจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ในกระเพาะแท้ กลไกของการสลายตัวของ tannin – protein complex นี้ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (โค) มีความแตกต่างจากสัตว์กระเพาะเดี่ยวโดยจะมีการผลิต proline – rich protein (PRP) ในน้ำลาย (Mehansh *et al*., 1987) ซึ่งโคเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีการผลิตน้ำลายเป็นจำนวนมาก ทำให้มี PRP มากพอที่จะไปจับกับ tannin – protein complex ในขณะที่มีการเคี้ยวเอื้องและอยู่ในกระเพาะหมัก และเมื่อ tannin – protein complex เกิดการแตกตัวที่กระเพาะจริงจึงมีส่วนช่วยลดพิษของ free tannins ที่แตกตัว เพราะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีเสถียรภาพสูง ส่วนโปรตีนที่แตกตัวจะถูกย่อยและไปใช้ประโยชน์ต่อไป ส่งผลให้สามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้มากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากรายงานของ Getachew *et al*. (2008) ที่ได้ศึกษาผลการใช้แทนนินที่ผลิตทางการค้า 3 ชนิด คือ GA ; gallic acid, QT ; queracho tannin และ TA ; tannic acid ดังแสดงในตารางที่ 8 ที่มีต่อปริมาณโปรตีนที่สลายตัวในกระเพาะหมัก โดยใช้กระเพาะหมักจำลอง (*in vitro* rumen degradability of protein, IVRDP) พบว่าการสลายตัวของโปรตีนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อใช้ QT และ TA ในปริมาณที่มากขึ้น ($P<0.001$) โดยทำให้มี IVRDP สูงขึ้น ส่วน GA ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อ IVRDP นอกจากนี้ค่าปริมาณแก๊สแอมโมเนีย (NH_4-N, mg) ที่วัดได้ ที่บ่งบอกถึงการสลายตัวของโปรตีนในกระเพาะหมัก มีความสัมพันธ์กับระดับของแทนนินบางชนิดที่เพิ่มขึ้นกล่าวคือ เมื่อแทนนินชนิด TA และ QT เพิ่มขึ้นในปริมาณเล็กน้อย (50 g/kg DM) สามารถลดแอมโมเนียได้ (โปรตีนสลายตัวน้อยลง) แต่ GA ต้องใช้ในปริมาณที่สูงกว่า (มากกว่า 150 g/kg DM) จึงจะให้ผลเช่นเดียวกัน ชี้ให้เห็นว่า TA และ QT สามารถลดแอมโมเนียได้ดี ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีTA และQTในการช่วยป้องกันการสลายตัวของโปรตีนในกระเพาะหมักการเสริมแทนนินสังเคราะห์ ที่ระดับ 50 – 150 g/kg DM มีผลช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนไหลผ่านจากร้อยละ 40 เป็น 55 มากกว่าการไม่เสริมที่มีค่าร้อยละ 30

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 การย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลอง (IVRDP, 24 h) NH_4^+-N (mg, 24 และ 72 h) ของถั่วอัลฟาฟ่าแห้งที่ได้รับแทนนินชนิดต่างๆในระดับที่แตกต่างกัน

แทนนิน		ระดับของแทนนิน (g/kg DM)			
		0	50	100	150
GA	IVRDP (hr. 24)	0.706	0.736	0.73	0.809
	NH_4^+-N, mg (hr. 24)	7.715	7.733	7.650	7.851
	NH_4^+-N, mg (hr. 72)	3.40	3.43	3.35	3.28
QT	IVRDP (hr. 24)	0.706^{c}	0.613^{b}	0.494^{a*}	0.451^{a*}
	NH_4^+-N, mg (hr. 24)	7.715	6.711	6.029	5.701
	NH_4^+-N, mg (hr. 72)	3.40^{d}	2.99^{c}	2.35^{b}	1.66^{a}
TA	IVRDP (hr. 24)	0.706^{b}	0.610^{a*}	0.529^{a*}	0.365^{a*}
	NH_4^+-N, mg (hr. 24)	7.715	6.730	6.101	5.327
	NH_4^+-N, mg (hr. 72)	3.40^{d}	2.93^{c}	2.52^{b}	1.82^{a}

หมายเหตุ ^{a,b,c,d} อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$), * = ($P<0.001$)

GA: gallic acid; QT: queracho tañí; TA: tannic acid

ที่มา: Getachew *et al*. (2008)

1.2 การทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์

ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) เมื่อทำปฏิกิริยากับโปรตีนจะกลายเป็นสารประกอบเมไธลอล (methylol) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้เกิดการจับกันแบบ methylene cross linkage ระหว่างหรือภายในสายโซ่ของโปรตีนซึ่งจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักไม่สามารถย่อยได้ (บุญล้อม, 2546) จากงานทดลองของ Amos *et al.* (1974)ได้ทำการศึกษาการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระดับ 1.1 เปอร์เซ็นต์ในการทรีตกากถั่วเหลืองและกากเมล็ดทานตะวัน พบว่า ค่าสัมประสิทธ์การย่อยได้ของโปรตีนและเซลลูโลสในกากถั่วเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 9 และจากการศึกษาของ ภมร (2546) ได้ทำการใช้กากถั่วเหลืองทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 0.3 เปอร์เซ็นต์เป็นอาหารโคนม โดยใช้กากถั่วเหลือง 7 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหารข้น เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปกติและปลาป่น พบว่า ปริมาณน้ำนมและนมที่ปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ของโคทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าโคกลุ่มที่ได้รับกากถั่วเหลืองทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์และกลุ่มที่ได้รับปลาป่นให้ผลผลิตน้ำนมสูงกว่ากลุ่มควบคุม

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพการย่อยได้ของกากเมล็ดทานตะวันและกากถั่วเหลืองที่มีการทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์และไม่ได้ทรีตเสริมในอาหาร

ส่วนประกอบ	ประสิทธิภาพการย่อยได้			
	กากถั่วเหลือง	กากถั่วเหลืองที่ทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์	กากเมล็ดทานตะวัน	กากเมล็ดทานตะวันที่ทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์
โปรตีน	56.90[a]	37.80[b]	59.20[a]	58.80[a]
เซลลูโลส	35.30[a]	31.90[b]	44.20[b]	39.20[b]
วัตถุแห้ง	66.20	59.90	66.20	64.80

หมายเหตุ [a, b] อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ที่มา: Amos *et al.* (1974)

1.3 การทรีตด้วยลิกโนซัลโฟเนต

ลิกโนซัลโฟเนต (lignosulfonate) เป็นสารที่ได้ระหว่างกระบวนการย่อยซัลไฟต์ (sulfite digestion) ของไม้ ซึ่งทำให้เกิดของเหลวซัลไฟต์ที่ประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส น้ำตาล และกรดลิกโนซัลโฟนิกหรือเกลือของกรด การใช้สารลิกโนซัลโฟเนตเพื่อเพิ่มโปรตีนไหลผ่านในกากถั่วเหลือง ได้สันนิษฐานในเบื้องต้นว่าสารลิกนินที่พบในของเหลวซัลไฟต์น่าจะเป็นตัวป้องกันไม่ให้โปรตีนถูกย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แต่อย่างไรก็ตาม นอกเหนือจากลิกโนซัลโฟเนตแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง คือความร้อนที่ใช้และปริมาณน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบ เช่น ไซโลส (xylose) ก็มีความสำคัญต่อการป้องกันไม่ให้โปรตีนถูกย่อยได้ในกระเพาะหมักเช่นกัน (Winowiski and Stern, 1987) การศึกษาเปรียบเทียบการใช้กากถั่วเหลืองทรีตด้วยลิกโนซัลโฟเนต (lignosulfonate-treated soybean meal; LSBM) เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน (solvent

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

soybean meal; SSBM) พบว่า กากถั่วเหลืองทรีตด้วยลิกโนซัลโฟเนต (LSBM) มีค่าโปรตีนที่ละลายได้ทันทีลดลงจาก 21 เป็น 7% ค่าโปรตีนที่ไม่ละลายเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 31% ค่าของไนโตรเจนที่ไม่สลายตัวในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นจาก 50% เป็น 81% เมื่อทำการบ่มในกระเพาะหมักเป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง แต่ค่าการย่อยได้ที่ลำไส้เล็กของไนโตรเจนที่ไม่สลายตัวในกระเพาะหมักลดลงจาก 82.5 เป็น 78.5% และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการผลิต พบว่าผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นจาก 33.0 เป็น 33.6 กิโลกรัมต่อวัน โปรตีนนมเพิ่มขึ้นจาก 1.012 เป็น 1.035 กิโลกรัมต่อวัน (Awawdeh *et al*., 2007) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการการศึกษาของ Borucki *et al*.(2007) โดยพบว่าส่วนของโปรตีนที่ละลายได้ลดลงจาก 9.9 เป็น 7.4% ส่วนของโปรตีนที่ละลายได้ช้าเพิ่มขึ้นจาก 87.0 เป็น 88.4% โดยมีอัตราการสลายตัวลดลงจาก 0.105 เป็น 0.044% ต่อชั่วโมง

การวัดอัตราการย่อยสลายของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน (SSBM) เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองทรีตด้วย backer' yeast (SSBM treat with 0.05% backer' yeast; YSBM), กากถั่วเหลืองบีบน้ำมัน (ESBM) และกากถั่วเหลืองทรีตด้วยลิกโนซัลโฟเนต (LSBM) ในอาหารโคนม พบว่าการละลายได้ของโปรตีนลดลงยกเว้นกากถั่วเหลืองบีบน้ำมัน (ESBM) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่ใช้ด้วย ส่วนการย่อยได้ในลำไส้เล็กของไนโตรเจนที่ไม่สลายตัวมีค่าใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 ค่าการประเมินจากการถูกย่อยสลายได้ของโปรตีนกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน (SSBM) กากถั่วเหลืองทรีตด้วย backer' yeast (YSBM) กากถั่วเหลืองบีบน้ำมัน (ESBM) และกากถั่วเหลืองทรีตด้วยลิกโนซัลโฟเนต (LSBM)

Item	SSBM	YSBM	ESBM	LSBM
Instantly degraded N (%)	21.00	11.0	25.00	7.00
Slowly degraded protein fraction (%)	78.00	89.00	70.00	61.00
Completely undegraded protein fraction (%)	0.00	0.00	4.00	31.00
Intestinal digestibility				
RUN (%, 16h ruminal incubation in situ)	47.70	83.00	55.50	81.50
Intestinal digestibility (% of RUN)	82.50	80.00	85.90	78.50

หมายเหตุ RUN = rumen undegradable nitrogen
SSBM = กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน
YSBM = กากถั่วเหลืองทรีตด้วย backer' yeast 0.05%
ESBM = กากถั่วเหลืองบีบน้ำมัน
LSBM = กากถั่วเหลืองทรีตด้วยลิกโนซัลโฟเนต

ที่มา: Awawdeh *et al*. (2007)

2. การทรีตโดยกระบวนการทางกายภาพ (physical treatment)

2.1 การเคลือบโปรตีน (protein encapsulation)

เป็นการป้องกันโดยกระบวนการทางกายภาพสามารถทำได้โดยการเคลือบ (encapsulation)โปรตีนด้วยแคปซูลต่างๆ และอาจเคลือบด้วยไขมัน หรือเคลือบด้วยเลือดป่นเพื่อป้องกันการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก (pH 6) แต่มีการละลายและแตกตัวถูกดูดซึมที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น (pH 3) (Schwab,1995)โดยวิธีการนี้ไม่เป็นที่นิยมทำกับอาหารโปรตีนเนื่องจากกระบวนการมีราคาแพง แต่นิยมทำกับกรดอะมิโนอิสระที่ต้องการโดยเฉพาะเมทไธโอนีนและไลซีน เนื่องจากเป็นกรดอะมิโนที่มีปริมาณต่ำในพืชอาหารสัตว์ โดยเมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่สัตว์เคี้ยวเอื้องมักแสดงอาการขาดเป็นอันดับแรก ส่วนไลซีนเป็นกรดอะมิโนที่มักแสดงอาการขาดเป็นอันดับสอง ซึ่งล้วนแต่มีบทบาทต่อการให้ผลผลิตน้ำนม และเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนในนม จาก

การทดลองเสริม ruminal protected lysine and methionine (RPLM) 50 กรัมต่อวันในรูปแคปซูล (protected L-Lys*HCl 19 กรัมต่อวันและ DL-Met 6.5 กรัมต่อวัน) พบว่ามีผลทำให้โปรตีนในนม ไขมันนมพลังงานในน้ำนม และคะแนนร่างกายของโคเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Robinson *et al.,* 1995)

2.2 การทรีตด้วยความร้อน (heat treatment)

ในการทำให้โปรตีนทนต่อการย่อยสลายในกระเพาะหมัก โดยวิธีการให้ความร้อนที่เหมาะสม เช่น การคั่ว อบ หรือ นำวัตถุดิบมาผ่านขบวนการเอ็กซทรูดนั้น ช่วยป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมักได้ โดยความร้อนจะทำให้โปรตีนเสียสภาพ และเกิดปฏิกิริยาเมลาร์ด (maillard reaction) (Broderick *et al.*, 1991) ระหว่าง carbonyl group ของน้ำตาล กับกรดอะมิโน เกิดเป็น amino-sugar complex (Wang *et al*., 1999) โดยทำให้โปรตีนเกิดการเกาะกัน เป็นผลทำให้ลดพื้นที่ที่เอนไซม์เข้าย่อยได้ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนและแป้งหลังจากได้รับความร้อน จะส่งผลกระทบต่อการย่อยสลายในกระเพาะหมัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ได้รับ ระยะเวลา และความชื้นที่อยู่ในกระบวนการผลิต (Stern *et al.,* 1985) ในส่วนของขนาด และเปลือกหุ้มเมล็ดพืชจะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและความชื้นระหว่างกระบวนการผลิต (Goelema *et al.,* 1997) โดยปกติแล้ว การให้ความร้อนที่มากเกินไปจะไปลดประสิทธิภาพการย่อยได้ของกรดอะมิโนที่บริเวณลำไส้ (Van Soest, 1994) ดังนั้น การให้ความร้อนในระดับที่เหมาะสมในการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ดีขึ้น และความร้อนยังช่วยทำลายสารพิษที่ยับยั้งการใช้โภชนะที่สำคัญอีกด้วย

วิธีการให้ความร้อนและแปรรูป เพื่อการผลิตและเพิ่มคุณภาพวัตถุดิบอาหารโปรตีน เช่น ถั่วเหลืองที่ใช้ในวงการอาหารสัตว์โดยทั่วไป (De Schutter and Morris, 1990) ได้แก่

2.2.1 คั่วหรืออบ (roasting) เป็นการเคลื่อนของถั่วเหลืองที่ผ่านตู้อบ ที่หมุนอยู่ตลอดเวลา (rotating chamber) ถั่วเหลืองจะสัมผัสกับเปลวไฟโดยตรงที่อุณหภูมิประมาณ 140 °C เป็นระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 3-5 นาที อุณหภูมิของถั่วที่ออกจากห้องอบอยู่ที่ประมาณ 125 °C

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการศึกษาของ Faldet and Satter (1991) พบว่า ตัวอย่างถั่วเหลืองที่ผ่านการอบร้อนจากผู้ผลิต 13 รายในสหรัฐอเมริกา มีโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักอยู่ในช่วง 36-58% ของโปรตีนรวม โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 48% ความเข้มข้นของไลซีนทั้งหมดเพื่อการดูดซึมไปใช้

ในลำไส้เล็ก มีค่าระหว่าง 2.1-2.4% ปริมาณที่ลดลงของไลซีนในถั่วเหลืองอบเป็นผลมาจากการอบร้อนที่อุณหภูมิสูงเกินไป Faldet and Satter (1992a) ศึกษาต่อไปถึงวิธีทดสอบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการให้ความร้อนถั่วเหลืองระหว่างการคั่วอบ โดยการคั่วที่อุณหภูมิต่างกัน ในระยะเวลาที่ต่างกัน และวิเคราะห์การย่อยสลายได้ของโปรตีนในหลอดแก้ว (*in vitro* protein degadability) และปริมาณไลซีนที่นำไปใช้ได้ (NAL, natrition availiable lysine) พบว่าการให้ความร้อนในระยะเวลาที่ต่างกัน เช่น 140 °C เป็นเวลา 120 นาที, 150 °C เป็นเวลา 69 นาที หรือ 160 °C เป็นเวลา 30 นาที มีผลทำให้ถั่วเหลืองอบมีค่าการป้องกันการถูกย่อยสลายของโปรตีนอยู่ในระดับที่เหมาะสมหรือใกล้เคียงดัง แสดงในตารางที่ 11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อปริมาณโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายและไลซีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ของถั่วเหลืองที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการอบคั่ว

การใช้ความร้อน		โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลาย (%CP)	ไลซีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ (%DM)	ไลซีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้หลังผ่านกระเพาะหมัก (%DM)
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)			
0	0	29.70	2.43	0.72
100	60	36.70	2.27	0.83
	180	38.70	2.21	0.86
130	60	38.20	2.36	0.90
	180	48.00	2.14	1.03
140	10	33.90	2.44	8.30
	30	43.90	2.20	0.97
	60	49.40	2.17	1.07
	90	55.00	2.01	1.11
	120	59.20	1.89	1.12
150	10	36.60	2.39	0.88
	30	42.40	2.19	0.93
	60	58.40	1.99	1.16
	90	64.20	1.56	1.00
160	10	37.40	2.33	0.87
	30	53.20	2.07	1.10
	60	72.00	1.41	1.02
	90	71.10	1.14	0.87

ที่มา: Faldet *et al*. (1992a)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการเก็บถั่วเหลืองให้ร้อนต่อไปเป็นเวลา 0, 15 หรือ 30 นาที ก่อนทำให้เย็นลงหลังการคั่วอบ พบว่า อุณหภูมิที่ต่างกันเมื่อคั่วอบและเวลาการเก็บให้ร้อนต่อไป (steeping) หลังการอบมีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลาย และปริมาณไลซีนที่ใช้ประโยชน์ได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลของอุณหภูมิที่ต่างกันและระยะเวลาการเก็บให้ร้อนหลังการอบต่อปริมาณโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายและไลซีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ของถั่วเหลือง

อุณหภูมิที่ใช้ (°C)	ระยะเวลาในการเก็บให้ร้อน (นาที)	โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลาย (%CP)	ไลซีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ (%DM)	ไลซีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้หลังผ่านกระเพาะหมัก (%DM)
0	0	33	2.80	0.92
110	0	34	3.20	1.09
	30	39	3.05	1.22
123	0	40	3.06	1.22
	30	44	2.87	1.26
135	0	46	2.95	1.36
	30	55	2.88	1.58
146	0	57	2.77	1.58
	15	63	2.62	1.65
	30	61	2.86	1.74
153	30	65	2.39	1.55
160	30	66	2.18	1.44

ที่มา: Faldet *et al*. (1992b)

วัตถุประสงค์ของการเก็บความร้อน (steeping) หลังการคั่วหรืออบ เพื่อให้ความร้อนสามารถเข้าสู่เนื้อของถั่วเหลืองได้อย่างทั่วถึงอย่างสม่ำเสมอ Faldet *et al*. (1992b) รายงานว่าการเก็บถั่วเหลืองให้ร้อนต่อไปอย่างน้อย 30 นาทีหลังการอบคั่ว ทำให้โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายเพิ่มขึ้นเป็น 61% เมื่อเทียบกับถั่วอบที่ถูกทำให้เย็นทันทีที่มีค่า 57% ในขณะที่ไลซีนที่ใช้ประโยชน์ได้มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าสูงสุดในถั่วเหลืองที่อบแล้วเก็บให้ร้อนต่อเนื่องมีค่าระดับกลางในถั่วเหลืองอบที่ทำให้เย็นทันที และมีค่าต่ำสุดในถั่วเหลืองดิบ (1.23, 1.10 และ 0.59% ของวัตถุแห้ง) ตามลำดับ จากผลการศึกษานี้ คณะผู้วิจัยได้สรุปแนะนำว่าถั่วอบที่อุณหภูมิประมาณ 146 °C แล้วเก็บให้ร้อนต่ออีก 30 นาที น่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มค่าโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายของถั่วเหลือง

2.2.2 Expeller processing เป็นวิธีการอัดบีบน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมันเช่น ถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน และเมล็ดปาล์มน้ำมันเป็นต้น วิธีการเริ่มต้นจากการกระทำความสะอาดเมล็ด บดให้แตกและทำให้แห้ง จากนั้นนำเข้าเครื่องเพื่อให้ความร้อนก่อนส่งเข้าเครื่องบีบอัดน้ำมัน เพื่อการอัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชด้วยแรงอัด เมล็ดที่บีบน้ำมันออกแล้วจะอยู่ในรูปเป็นแผ่น (flakes) และถูกบดให้มีขนาดเล็กลงเป็นผลพลอยได้ที่เรียกกากพืชน้ำมัน เช่น กากถั่วเหลือง เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ต่อไป

ขั้นตอนการบีบอัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืช เป็นวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการใช้ความร้อนเป็นผลทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลาร์ดเช่นกันกับการคั่วหรืออบร้อน กากถั่วเหลืองที่ได้จากเครื่องบีบอัดน้ำมัน (expeller) ประกอบด้วยโปรตีน 42-46% และไขมัน 4.5-6% ของน้ำหนักสด (ตารางที่13)

ตารางที่ 13 ปริมาณโภชนะของกากถั่วเหลืองและถั่วเหลืองที่ใช้กระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

	CP %DM	UIP %CP	EE %DM	NE_L Mcal/kg	NE_g Mcal/kg
ถั่วเหลืองดิบ	40.30	25.00	18.80	2.11	1.64
ถั่วเหลืองที่ใช้ความร้อน	40.30	66.00	20.00	2.18	1.64
กากถั่วเหลืองที่ใช้สารเคมีสกัด	55.10	34.00	1.00	2.01	1.48
กากถั่วเหลือง expeller	48.30	60.00	5.10	2.07	1.45
กากถั่วเหลืองที่ใช้ลิกโนซัลโฟเนต	53.40	73.50	1.50	1.95	1.43

หมายเหตุ CP = โปรตีน, UIP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลาย, EE = ไขมัน, NE_L = พลังงานสุทธิสำหรับช่วงการให้นม, NE_g = พลังงานสุทธิสำหรับการเจริญเติบโต

ที่มา: Chunjian and Limin (1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Brodrick (1986) ได้ศึกษาเปรียบเทียบกากถั่วเหลืองที่ได้รับจากขบวนการบีบอัดน้ำมันและกากถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดน้ำมันโดยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) พบว่าขบวนการบีบอัดน้ำมันลดการละลายได้ของไนโตรเจน ทำให้เพิ่มส่วนประกอบโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ค่าการละลายได้ของไนโตรเจน ค่าอัตราการย่อยสลายได้ของไนโตรเจนในห้องปฏิบัติการ และค่าประมาณของโปรตีนไหลผ่านมีค่า 6.44%, 3.40%/h และ 64% สำหรับกากถั่วเหลืองจากขบวนการบีบอัด และ 27.22%, 9.5 %/h และ 39% สำหรับกากถั่วเหลืองจากการสกัดโดยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ผลที่ได้นี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการศึกษาของ Walz and Stern (1989) ที่ทดสอบโดยใช้ระบบการหมักย่อยจำลองในห้องปฏิบัติการที่รายงานว่ากากถั่วเหลืองจากขบวนการบีบอัดน้ำมันมีค่าอัตราการย่อยสลายได้ที่ต่ำกว่า กากถั่วเหลืองจากขบวนการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย เมื่อใส่กากกั่วเหลืองจากการบีบอัดน้ำมันแทนที่กากถั่วเหลืองจากการสกัดน้ำมันที่ใช้ตัวทำละลายในอาหารที่เติมลงในระบบการหมักย่อยจำลอง พบว่าการย่อยสลายโปรตีนและประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนลดลง ประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนที่ลดลงนี้ เป็นผลมาจากการมีค่าการละลายได้ของไนโตรเจนในอาหารลดลงนั่นเอง

2.2.3 Extrusion เป็นกระบวนการผลิตที่มีการหมุน ผลัก พาวัตถุดิบให้ไหลไปตามแนวสกรูภายในท่อทรงกระบอก วัตถุดิบจะถูกดันผ่านรูหน้าแว่น (die) ให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ ขณะที่วัตถุดิบเคลื่อนที่ จะทำให้เกิดความดันและความร้อน ซึ่งเกิดจากแรงเฉือนระหว่างอนุภาคของวัตถุดิบเองหรือระหว่างอนุภาคของวัตถุดิบกับผนังกระบอกอัดในขณะที่เคลื่อนที่ไปตามสกรู ซึ่งความดัน และความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของแป้งในสูตรอาหาร (ณัฐชนก, 2548) โดยปริมาณความร้อนที่มากพอจะทำให้แป้งในอาหารเปลี่ยนรูปเป็นเจลาติน ทำให้มีการย่อยได้ดีขึ้นเหมาะที่จะใช้ในการผลิตอาหารในเชิงอุตสาหกรรม (อุทัย, 2529)

การ Extrusion แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. แบบร้อนชื้น (Hydrothermal extrusion) เป็นระบบที่ต้องใช้ไอน้ำปรับสภาพอาหาร อุณหภูมิอาหารประมาณ 103-110 °C

2. แบบร้อนแห้ง (Thermal extrusion) เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้ไอน้ำแต่ต้องใช้ความร้อนที่สูงในการทำให้สุกที่เกิดจากแรงอัดและแรงเสียดสี อุณหภูมิของอาหารประมาณ 140-180 °C

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลักการทำงานโดยทั่วไปในระบบแห้งอาหารจะถูกส่งเข้ากระบอกอัดโดยตรง ขณะที่ในระบบเปียกอาหารจะเคลื่อนเข้ากระบอกอัดได้รับการปรับสภาพด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 95-103 °C เป็นเวลา 30-40 วินาที (low-temperature long-time; LTLT) ส่วนอาหารแห้งในกระบอกอัดจะถูกเกลียวอัดขับให้เคลื่อนไปข้างหน้าด้วยแรงอัดประมาณ 35-40 เท่าแรงดันบรรยากาศ ความร้อนจากแรงเสียดสี และแรงอัดทำให้อาหารมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 140-180 °C ซึ่งที่อุณหภูมิและแรงอัดขนาดนี้ทำให้เกิดแรงตัด (shear force) โครงสร้างของเซลล์ในวัตถุดิบถูกทำลาย แป้งจะสุกใช้ระยะเวลาประมาณ 30 วินาที (high-temperature short-time; HTST) ส่วนในระบบเปียก อาหารซึ่งแป้งสุกแล้วจะถูกดันโดยเกลียวอัดออกจากชุดอัดภายในเวลาใกล้เคียงกัน แต่แรงอัดในกระบอกอัดไม่สูงเท่ากับระบบแห้ง อุณหภูมิของอาหารเมื่อถูกอัดผ่านรูเปิดอยู่ในระดับ 103 °C และโครงสร้างของเซลล์ในวัตถุดิบถูกทำลาย อาหารที่ถูกอัดออกมามีลักษณะเหมือนกับระบบแห้ง (สาโรช, 2547) โดยเฉพาะโปรตีนในถั่วเหลือง อันเนื่องจากแรงเฉือน ความร้อน และความดันที่เกิดขึ้นในกระบวนการเอ็กซทรูชั่น จะเปลี่ยนรูปร่างของโปรตีนที่มีรูปร่างพับซ้อนให้กลายเป็นโครงสร้างเส้นตรง และเมื่ออุณหภูมิการผลิตสูงขึ้นจะทำให้เกิดพันธะข้ามระหว่างเส้นสายหลักของโปรตีน ทำให้เกิดโครงสร้างเป็นร่างแห ที่ทำให้ได้เนื้อสัมผัสที่คล้ายกับโปรตีนจากสัตว์ (รุ่งนภา, 2544)

ในปัจจุบันนิยมใช้แบบเวลาสั้นอุณหภูมิสูง (HTST) ซึ่งพบว่า สารพิษในอาหารถูกทำลาย แต่การใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนไม่ลดลงแม้แต่น้อย (พันทิพา, 2539)

ข้อดีของการเอ็กซทรูดแบบแห้ง

- การหมดสภาพของเอนไซม์ urease, lipase, amylase และ trypsin inhibitor
- ทำให้ย่อยแป้งได้มากขึ้น แป้งจะขยายตัวเป็น 2-3 เท่า
- ช่วยฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ในอาหาร
- ทำให้โปรตีนจากถั่วไม่ถูกย่อยที่กระเพาะหมักแต่ถูกส่งต่อไปยังกระเพาะแท้มากกว่าปกติ (by - pass protein)

Aldrich and Merchen (1995) ได้รายงานค่าโปรตีนไหลผ่านของถั่วเหลืองที่ผ่านการเอ็กซทรูดที่ 104 °C ว่ามีค่า by – pass protein เพิ่มขึ้น 3-4 เท่า เมื่อเทียบกับถั่วเหลืองดิบ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเอ็กซทรูดขึ้นไปถึง 160 °C จะให้ผลที่ทำให้ค่าโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสูงขึ้นไปอีก (63.30 % ที่อุณหภูมิ 149 °C และ 69.90% ที่ 160 °C) Waltz and Stern (1989) ศึกษาโดยการใช้ระบบการหมัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ย่อยจำลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อการประเมินขบวนการเอ๊กซทรูดและวิธีการอื่นๆ ในการป้องกันการย่อยสลายโปรตีนในกากถั่วเหลือง พบว่ากากถั่วเหลืองเอ๊กซทรูดมีค่าหมุนเวียนของไนโตรเจนที่ไม่ใช่แอมโมเนียสูงกว่า และมีค่าการย่อยสลายโปรตีนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกากถั่วเหลืองปกติ (65.50% กับ 85.50%) แต่อย่างไรก็ตามในทางตรงข้าม Dea con *et al.* (1988) พบว่า การเอ๊กซทรูดไม่ทำให้โปรตีนในกากถั่วเหลืองถูกย่อยลดลงแต่อย่างใด สอดคล้องกับ Maiga *et al.* (1994) ที่พบว่าเมื่อทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารโคสาวด้วยกากถั่วเหลืองเอ๊กซทรูดที่ 149°C ไม่พบความแตกต่างของค่าการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมัก สันนิษฐานว่าอุณหภูมิที่ต่ำ (149°C) ประกอบกับระยะเวลาการเอ๊กซทรูดที่สั้น อาจไม่มีผลต่อการเพิ่มการป้องกันการย่อยสลายโปรตีนของกากถั่วเหลืองได้ Dea con *et al.* (1988) เปรียบเทียบผลของการอบร้อนและการเอ๊กซทรูดเมล็ดคาโนล่าต่อค่าการย่อยสลายได้ของโปรตีน พบว่าการอบร้อนให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการย่อยสลายของโปรตีนได้ดีกว่าการเอ๊กซทรูดโดยมีค่าประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของโปรตีนที่อัตราไหลผ่าน 8% ต่อชั่วโมง คือ 83.50%, 83.50% และ 43.20% สำหรับเมล็ดคาโนล่าดิบ เอ๊กซทรูดและอบร้อนตามลำดับ ค่าการย่อยสลายได้ของโปรตีนที่มีค่าต่ำสุดในเมล็ดคาโนล่าที่ผ่านการอบร้อนเป็นผลมาจากการได้รับความร้อนแห้งจากการอบที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า การเอ๊กซทรูดแบบไอน้ำร้อนที่ใช้ในการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทดลอง

1.1 เครื่องผสมอาหารแบบถังนอนชนิดใบพาย ขนาด 200 กิโลกรัม

1.2 ถังพลาสติกสำหรับใส่น้ำและอาหารทดลอง

1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการเอ๊กซทรูด ได้แก่ เครื่องบดวัตถุดิบอาหาร เครื่องร่อนวัตถุดิบอาหาร และเครื่องเอ๊กซทรูด

1.4 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์โปรตีนและค่าดัชนีการละลายได้ของโปรตีน

2. อาหารทดลอง

ใช้อาหารผสมสำเร็จรูป (Total mixed ration, TMR) ที่ประกอบด้วยหญ้าขนสด อาหารหมัก (เปลือกสับปะรดผสมชานอ้อยในอัตราส่วน 2:1) และอาหารข้น 16.09 เปอร์เซ็นต์โปรตีน (สัดส่วนวัตถุแห้ง10:25:65) คลุก ผสมก่อนให้อาหารทุกครั้ง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) โดยแบ่งอาหารทดลองเป็น 4 กลุ่มที่มีแหล่งวัตถุดิบโปรตีนต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 14 คือ

TMR1: ใช้กากถั่วเหลืองจากการใช้สารเคมีสกัด (solvent extracted soybean meal; SBM-SOL) เป็นแหล่ง โปรตีนหลัก

TMR2: ใช้กากถั่วเหลืองจากการบีบอัด (expellered soybean meal; SBM-EXP) เป็นแหล่งโปรตีนหลัก

TMR3: ใช้กากถั่วเหลืองจากสูตร 1 ที่ผ่านขบวนการเอ๊กซทรูด (Extrusion) เป็นแหล่งโปรตีนหลัก (ESBM – SOL)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

TMR4: ใช้กากถั่วเหลืองจากสูตร2 ที่ผ่านขบวนการเอ๊กซทรูด (Extrusion) เป็นแหล่งโปรตีนหลัก (ESBM – EXP)

กระบวนการผลิตโปรตีนไหลผ่านที่เหมาะสมในกากถั่วเหลืองที่ผ่านเอ๊กทรูดโดยใช้ค่าดัชนีการละลายได้ของโปรตีน (PDI) เป็นตัวชี้วัด โดยทำการเพิ่มน้ำเข้าไปในส่วนผสมวัตถุดิบ 4 ระดับ ได้แก่ 15, 20, 25 และ 30% พบว่า ระดับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพิ่มน้ำเข้าไปในส่วนผสมวัตถุดิบ คือ 20% (ความชื้น 26.26 – 26.44%) ซึ่งเป็นความชื้นที่ใช้ในการเอ๊กซทรูดโดยเครื่องเอ๊กซทรูดแบบเปียก (ใช้ความชื้น 20 – 25%) เป็นระดับความชื้นที่อาหารไหลผ่านกระบอกและเกลียวอัดภายในเครื่องเอ๊กซทรูดที่ใช้ในการทดลองได้สะดวกและได้ค่า PDI อยู่ในช่วง 5.5 – 11.32 ซึ่งค่า PDI ที่เหมาะสมสำหรับสัตว์กระเพาะรวม คือ อยู่ในช่วง 9 – 11 (Chris, 2008 และ Virginia and Gabriella, 2009) ส่วนการเพิ่มน้ำเข้าไปในระดับ 15% (ความชื้น 19.83 – 20.02) นั้นเป็นระดับความชื้นที่ต่ำเกินไป เนื่องจากอาหารจะไหลผ่านกระบอกและเกลียวอัดภายในเครื่องเอ๊กซทรูดได้ยาก เกิดการอัดและติดกันเป็นก้อนภายในกระบอกและเกลียวอัด อาหารไหม้ มอเตอร์ไม่สามารถทำงานได้ และเครื่องหยุดการทำงานในที่สุด ทำให้ต้องเสียเวลาถอดกระบอกและเกลียวอัดมาทำความสะอาดและประกอบเครื่องใหม่ ความชื้นในระดับนี้ใช้ในการเอ๊กซทรูดแบบแห้งหรือสภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยทั่วไป ซึ่งในการทำงานต้องการวัตถุดิบอาหารสัตว์ ที่มีความลื่นสูงหรือไขมันสูง เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารติดขัดในกระบอก (อุทัย, 2543) ส่วนการเพิ่มน้ำเข้าไปในระดับสูงกว่า 20% คือ 25 (ความชื้น 26.26 – 26.44) และ 30% (ความชื้น 29.10 – 29.27) นั้นเป็นความชื้นในระดับสูง เกิดความร้อนสูง ไหลผ่านกระบอกและเกลียวอัดได้ดี แต่ความร้อนในระดับสูงนี้ส่งผลให้โปรตีนเสียสภาพไปมาก ค่า PDI ต่ำมาก คือมีค่า 5.40 – 8.37 สำหรับการเพิ่มน้ำ 25% และ 7.19 – 8.93 สำหรับการเพิ่มน้ำ 30%

การให้ความร้อนด้วยการเอ๊กซทรูดแก่กากถั่วเหลืองทั้ง 2 ชนิด ทำให้ค่า PDI ของกากถั่วเหลืองลดลง จากการทดสอบเบื้องต้นครั้งนี้ อุณหภูมิของการเอ๊กซทรูดมีค่าอยู่ในช่วง 84 – 91 ^{0}C ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปในส่วนผสมวัตถุดิบอาหารเพื่อผันแปรระดับความชื้น กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันด้วยสารเคมี (SSBM) มีค่า PDI เป็น 14.24 เมื่อผ่านการเอ๊กซทรูดแล้วค่า PDI ลดลง คือมีค่าอยู่ในช่วง 5.62 – 11.32 ขึ้นอยู่กับการผันแปรความชื้น ส่วนกากถั่วเหลืองบีบอัดน้ำมัน (ESBM) มีค่า PDI เป็น 35.62 เมื่อผ่านการเอ๊กซทรูดแล้วค่า PDI ลดลง คือมีค่าอยู่ในช่วง 5.40 – 10.11 ขึ้นอยู่กับการผันแปรความชื้น จากการทดสอบในครั้งนี้เป็นการวัดอุณหภูมิของวัตถุดิบอาหารที่ออกจากเครื่องเอ๊กซทรูดมาแล้ว ทำให้อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่ใช่อุณหภูมิที่แท้จริงที่เกิดขึ้นในกระบอกและเกลียวอัดภายในเครื่องเอ๊กซทรูดเนื่องจากใช้เครื่องเอ๊กซทรูดขนาดเล็ก แต่ค่า PDI ที่ลดลงนั้นเป็นผลมาจากระดับของความชื้น เนื่องจากความชื้นในระดับที่สูงกว่าจะทำให้อาหารไหลผ่านกระบอกและเกลียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัดภายในเครื่องเอ๊กซทรูดได้ดีกว่าจึงทำให้ระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระบอกและเกลียวอัดภายในเครื่องเอ๊กซทรูดนั้นมีระยะเวลาลดลง ทำให้อาหารได้รับความร้อนเป็นระยะเวลาน้อยกว่าเกิดโปรตีนไหลผ่านต่ำกว่า ค่า PDI จึงสูงกว่า แต่จากการทดสอบในครั้งนี้ไม่ได้ทำการวัดระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระบอกและเกลียวอัดภายในเครื่องเอ๊กซทรูด

ตารางที่ 14 Concentrate ingredient

Item	**TMR1**	**TMR2**	**TMR3**	**TMR4**
Cassava chip	47	47	47	47
Soybean hull	8	8	8	8
Wheat bran	7	7	7	7
Solvent extracted soybean meal, SBM – SOL (TVO CP 45%)	18	0	0	0
Expeller soybean meal, SBM – EXP (CP 44%)	0	18	0	0
Extruded solvent extracted soybean meal, ESBM - SOL	0	0	18	0
Extruded expeller soybean meal, ESBM - EXP	0	0	0	18
Palm kernel meal (CP 16%)	8	8	8	8
Molasses	8	8	8	8
Urea	1	1	1	1
Premix	0.5	0.5	0.5	0.5
Dicalcium phosphate (P 18)	2	2	2	2
Sulphur	0.05	0.05	0.05	0.05
Salt	0.45	0.45	0.45	0.45
Total	**100**	**100**	**100**	**100**

Roughage: Mixed Pineapple peel and bagasse silage and fresh para grass

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พรีมิกซ์โคเนื้อ มีส่วนประกอบดังนี้ คือ

วิตามิน เอ	2.40	MIU (ล้านหน่วยสากล)
วิตามิน ดี3	0.50	MIU (ล้านหน่วยสากล)
วิตามิน อี	3,100.00	IU (หน่วยสากล)
ซีลีเนียม	0.04	กรัม
เหล็ก	12.00	กรัม
แมงกานีส	10.00	กรัม
สังกะสี	8.00	กรัม
ทองแดง	2.00	กรัม
โคบอลด์	0.40	กรัม
ไอโอดีน	0.40	กรัม
สารถนอมคุณภาพอาหารสัตว์รวม	5.00	กรัม
สื่อเติมจนครบ	1.00	กิโลกรัม

ตารางที่ 15 องค์ประกอบทางคำนวณของสูตรอาหารทดลอง

วัตถุดิบ	ปริมาณ (สด)	%DM	%TDN	%CP	ปริมาณ (แห้ง)	CP	TDN
มันเส้น	47	90.00	82.00	2.40	42.30	1.02	34.69
กากถั่วเหลือง	18	90.50	84.00	44.00	16.29	7.17	13.68
ผิวถั่ว	8	90.50	70.00	11.40	7.24	0.83	5.07
รำสาลี	7	88.50	70.00	17.10	6.20	1.06	4.34
กากปาล์ม	8	91.00	70.00	16.00	7.28	1.17	5.10
กากน้ำตาล	8	75.00	45.00	4.20	6.00	0.25	2.70
พรีมิกซ์โคเนื้อ	0.5	99.00	0	0	0.50	0	0
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	2	99.00	0	0	1.98	0	0
กำมะถัน	0.05	99.00	0	0	0.05	0	0
ยูเรีย	1	100.00	0	288.00	1.00	2.88	0
เกลือ	0.45	100.00	0	0	0.45	0	0
รวม แห้ง					89.29	14.38	65.58
รวม สด	100					16.09	71.48

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. สัตว์ทดลอง

ใช้แกะเพศผู้ทั้งหมดจำนวน 16 ตัว สุ่มสัตว์ทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ตัว แกะทดลองทุกตัวถูกเลี้ยงในคอกขังเดี่ยว ซึ่งมีรางอลูมิเนียมสำหรับการเก็บมูลและมีถังน้ำใต้รางอลูมิเนียมสำหรับรองรับปัสสาวะของแกะแต่ละตัว รางอลูมิเนียมแต่ละรางมีตะแกรงรองเพื่อแยกไม่ให้ปัสสาวะปนกับมูลแต่ละคอก มีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา และก่อนเริ่มการทดลองแกะได้รับการทำวัคซีน ถ่ายพยาธิ และฉีดวิตามิน ให้อาหาร 2 ช่วงเวลา คือ ในช่วงเช้าเวลา 7.00 น. และช่วงเย็นเวลา 16.00 น. โดยให้กินแบบเต็มที่ (*Ad libitum*)

4. คอกสัตว์ทดลอง

คอกขังเดี่ยวพื้น slat เป็นลวดสานตาข่ายขนาดกรง 50x150x140 เซนติเมตร มีที่ใส่อาหารและน้ำเป็นถังพลาสติกแขวนอยู่ด้านหน้ากรง มีที่รองรับมูลและปัสสาวะแยกกันอยู่ใต้กรงทุกกรง

5. อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen fluid)

5.1 ขวดพลาสติก 25 มล.

5.2 conc. H_2SO_4

5.3 pH meter

5.4 เครื่องปั้มสูญญากาศ (Vacuum pump)

5.5 Stomach tube

6. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บเลือดจากสัตว์ทดลอง

6.1 เข็มเจาะเลือด (เบอร์ 18 ยาว 1.5 นิ้ว)

6.2 กระบอกฉีดยาขนาด 10 มล.

6.3 หลอดเก็บตัวอย่างเลือด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์แอมโมเนีย

7.1 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Kjeldahl apparatus)

7.2 กระดาษกรองเบอร์ 42

7.3 bromocresol green และ methylred

7.4 ethanol

7.5 boric acid (H_3BO_3)

7.6 MgO

7.7 0.005 N H_2SO_4

7.8 0.05 N NaOH

7.9 2 N KCI

8. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ง่าย

8.1 conc. H_2SO_4

8.2 Gas Chromatography

8.3 Metaphosphoric acid in 5N-H_2SO_4

8.4 iso-valerate (internal standard)

8.5 mixed standard (Acetic acid standard + Butyric acid standard + Propionic acid standard)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. วิธีการทดลอง

1.1 สุ่มแกะแต่ละตัวเข้าคอกทดลอง และจัดให้แต่ละกลุ่มทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ให้แกะแต่ละกลุ่มกินอาหารทดลอง 4 สูตร มีการจดบันทึกปริมาณการกินได้อย่างอิสระ (voluntary feed intake) โดยชั่งและบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ อาหารที่เหลือทุกเช้าเย็นรวมถึงการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักสุดท้ายของการทดลอง แบ่งการทดลองแบ่งเป็น 2 ระยะ ดังนี้

ก. ระยะปรับอาหาร เป็นระยะเพื่อให้สัตว์คุ้นเคยกับอาหารทดลอง ใช้เวลาประมาณ 7 วัน และควรค่อยๆปรับอาหารจากอาหารเก่าไปอาหารใหม่ โดยใช้อัตราส่วน 75:25 ในวันที่ 1 ถึง วันที่ 2 50:50 ในวันที่ 3 ถึง วันที่ 4 25:75 ในวันที่ 5 ถึง วันที่ 6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 7

ข. ระยะทดสอบประสิทธิภาพของอาหาร (experimental period) เป็นระยะที่เริ่มทำการทดลองและบันทึกข้อมูลหลังจากสัตว์ทดลองมีคุ้นเคยกับอาหารทดลองและกินได้เป็นปกติ บันทึกปริมาณการกินได้ของแกะทุกวัน และได้รับอาหารทดลอง 46 วัน 7 วันสุดท้ายเป็นการเก็บข้อมูลการย่อยได้ ทำการบันทึกน้ำหนักมูล และวัดปริมาตรปัสสาวะของแกะแต่ละตัว ในช่วงเช้าของทุกวัน (สำหรับการเก็บปัสสาวะใช้กรดซัลฟูริก 25 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร จำนวน 100 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะที่รองรับปัสสาวะของแกะแต่ละตัว เพื่อป้องกันการระเหยของไนโตรเจน) สุ่มเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของแกะแต่ละตัวไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนนำตัวอย่างที่เก็บมาได้ไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีตามวิธี AOAC. (1990) ใช้วิธี Kjeldahl method เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน (N) โปรตีน และวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเซลล์พืช NDF และ ADF ตามวิธีของ Goering and VanSoest (1970)

1.2 สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารของเหลวจากกระเพาะหมักด้วย Stomach tube ซึ่งต่อกับเครื่องปั๊มสูญญากาศ โดยสอด Stomach tube ผ่านทางหลอดอาหารจนถึงกระเพาะหมักของแกะวันสุดท้ายของการทดลอง ก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง นำของเหลวที่ได้มาวัดค่า pH Meter กรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น และเก็บไว้ในขวดพลาสติกขนาด 50 มล. หยด conc. H_2SO_4 1-2 หยด เพื่อหยุดขบวนการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ – 20 ^{o}C เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และกรดไขมันระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมัก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก และกรดบิวทีริก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 สุ่มเก็บตัวอย่างเลือดปริมาตร 5-10 มล. จากเส้นเลือดดำที่คอ (jugular vein) ของแกะในวันสุดท้ายของการทดลอง ก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง นำตัวอย่างเลือดซึ่งเก็บรักษาใน Heparin มาปั่นแยกพลาสมาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (Blood urea nitrogen, BUN) และปริมาณกลูโคสในกระแสเลือด (Blood glucose, BG)

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรๆ ละ10 จุด บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนตามวิธีการของชาญวิทย์ (2548) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ง่ายในตัวอย่างอาหาร ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ตามวิธีการของ Erwin *et al.* (1961) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี proximate analysis ตามวิธีการของ AOAC. (1990) วิเคราะห์องค์ประกอบผนังเซลล์พืชด้วยวิธี Van Soest System ตามวิธีการของ Goering and Van Soest (1970) ตรวจหาปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด (Blood urea nitrogen, BUN) ตามวิธีการของ Tiiffany *et al.* (1972) และปริมาณกลูโคสในกระแสเลือด (Blood glucose, BG) ตามวิธีการของ Slein (1963) โดยส่งตรวจตัวอย่างเลือดที่โรงพยาบาลสัตว์ คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม

3. แผนการทดลอง

ข้อมูลทั้งหมดได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มทดลองด้วย Duncan's new multiple range test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SAS, 2003) ซึ่งมีแบบหุ่นจำลองดังนี้

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

โดยที่ i = 1, 2, 3, 4,

j = 1, 2, 3, 4

เมื่อ Y_{ij} คือค่าสังเกตที่ได้จากสิ่งทดลองที่ i ซ้ำที่ j

μ คือค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

τ_i คืออิทธิพลของสิ่งทดลองที่ i (i = 1,2,3,4)

ε_{ij} คือความคลาดเคลื่อนสุ่ม

สถานที่ทดลอง

1. คอกสัตว์ทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม

2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

3. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

4. โรงพยาบาลสัตว์ คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม

ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มการทดลองเดือนมกราคม 2552 และจนเสร็จสิ้นการทดลองเดือนมีนาคม 2552

แหล่งทุนสนับสนุน

งบประมาณทั้งหมดได้รับการสนับสนุนจากวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

องค์ประกอบของโภชนะในอาหารที่ใช้ทดลอง อาหารหยาบ คือ หญ้าขนสด เปลือกสับปะรดร่วมกับชานอ้อยหมัก และอาหารข้นทั้ง 4 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่าหญ้าขนสดที่อายุการตัด 40-45 วัน ประกอบด้วยวัตถุแห้ง (DM) 28.51% 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% วัตถุแห้ง ตามลำดับ และมีค่าพลังงานทั้งหมด (GE) 4165.46 cal/g ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพิชิตพล (2552) ที่รายงานว่า หญ้าขนที่อายุการตัด 40 - 45 วัน มีค่าวัตถุแห้ง (DM) โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) เยื่อใย (CF) เถ้า (Ash) ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL) เท่ากับ 28.11, 6.32, 1.77, 32.73, 8.98, 72.69, 41.31 และ 3.81% ตามลำดับ แตกต่างจากจีระชัย (2549) ที่รายงานค่าวัตถุแห้ง (DM) โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) เถ้า (Ash) ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL) เท่ากับ 20.69, 7.47, 2.86, 13.66, 63.36, 38.68 และ 3.61% ตามลำดับ และบุญฤา (2528) ที่รายงานค่าวัตถุแห้ง (DM) โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) เยื่อใย (CF) เถ้า (Ash) ของหญ้าขนที่อายุการตัด 30 วัน เท่ากับ 28.4, 10.3, 1.0, 27.5, และ 10.3 % ตามลำดับ เนื่องจากหญ้าขนจากการทดลองมีอายุการตัดสูงกว่าและปลูกในพื้นที่ที่มีความอุดสมบูรณ์ของดินต่ำกว่า ทำให้มีระดับโปรตีนและเถ้าต่ำกว่า แต่เยื่อใยและวัตถุแห้งสูงกว่า เนื่องจากหญ้าขนมีอายุการตัด 30 - 45 วัน และเมื่ออายุการตัดเพิ่มขึ้นมีผลให้คุณค่าทางอาหารลดลงและองค์ประกอบของเยื่อใยเพิ่มขึ้น ตลอดจนมีปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารหยาบแตกต่างกัน ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ชั่วโมงแสง ลักษณะทางกายภาพ ค่า pH ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และวิธีการปลูก (สายัณห์, 2520) ส่วนเปลือกสับปะรดหมักร่วมกับชานอ้อย ประกอบด้วยวัตถุแห้ง (DM) 16.35% โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) เยื่อใย (CF) เถ้า (Ash) ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL) เท่ากับ 5.37, 1.14, 29.53, 1.86, 63.50, 34.44 และ 5.70% วัตถุแห้ง ตามลำดับ และมีค่าพลังงานทั้งหมด (GE) 4397.23 cal/g

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี	อาหารข้น				หญ้าขนสด	เปลือกสับปะรดร่วมกับชานอ้อยหมัก
	TMR1	TMR2	TMR3	TMR4		
วัตถุแห้ง (DM)	87.90	88.02	88.01	87.93	28.51	16.35
	.....(เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง).....					
โปรตีนหยาบ (CP)	10.37	10.16	10.27	10.02	7.18	5.37
ไขมัน (EE)	1.04	1.38	0.69	1.17	1.36	1.14
เยื่อใย (CF)	-	-	-	-	28.62	29.53
เถ้า (Ash)	9.22	9.36	9.12	9.09	5.14	1.86
พลังงานทั้งหมด (GE)	4,116.46	4,104.56	4,116.40	4,053.31	4,165.46	4,397.23
ผนังเซลล์ (NDF)	39.95	41.26	40.25	42.80	68.79	63.50
ลิกโนเซลลูโลส (ADF)	32.00	32.50	31.81	32.03	31.48	34.44
ลิกนิน (ADL)	-	-	-	-	3.82	5.70

หมายเหตุ TMR1 = อาหารข้นสูตรกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเป็นวัตถุดิบโปรตีนหลัก
TMR2 = อาหารข้นสูตรกากถั่วเหลืองบีบน้ำมันเป็นวัตถุดิบโปรตีนหลัก
TMR3 = อาหารข้นสูตรกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเอ๊กซทรูดเป็นวัตถุดิบโปรตีนหลัก
TMR4 = อาหารข้นสูตรกากถั่วเหลืองบีบน้ำมันเอ๊กซทรูดเป็นวัตถุดิบโปรตีนหลัก
อาหารสำเร็จรูป (TMR) ประกอบด้วยอาหารข้นผสมกับเปลือกสับปะรดร่วมกับชานอ้อยหมัก และหญ้าขนสดในอัตราส่วนเท่ากับ 65: 25:10 (DM)

อาหารข้นที่ใช้ในการทดลอง ใช้อาหารข้นสูตรเดียวกัน โดยทำการเปรียบเทียบกรรมวิธีใช้กากถั่วเหลืองที่ผ่านการให้ความร้อนโดยกระบวนการเอ๊กซทรูด เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารโปรตีนหลัก พบว่าองค์ประกอบของโภชนะในอาหารข้นทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 16) โดยกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยวัตถุแห้ง (DM) 87.90% โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และเถ้า (Ash) เท่ากับ 10.37, 1.04, 39.95, 32.00 และ 9.22% วัตถุแห้งตามลำดับ และมีค่าพลังงานทั้งหมด (GE) 4116.46 cal/g กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยวัตถุแห้ง (DM)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

88.02% โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และเถ้า (Ash) เท่ากับ 10.16, 1.38, 41.26, 32.50 และ 9.36% วัตถุแห้ง ตามลำดับ และมีค่าพลังงานทั้งหมด (GE) 4104.56 cal/g กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยวัตถุแห้ง (DM) 88.01% โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และเถ้า (Ash) เท่ากับ 10.27, 0.69, 40.25, 31.81 และ 9.12% วัตถุแห้ง ตามลำดับ และมีค่าพลังงานทั้งหมด (GE) 4,116.40 cal/g และกลุ่มที่ 4 ประกอบด้วยวัตถุแห้ง (DM) 87.93% โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และเถ้า (Ash) เท่ากับ 10.02, 1.17, 42.80, 32.03 และ 9.09% วัตถุแห้ง ตามลำดับ และมีค่าพลังงานทั้งหมด (GE) 4,053.31 cal/g ทั้งนี้ระดับของโปรตีนหยาบ (CP) มีค่าใกล้เคียงกับที่ต้องการ คือ 11.39% (DM) เป็นที่น่าสังเกตว่ากลุ่มที่ 2 ซึ่งใช้กากถั่วเหลืองบีบน้ำมันเป็นแหล่งวัตถุดิบโปรตีน มีระดับไขมัน (EE) ค่อนข้างสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการแยกน้ำมันออกจากกากถั่วเหลืองโดยการบีบน้ำมันนั้นจะยังมีน้ำมันเหลืออยู่มากกว่าการแยกน้ำมันโดยการสกัดด้วยสารเคมี (สาโรช, 2547)

2. ผลการหมักย่อยของอาหารทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการต่างๆในอาหารแกะเป็นแหล่งโปรตีน ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะหมัก

ผลการศึกษาค่า pH ของของเหลวจากกระเพาะหมักของแกะที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังได้รับอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย คือ 7.05, 7.11, 7.11 และ 7.19 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 17 เนื่องจากแกะได้กินอาหารหยาบกินเต็มที่ (ad libitum) ทำให้มีการเคี้ยวเอื้องกระตุ้นการผลิตน้ำลายซึ่งมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ช่วยปรับค่า pH ในกระเพาะหมักให้เป็นกลางและไม่เปลี่ยนแปลงเร็วเกินไป (สมจิตร และคณะ, 2550) ตลอดจนมีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ (จีระชัย, 2549) มีผลให้แกะที่ได้รับอาหารทดลองที่มีโภชนะแตกต่างกันมีค่า pH ในกระเพาะหมักใกล้เคียงกัน และมีค่าลดลงในชั่วโมงที่ 2 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับชั่วโมงที่ 0 เนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมีกิจกรรมการหมักย่อยและผลิตกรดได้สูงสุดหลังจากกินอาหารเป็นเวลา 2 -4 ชั่วโมง (เมธา, 2545) สอดคล้องกับ พันทิพา (2539) และ Dehority (2003) รายงาน ค่า pH 5.5-7.2 คือช่วงที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการหมักย่อย การดูดซึมสารอาหาร และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก โดยค่า pH ที่ต่ำกว่า 5.5 มีผลให้สัตว์มีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคภาวะกรดเกินในกระเพาะหมัก (acidosis) แบคทีเรียในกระเพาะหมักมีการเจริญเติบโตลดลง ตลอดจนการดูดซึมสารอาหาร กรดไขมันระเหยได้ง่าย และแอมโมเนียของแกะมีประสิทธิภาพลดลง (กฤษ, 2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ผลการหมักย่อยของอาหารทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการต่างๆในอาหารแกะเป็นแหล่งโปรตีน ต่อปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในกระเพาะหมัก

ผลการศึกษาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของเหลวจากกระเพาะหมักของแกะพบว่าแกะที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 มีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ 0, 2, และ 4 ชั่วโมง เท่ากับ 4.37, 8.42 และ 5.73 มก.เปอร์เซ็นต์ และ 4.38, 12.79 และ 4.38 มก.เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มที่ 3 และ 4 มีค่า 5.06, 9.19 และ 3.71 มก.เปอร์เซ็นต์ และ 4.37, 12.55 และ 4.04 มก.เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าแกะที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน หลังการได้รับอาหาร 4 ชั่วโมง สูงกว่ากลุ่มที่ 3 และ 4 ดังแสดงในตารางที่ 17 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากอาหารทดลองกลุ่ม 3 และ 4 มีกากถั่วเหลืองที่ผ่านขบวนการให้ความร้อนโดยการเอ๊กซทรูด ทำให้โปรตีนถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนียในกระเพาะหมัก ต่ำกว่ากลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 โดยทั่วไปกากถั่วเหลืองมีสัดส่วนโปรตีนไหลผ่านประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ แสดงถึงการมีองค์ประกอบโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักค่อนข้างสูง (Schwab, 1994) โปรตีนจากอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 และ 2 จึงถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักหมักย่อยและเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมากกว่ากลุ่มอื่น แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยทั้งหมดของทุกช่วงเวลากลับไม่พบความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มการทดลอง ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักมีค่าน้อยที่สุดที่ชั่วโมงที่ 0 เพิ่มสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 2 หลังกินอาหาร เนื่องจากกิจกรรมหมักย่อยและผลิตแอมโมเนียของจุลินทรีย์ และลดลงที่ชั่วโมงที่ 4 หลังกินอาหาร เนื่องจากอาหารในกระเพาะหมักมีปริมาณลดลง แต่แอมโมเนียยังคงถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักนำไปใช้สังเคราะห์ microbial protein สำหรับเพิ่มจำนวนเซลล์จุลินทรีย์ (นวลจันทร์ และสินชัย, 2544) และบางส่วนถูกดูดซึมผ่านผนังของกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือดแล้วส่งไปยังตับเพื่อเปลี่ยนเป็นยูเรียซึ่งมีความเป็นพิษน้อยกว่า (พนัส และคณะ, 2537) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์และการทำงานของ microbial protein ตลอดจนการได้รับโปรตีนของสัตว์กระเพาะรวม เนื่องจาก microbial protein จะเคลื่อนสู่กระเพาะจริง (abomasums) และลำไส้เล็กผ่านกระบวนการย่อยและดูดซึมของสัตว์ได้เป็นโปรตีนคุณภาพดี มีสมดุลของกรดอะมิโนเหมาะสมกับสัตว์กระเพาะรวม (บุญล้อม, 2546)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 สภาพแวดล้อมในกระเพาะหมักของแกะก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารทดลอง 4 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	SEM	p-value
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
0 ชั่วโมง	7.33	7.23	7.73	7.5	0.12	0.073
2 ชั่วโมง	7.03	7.17	6.83	7.03	0.13	0.101
4 ชั่วโมง	6.80	6.93	6.77	7.03	0.06	0.199
ค่าเฉลี่ย	7.05	7.11	7.11	7.19	0.07	0.099
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N), มก. เปอร์เซ็นต์						
0 ชั่วโมง	4.37	4.38	5.06	4.37	0.17	0.291
2 ชั่วโมง	8.42^{b}	12.79^{a}	9.19^{b}	12.55^{a}	0.72	0.041
4 ชั่วโมง	5.73^{b}	4.38^{b}	3.71^{a}	4.04^{a}	0.12	0.039
ค่าเฉลี่ย	6.17	7.18	6.82	7.90	0.26	0.102

$^{a-b}$ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4. ผลการหมักย่อยของอาหารทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการต่างๆในอาหารแกะเป็นแหล่งโปรตีน ต่อปริมาณกรดไขมันระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมัก

4.1 กรดอะซิติก (Acetic acid)

ผลการศึกษาปริมาณกรดอะซิติกของของเหลวจากกระเพาะหมักของแกะที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแกะที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 มีระดับกรดอะซิติกที่เวลา 0,2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร คือ 67.67, 64.87 และ 71.31 เปอร์เซ็นต์, 65.33, 63.75 และ 73.72 เปอร์เซ็นต์, 69.49, 67.34 และ 70.20 เปอร์เซ็นต์ และ 69.90, 67.63 และ 70.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแกะที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ย คือ 67.95, 67.60, 69.01 และ 69.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 18

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid)

ผลการศึกษาปริมาณกรดโพรพิโอนิก ของของเหลวจากกระเพาะหมักของแกะที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแกะที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 มีระดับกรดโพรพิโอนิกที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร คือ 19.96, 18.65 และ 16.08 เปอร์เซ็นต์, 19.37, 20.24 และ 15.01 เปอร์เซ็นต์, 19.50, 20.31 และ 15.06 เปอร์เซ็นต์ และ 18.56, 20.01 และ 17.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแกะที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ย คือ 18.23, 18.21, 18.29 และ 18.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 18

4.3 กรดบิวทิริก (Butyric acid)

ผลการศึกษาปริมาณกรดบิวทิริกของของเหลวจากกระเพาะหมักของแกะที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแกะที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 มีระดับกรดบิวทิริกที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร คือ 10.37, 10.48 และ 10.20 เปอร์เซ็นต์, 10.30, 10.01 และ 10.27 เปอร์เซ็นต์, 10.01, 10.35 และ 10.74 เปอร์เซ็นต์ และ 10.54, 10.36 และ 10.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแกะที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ย คือ 10.35, 10.19, 10.37 และ 10.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 18

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 18 ปริมาณไขมันระเหยได้ง่ายภายในกระเพาะหมักก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และ หลังกินอาหารทดลอง 4 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง (เปอร์เซ็นต์)

เวลา (ชั่วโมง)	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	SEM	p-value
กรดอะซิติก						
0	67.67	65.33	69.49	69.90	1.75	0.155
2	64.87	63.75	67.34	67.63	1.71	0.148
4	71.31	73.72	70.20	70.36	1.87	0.181
ค่าเฉลี่ย	67.95	67.60	69.01	69.30	1.90	0.122
กรดโพรพิโอนิก						
0	19.96	19.37	19.50	18.56	0.56	0.422
2	18.56	20.24	20.31	20.01	0.73	0.556
4	16.08	15.01	15.06	17.80	0.30	0.511
ค่าเฉลี่ย	18.23	18.21	18.29	18.79	0.40	0.488
กรดบิวทิริก						
0	10.37	10.30	10.01	10.54	0.87	0.523
2	10.48	10.01	10.35	10.36	0.56	0.428
4	10.20	10.27	10.74	10.84	0.75	0.561
ค่าเฉลี่ย	10.35	10.19	10.37	10.58	0.47	0.501

SEM คือ Standard error of mean

กรดไขมันระเหยได้ง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก ผลิตโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักที่ย่อยสลายอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตและถูกดูดซึมที่ผนังกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือด มีความสำคัญยิ่งในการดำรงชีวิตของสัตว์กระเพาะรวมโดยใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในร่างกาย และแหล่งพลังงานสำหรับเยื่อบุผนังเซลล์ของกระเพาะหมักตลอดจนสร้างสารอื่นในร่างกาย (บุญล้อม, 2527) แกะที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก ใกล้เคียงกับรายงานของ Ishler และคณะ (1996) ที่พบว่าแกะทดลองที่ได้รับอาหารหยาบและอาหารข้น ในสัดส่วน 40:60 เปอร์เซ็นต์ แสดงค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก เท่ากับ 59.8, 25.9 และ 10.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Giri *et al* (2005) รายงานค่า pH และค่าโภชนะย่อยได้ในกระเพาะหมักของวัตถุดิบมีผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยตรงต่อการสร้างกรดไขมันระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมักของสัตว์กระเพาะรวม โดยในช่วงแรกของการหมักเป็นการหมักย่อยวัตถุดิบที่ย่อยสลายง่าย เช่น แป้งและน้ำตาล ได้ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นกรดโพรพิโอนิก มีผลให้กรดโพรพิโอนิกเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 2 หลังกินอาหาร และลดต่ำลงในชั่วโมงที่ 4 หลังกินอาหาร เนื่องจากกรดโพรพิโอนิกเป็นแหล่งสำคัญในการสร้างกลูโคสในเลือด 50-60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวัตถุดิบที่ย่อยสลายยาก ได้แก่ วัตถุดิบประเภทเยื่อใยจะใช้เวลาหมักย่อยนานกว่าและได้ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก (เมธา, 2529) มีผลให้กรดอะซิติกที่ชั่วโมงที่ 0 มีระดับต่ำสุด เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 2 และเพิ่มสูงสุดในชั่วโมงที่ 4 หลังกินอาหาร

5. ผลการหมักย่อยของอาหารทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการต่างๆในอาหารแกะเป็นแหล่งโปรตีน ต่อปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด

ผลการศึกษาปริมาณ-ไนโตรเจนในเลือดของแกะที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยแกะที่กินอาหารกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหารมีระดับยูเรียไน-โตรเจน คือ 11.36, 11.03 และ 14.41, 11.36, 11.46 และ 15.21, 11.19, 13.16 และ 12.77 และ 15.99, 16.44 และ 15.33 มก. เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยแกะที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ย คือ 12.27, 12.68, 14.04 และ 15.92 มก. เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 19 ค่ายูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดจะมีความสัมพันธ์กับค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมัก โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักนำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่หมด จะดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักเข้าสู่ระบบหมุนเวียนของเลือด แต่เนื่องจากระดับความเข้มข้นแอมโมเนียที่สูงมีความเป็นพิษและเป็นอันตรายต่อเซลล์ทำให้ค่า pH ของเลือดและน้ำหล่อเลี้ยงเซลล์สูงขึ้นมีผลให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ ร่างกายจึงต้องกำจัดแอมโมเนียส่วนเกินโดยเปลี่ยนให้เป็นยูเรียซึ่งมีความเป็นพิษน้อยกว่าที่ตับ ยูเรียส่วนหนึ่งถูกดูดซึมกลับเข้าสู่กระเพาะหมักโดยตรง บางส่วนถูกส่งไปที่ต่อมน้ำลายและกลับสู่กระเพาะหมักเมื่อสัตว์มีการเคี้ยวเอื้อง เพื่อให้จุลินทรีย์เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียและใช้สังเคราะห์เป็น microbial protein และยูเรียส่วนที่เหลือจะถูกขับออกนอกร่างกายผ่านทางปัสสาวะ การหมุนเวียนของยูเรียเช่นนี้ เรียกว่า วัฏจักรของยูเรีย (Church, 1979) แกะกินอาหารทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดค่าเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 2 และเพิ่มสูงสุดในชั่วโมงที่ 4 หลังกินอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับชั่วโมงที่ 0 เนื่องจากจุลินทรีย์มีกิจกรรมหมักย่อยและผลิตแอมโมเนียในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้น จึงมีการสะสมเป็นยูเรียในเลือดเพิ่มขึ้น (Church, 1979) Lewis (1975) รายงานว่า ปริมาณยูเรียในเลือดของสัตว์กระเพาะรวมมีค่าประมาณ 5-25 มก.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ การได้รับโปรตีนและสารประกอบ NPN จากอาหาร ตลอดจนการสลายตัวของโปรตีนในร่างกายสัตว์ช่วงที่ได้รับอาหารไม่เพียงพอ ดังนั้นปริมาณของยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดจึงบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการถูกหมักย่อยของโปรตีนและสารประกอบ NPN ในอาหาร รวมถึงการสูญเสียโปรตีนจากกระเพาะหมักในรูปของยูเรีย

6. ผลการหมักย่อยของอาหารทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการต่างๆในอาหารแกะเป็นแหล่งโปรตีน ต่อปริมาณกลูโคสในเลือด

ผลการศึกษาปริมาณกลูโคสในเลือดของแกะที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังได้รับอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยแกะที่ได้รับอาหารกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 มีปริมาณกลูโคสในเลือด คือ 63, 50.06 และ 80.60 มก. เปอร์เซ็นต์, 60.93, 54.60 และ 80.97 มก. เปอร์เซ็นต์, 55.60, 50.30 และ 94.47 มก. เปอร์เซ็นต์ และ 59.17, 60.33 และ 92.63 มก. เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 64.55, 65.50, 66.79 และ 70.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 19 การหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตทั้งประเภทโครงสร้างและประเภทแป้งโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้เป็นกรดไขมันระเหยได้ง่าย (volatile fatty acid) มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์กลูโคสของสัตว์กระเพาะรวม โดยดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือดและเปลี่ยนเป็นกลูโคสที่ตับ คาร์โบไฮเดรตในร่างกายส่วนใหญ่จึงอยู่ในรูปของกลูโคสในเลือดและสะสมไว้ที่ตับในรูปของไกลโคเจนและเปลี่ยนแปลงโดยตรงตามปริมาณและชนิดของอาหารที่สัตว์กิน เนื่องจากกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมและอวัยวะต่างๆในร่างกาย โดยเฉพาะสมองและเม็ดเลือดแดง ร่างกายสัตว์จึงมีกลไกในการควบคุมระดับกลูโคสในเลือดให้เป็นปกติ คือ กระบวนการไกลโคเจเนซิส (glycogenesis) และไกลโคเจนไลซิส (glycogenelysis) (บุญล้อม, 2546) เมธา (2529) รายงานว่าระดับกลูโคสในเลือดของสัตว์กระเพาะรวมควรมีค่าเท่ากับ 40-60 มก. เปอร์เซ็นต์ และถ้าระดับต่ำกว่า 30 มก.เปอร์เซ็นต์บ่งบอกถึงการได้รับโภชนะไม่เพียงพอ จากการทดลองนี้พบว่าแกะที่กินอาหารทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีกลูโคสในเลือดอยู่ในระดับปกติ (40-60 มก.เปอร์เซ็นต์) ทุกช่วงเวลา แสดงถึงอาหารทดลองทั้ง 4 กลุ่มมีความสมดุลของพลังงานและมีผลให้แกะมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 ค่าทางชีววิทยาในเลือดของแกะก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารทดลอง 4 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	SEM	p-value
ยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด (Blood Urea Nitrogen, BUN), มก. %						
0 ชั่วโมง	11.36	11.36	11.19	15.99	0.79	0.050
2 ชั่วโมง	11.03	11.46	11.16	16.44	0.94	0.093
4 ชั่วโมง	14.41	15.21	11.77	15.33	0.74	0.315
ค่าเฉลี่ย	12.27	12.68	11.37	15.92	0.71	0.094
กลูโคสในเลือด (Blood Glucose, BG), มก. %						
0 ชั่วโมง	63	40.93	55.60	59.17	4.54	0.373
2 ชั่วโมง	53.07	34.60	40.30	60.33	4.84	0.228
4 ชั่วโมง	85.60	64.97	94.47	92.63	7.40	0.535
ค่าเฉลี่ย	67.22	46.83	63.46	70.71	5.14	0.410

SEM คือ Standard error of mean

7. ค่าการสะสมไนโตรเจนในแกะ

ผลการใช้อาหารทดลองทั้ง 4 สูตร ต่อปริมาณการกินได้ของไนโตรเจนที่แกะได้รับในอาหารแต่ละกลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 20 พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เช่นเดียวกับปริมาณการขับของไนโตรเจนออกทางมูลและปัสสาวะก็แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาการสะสมไนโตรเจนในร่างกาย แกะกลุ่มที่ได้รับอาหาร TRT3 และ TRT4 มีค่าการสะสมไนโตรเจนสูงกว่ากลุ่ม TRT1 และ TRT2 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.31 26.53 32.62 และ 34.91 เปอร์เซ็นต์ ใน TRT1, TRT2, TRT3 และ TRT4 ตามลำดับ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 20 ผลของอาหารทดลองต่อค่าสะสมไนโตรเจนในแกะ

Item	TMR1	TMR2	TMR3	TMR4	SEM	p-value
N intake (g/d)	21.10.	21.10	21.10	21.10	0.00	1.000
Fecal N (g/d)	9.52	9.61	8.87	9.28	0.35	0.701
Urinary N (g/d)	6.03	5.90	5.34	4.46	0.32	0.677
N retained (g/d)	5.55 [b]	5.60 [b]	6.88 [a b]	7.37 [a]	0.31	0.032
N retained (%)	26.31 [b]	26.53 [b]	32.62 [a b]	34.91 [a]	1.46	0.029

[ab]Mean within the same line bearing different superscripts differ ($p<0.05$)

วัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายหรือย่อยสลายในกระเพาะหมักได้แตกต่างกัน (Volden et al., 2002) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนแตกต่างกันด้วย (Castillo et al., 2001) ค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในอาหารสัตว์ คือ ค่าการกักเก็บไนโตรเจน (nitrogen retention) ได้สูงในตัวสัตว์แสดงว่าการขับถ่ายไนโตรเจนลดลง เนื่องจากนำไปกักเก็บในร่างกายหรือในรูปผลผลิต (Marini and Amburgh, 2003) จากการศึกษาของ Aldrich and Merchen (1995) รายงานว่า ถั่วเหลืองที่ผ่านขบวนการ extrusion ที่ 126 องศาเซลเซียส มีปริมาณโปรตีนไหลผ่าน 59.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าถั่วเหลืองปรกติ ดังนั้นค่า N-retention ที่สูงขึ้นอาจเป็นผลจากการที่กากถั่วเหลืองถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักลดลงส่งผลให้มีการลดการสูญเสียในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนที่อาจเกิดขึ้นได้ในช่วงการหมักย่อยภายในกระเพาะหมัก และ ค่า N-retention ที่สูงกว่านี้อาจส่งผลในทางบวกต่อสมรรถภาพการผลิตในระยะยาวได้

8. สมรรถภาพการผลิตของแกะ

ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารของแกะที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 21 โดยแกะที่ได้รับอาหาร TRT1, TRT2, TRT3 และ TRT4 มีการเพิ่มน้ำหนักต่อตัวต่อวันเท่ากับ 219.02, 219.02, 233.69 และ 233.92 กรัม/วัน ตามลำดับ และประสิทธิภาพการใช้อาหารทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าเท่ากับ 4.58, 4.49, 4.30 และ 4.42 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์โปรตีนในร่างกายสัตว์ขึ้นอยู่กับระดับพลังงาน และสัดส่วนของกรดอะมิโนที่ได้รับหากสัตว์ได้รับกรดอะมิโนต่างๆ และพลังงานในสัดส่วนที่สมดุลแล้ว สามารถนำไปสังเคราะห์โปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โปรตีนจากถั่วเหลืองปกติถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักได้ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อนำมาผ่านการให้ความร้อน 130 °C สามารถลดการย่อยสลายในกระเพาะหมักเหลือเพียงประมาณ 29 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1988) ดังนั้นถั่วเหลืองเมื่อมีโปรตีนถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักในอัตราที่สูงกว่าทำให้สมดุลของกรดอะมิโนสูญเสียไปบางส่วน ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ร่างกายสัตว์ดูดซึมไปใช้ลดลงไปด้วย จากการศึกษาของการใช้ถั่วเหลืองในอาหารแกะขุน Dysli *et al*. (1976) พบว่า การเพิ่มเวลาในการให้ความร้อน แก่ ถั่วเหลืองจาก 0 – 30 นาที มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับอัตราการเจริญเติบโตของลูกแกะขุน ($P<0.05$) โดยการตอบสนองในทางบวกนี้ เนื่องมาจากแกะมีการใช้โปรตีนในถั่วเหลืองที่ผ่านการให้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ ในทางตรงข้าม เมื่อทดสอบการใช้ถั่วเหลืองดิบในอาหารแกะขุน Erickson and Barton (1987) รายงานว่า เมื่อแทนที่กากถั่วเหลืองด้วยถั่วเหลืองดิบในอาหารแกะขุน ถึงแม้ไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพการย่อยได้วัตถุแห้งหรือผนังเซลล์ลดลง แต่การกินได้วัตถุแห้งที่ลดลงเป็นผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของแกะลดลงถึง 21 เปอร์เซ็นต์ ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของสมรรถภาพการผลิตของแกะทดลองในทุกพารามิเตอร์อาจเป็นผลเนื่องระยะเวลาการทดลองที่สั้น (46 วัน) และการเพิ่มโปรตีนไหลผ่าน (bypass protein) ในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง จะให้ผลชัดเจนในสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูงหรืออยู่ในช่วงของสมดุลอาหารเป็นลบ เช่น โคนมให้นมสูงในช่วงแรกของการให้นมหลังคลอดเท่านั้น (Faldet *et al*., 1991)

ตารางที่ 21 น้ำหนักมีชีวิต (LW) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)

Item	TMR1	TMR2	TMR3	TMR4	SEM	p-value
Live weight (kg)						
Initial	19.00	19.37	19.00	18.75	3.07	0.993
Final	29.07	29.45	29.75	29.05	2.98	0.984
Change	10.07	10.07	10.75	10.30	1.31	0.871
ADG (g/d)	219.02	219.02	233.69	233.92	28.66	0.871
DM intake (g/d)	0.997	0.972	0.991	0.988	0.071	0.966
Feed per gain	4.58	4.49	4.30	4.42	0.49	0.873

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่า กากถั่วเหลืองที่นำมาผ่านขบวนการให้ความร้อนด้วยวิธีการเอ๊กซทรูดสามารถลดการถูกย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมักส่งผลให้มีค่าการเก็บกักไนโตรเจนในร่ายกายสัตว์สูงขึ้น และหากนำไปใช้ในสูตรอาหารข้นในระดับที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ ถึงแม้ว่าความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการให้ผลผลิตในอาหารของแกะขุนจะไม่เด่นชัด แต่ก็มีความเป็นไปได้ในเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูงเช่นโคนมให้นมสูงในระยะ 2 เดือนหลังการคลอดลูก โดยการตอบสนองจะชัดเจนหรือไม่ขึ้นอยู่กับสภาวะการได้รับโภชนะของแม่โคนมในขณะนั้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงในการเพิ่มระดับของบายพาสโปรตีนในวัตถุดิบอาหารโปรตีน คือระดับสูงสุดที่ใช้ได้ในสูตรอาหารโดยไม่มีผลเสียต่อระบบการหมักย่อยในกระเพาะหมัก รวมถึงค่าการย่อยได้ที่ลำไส้เล็กของกากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการต่างๆ ซึ่งมีผลต่อการนำไปใช้ได้ของกรดอะมิโนเพื่อการสร้างผลผลิตต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2523. **ถั่วเหลือง.** เอกสารวิชาการเล่มที่ 3. กองแผนงาน กรุงเทพฯ.

กรมปศุสัตว์. 2550. **มาตรฐานพืชอาหารสัตว์หมัก.** เอกสารคำแนะนำ. กองอาหารสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 23 หน้า. กรุงเทพฯ.

กฤษ อังคณาพร. 2547. **สรีรวิทยาของกระเพาะอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง.** ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

จีระชัย กาญจนพฤฒิพงศ์. 2549. **การจัดการฝูงโคนม.** ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.

ชาญวิทย์ แก้วตาปี. 2548. **การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐชนก อมรเทวภัทร. 2548. **เอกสารประกอบการสอน เทคโนโลยีการผลิตอาหารสัตว์.** ภาควิชาเทคโนโลยีทางกระบวนการเคมีและฟิสิกส์. คณะอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เทอดชัย เวียร์ศิลป์. 2548. **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.** พิมพ์ครั้งที่ 5. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 357น.

นิรนาม. 2551. แหล่งที่มา: http://www.rlc.dcccd.edu/mathSci/reynolds/MICRO/lab_manual/dilution2. jpg2, 10 พฤษภาคม 2551.

นวลจันทร์ พารักษา และ สินชัย พารักษา. 2544. **อาหารสัตว์.** ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2527. **โภชนะศาสตร์สัตว์.** ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. **โภชนะศาสตร์สัตว์.** ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

_____. 2546 **ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

บุญฤา วิไลพล. 2528. **พืชอาหารสัตว์เขตร้อนและการจัดากร.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2539**. การผลิตอาหารสัตว์**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

พันทิพา (ชุติมา) พงษ์เพียจันทร์. 2547. **หลักอาหารสัตว์ หลักโภชนาศาสตร์และการประยุกต์ เล่ม 2.** มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร . หน้า 288-293.

พนัส ธรรมกีรติวงศ์. 2537. **การใช้ประโยชน์ของอาหารผสมเสร็จอัดแท่งในโค.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิชิตพล อังธีระนุวงศ์. 2552. **การใช้ใบมันสำปะหลังทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารโคขุน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภมร ปันมาเรือน. 2546. **วิธีลดการย่อยสลายโปรตีนของกากถั่วเหลืองในกระเพาะรูเมนและผลต่อการผลิตน้ำนมโค.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

เมธา วรรณพัฒน์. 2529. **โภชนะศาสตร์เคี้ยวเอื้อง.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

_____. 2545. แนวทางการผลิตและศักยภาพการใช้ประโยชน์ของใบมันสำปะหลัง/มันเฮย์เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์, น.69-81. *ใน* **เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการวิจัยและพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มศักยภาพการแปรรูปอาหารสัตว์และเอทานอล.** ศูนย์วิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รุจิรา ศรีจันทร์. และ ประภาพร กายประเสริฐ. 2547. **คุณภาพถั่วเหลืองที่ผลิตโดยวิธีแตกต่างกันและจากแหล่งต่างๆกัน** สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์. พญาไทย. กรุงเทพฯ.

เลอชาติ บุญเอก. 2551. **ปศุสัตว์เกษตรศาสตร์.** ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

วิโรจน์ ภัทรจินดา. 2546. **โคนม.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สมจิตร ถนอมวงศ์วัฒนะ, อังคณา หาญบรรจง, เพ็ญแข วันไชยธนวงศ์ และ สุนีย์ นิธิสินประเสริฐ. 2550. การสลายได้ของวัตถุแห้งในหญ้าสดและไซเลจชนิดต่างๆ ในกระเพาะหมักของโคนม. **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 45 เล่มที่ 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพ. 227-234 น.

สายัณห์ ทัดศรี. 2520. **หลักการทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์.** ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาโรช ค้าเจริญ. 2547. **อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง.** โรงพิมพ์คลังนานาธรรมวิทยา, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์. 2548. กฎหมาย ระเบียบ ข้อบังคับต่างๆ เกี่ยวกับ **พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2525** ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. เรื่อง กำหนดชื่อ ประเภท ชนิดหรือลักษณะของอาหารสัตว์คุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ ตามชื่อ ประเภท ชนิด หรืออายุของสัตว์ คุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุและการใช้ภาชนะบรรจุ พ.ศ. 2545 หน้า 175.

สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย. 2549. **ภาคสถิติ. ธุรกิจอาหารสัตว์.** 25 (108)

_____. ผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย. 2551. **ภาคสถิติ. ธุรกิจอาหารสัตว์.** 25 (118)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุริยะ สะวานนท์. 2551. **จุลชีววิทยาและเทคโนโลยีชีวภาพด้านจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน.** ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.249น.

อุทัย คันโธ. 2529. **อาหารและการผลิตอาหารสุกรและสัตว์ปีก.** ฉบับเรียบเรียง ครั้งที่ 2. ศูนย์วิจัยและอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กำแพงแสน. นครปฐม. หน้า 71-76.

_____. 2543. **กระบวนการผลิตอาหารสัตว์.** สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. นนทบุรี.

Abel Caines, S.F., R.J. Grant, and S.G. Haddad. 1997. Whole cottonseeds or a combination of soybeans and soybean hulls in the diets of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 80:1353.

Aldrich, C.G. and N.R. Merchen. 1995. Heat treatment of whole soybeans: influence on protein digestion by ruminants. J. Anim. Sci. 73:95.

Allison, B.C. and M.H. Poore. 1993. Feeding value of byproducts in hay-based diets for growing steers: Winter stocker demonstration 1991-92. North Carolina Anim. Sci. Rep. 245.p58.

Amos, H. E., A. R. S., Southern and T. L. Huber. 1974. Effects of Formaldehyde Treatment of Sunflower and Soybean Meal on Nitrogen Balance in Lambes. **J. Anim. Sci**. 38: 702-707.

AOAC. 1990 . Official method of analysis, 13th edition, Association of Analytical Chemists, Washington. DC.

Association of American Feed Control Officials. 1996. Official Publication. Atlanta, GA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Assoumani, M.B., F. Vedeau, L. Jaquot, and C.J. Sniffen. 1992. Refinement of enzymatic method for estimation the theoretical degradability of protein in feedstuffs for ruminant. Anim. Feed Sci. Technol. 39: 35-368.

Awawdeh, M. S., E. C. Titgemeyer, J. S. Drouillard, R. S. Beter and J. E. Shirley. 2007. Ruminal Degradability and Lysine Bioavailability of Soybean Meals and Effects on Performance of Dairy Cows. **J. Dairy Sci**. 90:4740-4753.

Borucki C. S. I., L. E. Phillip, H. Lapierre, P. W. Jardon and R. Berthiaume. 2007. Ruminal Degradability and Intestinal Digestibility of Protein and Amino Acids in Treated Soybean Meal Products. **J. Dairy Sci**. 90:810–822.

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..

Castillo A.R., E. Kebreab, D.E Beever, J.H Barbi, H.C Kerby and J. France. 2001. The effect of energy supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diet. J. Anim. Sci. 79: 240-246.

Chalupa, W. 1984. Degradation of Amino Acids by the Mixed Rumen Microbial Population. **J. Anim Sci**. 43: 828-834.

Chris Y, L, C. 2008. Benefits of Bypass Protein in Ruminant Nutrition. **Technical Bulletin**. AN 37: 1-3.

Church, D.C. 1979. **Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants.** Vol. II O&B Book, Inc., Corvallis, Oregon, U.S.A.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Coomer, J.C., H.E. Amos, C.C. Williams, and J.G. Wheeler. 1993. Responses of early lactation cows to fat supplementation in diets with different nonstructural carbohydrate concentrations. J. Dairy Sci. 76:3747.

Cott, M. A., and R. B. Hespell. 1984. Protein and amino acid metabolism of rumen bacteria. Inc.

Dehority, B.A. 2003. Rumen microbiology**. Nottingham University Press**. Thrumpton, Nottingham.

De Schutter, A. C. and J. R. Morris. 1990. Soybean: Full-Fat. pp. 439-452. *In* P. A. Thacker and R. N. Kirkwood, eds. **Nontraditional Feed Sources for Use in Swine Production**. Butterworth Publ. M.A., U.S.A.

Dysli, R.R., C.B. Ammerman, P.E. Loggins, J.E. Moore and C.R. Arrington. 1976. Effect of steam heating upon the nutritive value of full fat soybean for sheep and rat. J. Anim. Sci. 26: 618-623.

Erickson, P.S. and B.A. Barton. 1987. Whole soybeans for market lambs. J. Anim. Sci. 64: 1249-1254.

Erwin, E. S., G.J. Marco and E.M. Emery. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. **J. Dairy Sci**. 44 : 1768-1771.

Faldet, M.A. and L.D. Satter. 1991. Feeding heat – treated full fat soybeans to cows in early lactation. J. Dairy Sci. 74 : 3047-3055.

Faldet, M.A., Y. S. Son And L. D. Satter. 1992a. Chemical *in vitro* and *in vivo* Evaluation of Soybeans Heated-Treated by various Processing Methods. **J. Dairy Sci**. 75: 789-795.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Faldet, M.A., L. D. Satter and G. A. Broderick. 1992b. Determinating optimal Heat Treatment of Soybeans by Measuring Available Lysine Chemically and Biologically with Rates to maximize Protein Utilization by Ruminant. **J. Nutr**. 122: 151-157.

Florence, Opapeju.and Martin, Nyachoti, Department. 2005. of Animal Science, University of Manitoba.

Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. In: Forage fibre analysis. USDA, Agric. Handbook. pp.379

Goelema, J. O., G. Hof, A. F. B. Van Der Poel and S. Tamminga. 1997. Effect of Particle Size, Cold Pelleting, Steam Pelleting and Expander Treatment on the Rumen Degradability of a Compound Feed for Ruminant. **J. Dairy Sci**. 79:142.

Grant, R.J. 1997. Interactions among forages and nonforage fiber sources. J. Dairy Sci. 80:1438.

Hibberd, C.A., F.T. McCollum, and R.R. Scott. 1987. Soybean hulls for growing beef cattle. Okla. State. Univ. Anim. Sci. Res. Rep. MP-119, p248

Hsu, J.T., D.B. Faulkner, K.A. Garleb, R.A. Barclay, G.C. Fahey, Jr., and L.L. Berger. 1987. Evaluation of corn fiber, cottonseed hulls and soybean hulls as roughage sources for ruminant. J. Anim. Sci. 65:244.

Ishler, *et al*., 1996. Cellulosic waste degradation by rumen-enaerobic digestion. 48: 4pp. 155-162

Khajarern, J., S. Khajarern, K. Bunsiddhi and P. Sakiya. 1979. Detertmination of basic chemical parameters of cassava root products of different origin, processing technology and quality.
pp13-32. In KKU-IDRC Cassava/Nutrition Project 1978 Annual Report, Khon Kaen University, KhonKaen, Thailand.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Khajarern, J., S. Khajarern, A. Sivapraphagon and L. Nandhapipat. 1982. A survey on the changes in chemical composition of cassava root products in Khon Kaen region in 1980. pp 22-29. In KKU-IDRC Cassava/Nutrition Project 1976 Annual Report, Khon Kaen University, KhonKaen, Thailand.

Krishnamoorthy, U., C.J. Sniffen, M.D. Stern and P.J. Van Soest. 1983. Evaluation of mathematical model of rumen digestion and an *in vitro* simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen undegraded nitrogen content of feedstuffs. Br. J. Nutri. 50: 555-568.

Kumar, R. and J. P. F. D'Mello. 1995. Anti–Nutritional Factors in Forage Legumes, pp. 95–133. *In* **Tropical Legumes in Animal Nutrition**. (eds. J. P. F. D'Mello and C. Devendra), Cab International, UK.

Lewis, D. 1975. Blood urea concentration in relation to protein utilization in the ruminant. **J. Agri. Sci.** (camb). 48: 438-446.

Ludden, P.A., M.J. Cecava, and K.S. Hendrix. 1995. The value of soybean hulls as a replacement for corn in beef cattle diets formulated with or without added fat. J. Anim. Sci. 73:2706.

Mahadevan, S., F. D. Sauer and J.D. Erfle. 1987. Preparation of protease from mixed rumen microorganisms and ist use for the *in vitro* determination of the degradability of true protein in feedstuffs. Can. J. Anim. Sci. 67:55-64.

Marini J.C and M.E. Van Amburgh. 2003. Nitrogen metabolism and recycling in Holstein heifers. J. Anim. Sci. 81: 545-552.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Mathis, C.P., R.C. Cochran, E.S. Vanzant, I.E.O. Abdelgadir, J.S. Heldt, K.C. Olson, D.E. Johnson, J. Caton, D. Faulkner, G. Horn, S. Paisley, R. Mass, K. Moore and J. Halgerson. 2001. A collaborative study comparing an *in situ* protocol with single time point enzyme assay for estimating ruminal protein degradability of different forages. Anim. Feed Sci. Technol. 93: 31-42.

Moore, J.A., M.H. Poore, and J.M. Luginbuhl. 2002. By-product feeds for mrat goat: effects on digestibility, ruminal environment, and carcass characteristics. J. Anim. Sci. 80:1752.

Nocek, J.E. 1985. Evaluation of specific variables affecting *in situ* estimates of ruminal dry matter and protein digestion. J. Anim. Sci. 60: 1347-1358.

Nocek, J.E. and S.Tammiga. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. J. Dairy Sci.74 : 3598 – 3629.

NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle (6th Ed.) National Academy Press, Washington, DC.

NRC. 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th Edition. Nutritional Pesearch Council, Washington D.C.

NRC. 2001. **Nutrition Requirement of Dairy Cattle**. 7h rev. ed. National Academic Press, Washington D.C.

Oke, O.L. 1978. Problem in the use of cassava as animal feed. Anim.Feed Sci.Tech. 3:345-380.

Øskov, E. R. and I. McDonald. 1979. The Estimation of Protein Degradability in the Rumen from incubation Measurements Weighted Recording to Rate of Passage. **J. Agr. Sci**. Camb. 92: 499-503.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Reddy, P.V. and J.L. Morrill. 1992. Effect of roasting temperaturea on soybean utilization by young dairy calves. J.Dairy Sci.76 : 1387 – 1393

Robinson, P. H., A. H. Fredeen, W. Chalupa, W. E. Julien, S. Sato, T. Fujiea and S. Suzuki. 1995. Ruminally Protected Lysine or Lysine and Methionine for Lactating Dairy Cows fed a Ratio Designed to Meet Requirements for Microbial and Postruminal Protein. **J. Dairy Sci**. 78: 582-594.

SAS. 2003. SAS/STAT User, Guide. SAS Instiute Inc., Cary, North Carolina.

Schwab, C. 1994. Feeding the high producing dairy cow: An update on bypass protein and amino acid supplementation. Paper presented at World Dairy Expo.Madison, Wisconsin, Oct 7, 1994.

Schwab, C. G. 1995. Protected Proteins and Amino Acids for Ruminants, pp. 115-141. *In* **Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding**. (eds. R. J. Wallace and A. Chesson). VCH Publishers Inc., Weinheim.Soybeans Heated-Treated by various Processing Methods. **J. Dairy Sci.** 75: 789-795.

Sommart, K., M. Wanapat, P. Rowlinson, D.S. Parker, P. Climee and S. Panishying. 2000. The use of cassava chips as an energy source for lactating dairy cows fed with rice straw. Asian-Aus. J. Anim. SCi. 13:1094-1101.

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

Sommart, K., M. Wanapat, D.S. Parker and P. Rowlinson. 1996. Cassava chips as an energy source for lactating dairy cows fed with rice straw. In Proceeding of the 8th AAAP Animal Science Congress. 2 : 158. Tokyo: Japanese Society of Zootechnical Science.

Susmel, P., C.R. Mills, M. Colitti and B. Stefanon. 1993. *In vitro* solubility and degradability of nitrogen in concentrate ruminant feed. Anim. Feed Sci. Technol. 42: 1-13.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Stern, M. D., K. A. Santos and L. D. Satter. 1985. Protein Degradation in Rumen and Amino Acids Absorption in the Intestine of Lactating Dairy Cattle fed Heat-Treated whole Soybeans. **J. Dairy Sci**. 68: 45-56.

Tamminga, S.and A.J.M. Jansman. 1993. Animal nutrition (lecture note) (ED:B.A. Williams). Dept.of Animal Nutrition, Wagengan Agriculture University, the Netherlands.

Tamminga, S. 1979. Protein Degradation in the Forestomachs of Ruminant. **J. Anim Sci**. 49: 1614-1623.

Tewatia, B.S., V.K. Khatia., A.S. Virkand P.C. Gupta. 1995. Effect of formaldehyde treated faba bean (Vicia faba L.) on performance of lactating goats. Small Ruminant Research. 16 (2):107-111.

Tiffany, T. O., J. M. Jansen, C. A. Burtis, J. B. Overton and C. D. Scott. 1972. Enzymatic Kinetic Rate and Eend Point Analyses of Substrate by the use of a GeMSAEC fast analyser. **Clin Chem**. 18: 829-840.

Tomankova, O. and J. Kopecny. 1995. Prediction of feed protein degradation in rumen with bromelain. Anim. Feed Sci. Technol. 53: 71-80.

Underwood, J.P., J.N. Spain, and M.C. Lucy. 1998. The effects of feeding soy hulls in transition cow diet on lactation and performance of Holstein dairy cows. J. Dairy Sci. 78 (Suppl. 1): 296. (Abstr.).

Van Soest, P. J. 1994. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. 2nd ed. Comstock Publishing Cornell University Press, Ithaca, New York.

Virginia, I. and V. Gabriella. 2009. **Soybeans and Soybean Byproducts for Dairy Cattle**. Department of Dairy and Animal Science, The Pennsylvania State University.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Volden H, L.T. Mydlandand V. Olaisen. 2002. Apparent ruminal degradation and rumen escape of soluble nitrogen fraction in grass and grass silage administered intraruminally to lactating dairy cows. J. Anim. Sci. 80: 2704-2716.

Wallace, R. J.and C.A. Munro. 1986. Influence of the rumen anaerobic fungus *Neocallimastix frontalis* on the proteolytic activity of a defined mixture of rumen bacteria growing on a solid substrat.Latt. Appl. Microbiol. 3:23-26.

Wallace, R. J. 1996. Ruminal Microbial Metabolism of Peptides and Amino Acids. **J. Nutr**. 126: 1326S-1334S.

Waltz, D. M. and M. D. Stern. 1989. Evaluation of Various Methods for Protecting Soya-Bean Protein from Degradation by Rumen Bacteria. **Anim. Feed Sci. Tech**. 25: 111.

Wang, Y. T. A. McAllister, M. D. Pickard, Z. Xu, L. M. Rode and K. J. Cheng. 1999. Effect of Micronizing Full Fat Canola Seed on Amino Acid Disappearance in the Gastrointestinal Tract of Dairy Cows. **J. Dairy Sci**. 82: 537-544.

Weidner, S.J. and R.J. Grant. 1994. Altered ruminal mat consistency by high percentages of soybean hulls fed to lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 77:522.

Winowiski, T. S. and M. D. Stern. 1987. Identification of Process Factor Affecting Degradability of Lignosulfonate-Treated Soybeans Meal by Rumen Microbes. **J. Anim. Sci**. 65: 468.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก
กระบวนการบีบน้ำมันถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ก 1 กระบวนการบีบน้ำมันถั่วเหลือง

(1) การเทถั่วที่คั่วแล้วลงในเครื่องบีบอัดน้ำมัน

(2) กากถั่วที่ได้จากการบีบน้ำมันผ่านเกลียวอัด

(3) น้ำมันที่ได้จากการบีบน้ำมันถั่วเหลือง

(4) กากถั่วเหลืองจากการบีบน้ำมัน มีลักษณะเป็นแผ่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

กระบวนการ Extrusion

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลักการ

วัตถุดิบอาหารจะผ่านความร้อนและความดันภายในกระบอกโลหะ โดยมีไอน้ำเป็นตัวช่วยเพิ่มความร้อน ภายในกระบอกจะมีสกรู (screw) เป็นตัวส่งให้อาหารเคลื่อนที่ไปได้ ในสภาวะที่มีความดัน และความร้อนอาหารจะถูกเฉือน จนอ่อน นิ่ม และละลาย เป็นของหนืด เมื่อออกมาจากกระบอกแล้วสัมผัสกับอากาศภายนอกกระบอก อาหารจะพองตัวขึ้นแล้วแข็งตัวตามลำดับ โดยออกมาเป็นเส้น แล้วจะถูกใบมีดตัดให้เป็นท่อนสั้นๆ ตามความเร็วและระยะห่างของใบมีดกับปลายกระบอก

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องเอ๊กทรูด (Extruder) ซึ่งประกอบด้วย ถังกวนอาหาร ซึ่งภายในมีใบพัดช่วยกวนอาหารสายพานส่งอาหารไปยังกระบอกโลหะกระบอกท่อโลหะ กระบอกท่อโลหะซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการ Extrusionและใบมีดตัดอาหารที่ออกจากกระบอกโลหะให้เป็นท่อนสั้นๆ ดังรูป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ข 1 เครื่องเอ๊กทรูด (Extruder)

1. ถังกวนอาหาร
2. ท่อและสกรูส่งอาหาร
3. กระบอกท่อโลหะ
4. ใบมีดตัดอาหาร
5. ตู้ควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมความเร็ว และเปิด-ปิด ตัวส่ง อาหาร ใบมีด ปั๊มน้ำลดความร้อนของกระบอกท่อโลหะ
6. ถังน้ำ สำหรับหล่อเย็นเพื่อลดความร้อนของกระบอกโลหะ

ขั้นตอนและวิธีการ

ภาพผนวกที่ ข 2 ตรวจสภาพความพร้อมของเครื่อง พร้อมทั้งทำการอุ่นเครื่อง

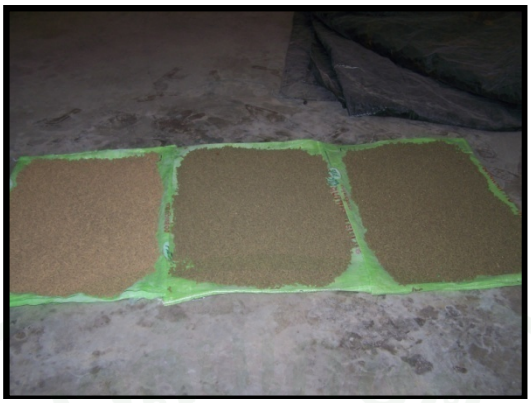
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ข 3 การผสมวัตถุดิบอาหารและคลุกเล้าให้เข้ากัน พร้อมทั้งทำการเติมน้ำเพื่อปรับความชื้นให้เหมาะสม

ภาพผนวกที่ ข 4 เมื่อเข้ากันแล้วจากนั้นเปิดสวิตซ์ควบคุมการไหลของวัตถุดิบไปยังท่อกระบอกโลหะจนอาหารออกจากท่อกระบอกโลหะออกมามีลักษณะเป็นของหนืดเป็นเส้น

ภาพผนวกที่ ข 5 การใช้ใบมีดตัดอาหารให้สั้นลงเป็นท่อนเล็กๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ข 6 ผึ่งให้แห้งเพื่อไล่ความชื้นออก

ภาพผนวกที่ ข 7 ลักษณะของเม็ดอาหารที่ผึ่งจนแห้งแล้ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค
การหาค่าสมดุลไนโตรเจน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเปลี่ยนแปลงสภาวะในกระเพาะหมัก

การทดสอบการย่อยได้ของอาหารและการสะสมไนโตรเจนในร่างกาย

ภาพผนวกที่ ค 1 ระบบการจัดการ การให้อาหาร และน้ำ

ภาพผนวกที่ ค 2 การเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ค 3 แกะเจาะกระเพาะรูเมน

ภาพผนวกที่ ค 4 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างปัสสาวะและมูลแกะทดลอง

ภาพผนวกที่ ค 5 การวิเคราะห์ทางเคมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ค 6 ชั่งน้ำหนักแกะ

ภาพผนวกที่ ค 7 การเจาะเลือด

ภาพผนวกที่ ค 8 การดูดของเหลวในกระเพาะรูเมน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ง
ดัชนีการละลายได้ของโปรตีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Protein Dispersibility Index (PDI)

(AOCS Recommended Practice Ba 10a-05)

ขั้นตอนและวิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 20 ± 0.2 กรัม ใส่ลงในโถปั่น

2. เติมน้ำกลั่น (อุณหภูมิ 25 ± 1 ºC) ลงในโถปั่นที่มีตัวอย่าง 300 ml. แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นแบบเปียกที่ความเร็ว 8,500 rpm. 10 นาที

3. นำตัวอย่างที่ปั่นเสร็จแล้วเทลงใน Beaker 600 ml. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนสักครู่ แล้ว Pipet ส่วนบนมา 50 ml. ใส่ลงใน centrifuge tube แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,700 rpm. 10 นาที

4. Pipet สารละลายที่ทำการเหวี่ยงแล้ว 15 ml. ใส่ลงใน digestion tube เพื่อนำไปวิเคราะห์หาไนโตรเจน ด้วยวิธีของ AOAC (1990)

5. ขั้นตอนการย่อย เติม Potassium bicarbonate 7 กรัม และ H_2SO_4 conc. 15 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าย่อยด้วยเครื่องย่อย (อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส) ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง หรือจนกว่าสารละลายใน digestion tube เปลี่ยนเป็นสีใส (ในขณะทำการย่อยจะต้องเปิด hood และเครื่องดูดไอกรด) เมื่อย่อยเสร็จนำออกมาตั้งทิ้งไว้ใน hood ให้เย็น ประมาณ 1 ชั่วโมง

6. ขั้นตอนการกลั่นไนโตรเจน นำ digestion tube ที่ทำการย่อยเรียบร้อยแล้วมาเข้าเครื่องกลั่นไนโตรเจน และนำ Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม Boric acid 4 % จำนวน 25 มิลลิลิตร และ indicator 2-3 หยด นำไปรองกับปลายสายยางทางด้านขวาของตัวเครื่องกลั่นไนโตรเจน (เครื่องกลั่นจะเติมน้ำกลั่นและ NaOH 45 %) แล้วนำสารละลายใน Erlenmeyer flask ที่กลั่นเสร็จแล้วมาทำการไตเตรทกับ Std. H_2SO_4 0.1 N จนเป็นกลาง (เปลี่ยนสีจากสีฟ้าใสกลับไปเป็นสีชมพูอ่อนเช่นเดิม) แล้วทำการคำนวณค่าไนโตรเจน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ง 1 แสดงอุปกรณ์ ขั้นตอน และวิธีการละลายโปรตีนในน้ำ

(1) เครื่องชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

(2) โถปั่น พร้อมอุปกรณ์สำหรับตวง

(3) Beaker ตัวอย่างที่ปั่นเสร็จแล้ว พร้อมอุปกรณ์สำหรับปิเปต

(4) เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ง 2 แสดงขั้นตอน อุปกรณ์ และวิธีการวิเคราะห์หาไนโตรเจน (AOAC, 1990)

(1) การชั่งตัวอย่างและสารเคมี
(2) เติม H_2SO_4 conc.
(3) การเข้าย่อยใน hood
(4) เครื่องกลั่นไนโตรเจน
(5) การกลั่นตัวอย่าง
(6) การไตเตรท

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ–นามสกุล	นายปริญญา คามา
วัน เดือน ปีที่เกิด	วันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2499
สถานที่เกิด	อ. จะแนะ จ. นราธิวาส
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้น (มศ.3)โรงเรียนปทุมคงคา อนุสรณ์ อ.หนองจิก จ. ปัตตานี พ.ศ. 2520
	ปวช. วิทยาลัยเกษตรกรรมนราธิวาส อ. ระแงะ จ. นราธิวาส พ.ศ. 2523
	ปวส. วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเกษตร นครศรีธรรมราช อ. ทุ่งสง จ. นครศรีธรรมราช พ.ศ. 2525
	วท.บ. (สัตวบาล) วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา คณะเกษตรศาสตร์บางพระ อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี พ.ศ. 2527
ประวัติการทำงาน	ผู้จัดการฟาร์มเฟรด (ฟาร์มโคนม) อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี พ.ศ. 2527 ดำรงตำแหน่ง อาจารย์ 1 ระดับ 3 ศูนย์ฝึกวิชาชีพนครนายก อ. เมือง จ. นครนายก 1 ตุลาคม พ.ศ. 2528
	ได้รับคำสั่งโยกย้าย ประจำวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนราธิวาส พ.ศ. 2532 และ 1 ต.ค. พ.ศ. 2538 ดำรงตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์