



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พืชโปรตีนอาหารสัตว์และเมล็ดธัญพืช
น้ำมันในการเพิ่มระดับโปรตีนไหลผ่าน และกรรมวิธีในการป้องกันการย่อยได้ของโปรตีนและ
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในรูเมน

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ แพงคำ

มิถุนายน 2549



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พืชโปรตีนอาหารสัตว์และเมล็ดธัญพืช
น้ำมันในการเพิ่มระดับโปรตีนไหลผ่าน และกรรมวิธีในการป้องกันการย่อยได้ของโปรตีนและ
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในรูเมน

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ แพงคำ

มิถุนายน 2549

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พืชโปรตีนอาหารสัตว์และเมล็ดธัญพืช
น้ำมันในการเพิ่มระดับโปรตีนไหลผ่าน และกรรมวิธีในการป้องกันการย่อยได้ของโปรตีนและ
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในรูเมน

(Enhancing the Efficient Utilization of Protein Foliages and Oil Seed on Increasing By-
pass Protein, Processing of Protected Protein and Unsaturated Fatty Acids
Degradation in Rumen)

ผู้วิจัย



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ แพงคำ
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต. สุรนารี อ. เมือง
จ.นครราชสีมา 30000

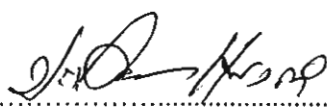
สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งต่อ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงาน
กองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยในครั้งนี้
ขอขอบคุณอย่างสูงต่อ ศาสตราจารย์ ดร. เมธา วรรณพัฒน์ นักวิจัยที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ
ตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ศูนย์เครื่องมือ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทส. (F3) ที่ให้การสนับสนุนในด้านวัสดุ อุปกรณ์ ตลอดจนอำนวยความสะดวก
สะดวกด้านสถานที่ ที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายฝ่าย ทั้งคณาจารย์สำนักวิชา
เทคโนโลยีการเกษตร นักศึกษาผู้ช่วยวิจัย นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ มทส. ทุกท่าน
ที่มีส่วนร่วมในการวิจัย คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูง ณ โอกาสนี้ ที่ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้
ด้วยดี



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ แพงคำ)

หัวหน้าโครงการ

มิถุนายน 2549

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของพืชและเมล็ดธัญพืชในท้องถิ่น โดยมีเป้าหมายในการทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีราคาแพง การศึกษาได้สุ่มเก็บตัวอย่างวัตถุดิบที่มีมากในท้องถิ่น ได้แก่ กลุ่มพืชโปรตีนอาหารสัตว์ ได้ทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี วัดความสามารถในการย่อยได้ในรูเมน และการย่อยได้ในลำไส้เล็ก โดยใช้โคเจาะกระเพาะจำนวน 3 ตัว มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย $314 + 14$ กก. พืชโปรตีนอาหารสัตว์ที่สุ่มมาได้แก่ มันสำปะหลัง กระถิน ขนุน หม่อน ที่มีอยู่ในท้องถิ่น ผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการย่อยได้วัตถุแห้งในรูเมนของ ใบมันหรือมันเฮย์ และใบหม่อน สูงกว่า กระถินและขนุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ใบมันสำปะหลังมีความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีนในกระเพาะรูเมนสูงกว่าขนุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาในครั้งนี้กล่าวได้ว่าใบพืชโปรตีน ได้แก่ มันเฮย์ หม่อน ขนุนและ กระถิน สามารถปรับปรุงค่าการย่อยได้ในรูเมน ค่าการย่อยได้เหล่านี้ยังสามารถใช้สำหรับเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการ สำหรับใบพืชอาหารสัตว์ในท้องถิ่น และใช้ประกอบการคำนวณสูตรอาหารเพื่อเพิ่มการให้ผลผลิตต่อไป

การทรีตเมนต์และกากเมล็ดทานตะวันที่อุณหภูมิ 120°C และ 140°C เป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นนำไปบ่มในรูเมน พบว่าทำให้เกิด conjugated linoleic acid (CLA) สูงกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ทรีตเมนต์ และหลังการบ่มในรูเมนที่ระหว่าง 12 ถึง 24 ชั่วโมง ทำให้ระดับ CLA สูงสุด

การศึกษาการใช้กากเมล็ดทานตะวันทดแทนโปรตีนจากวัตถุดิบอาหารราคาแพง คือกากถั่วเหลือง โดยทดลองในแพะเนื้อพบว่า สามารถใช้ทดแทนได้ถึง 50% ทำให้การเจริญเติบโต การย่อยได้ เมททาโบลิซึมในรูเมน ดีขึ้น แต่เมื่อทดแทนถึง 75% พบว่าทำให้ปริมาณการกินได้ การย่อยได้ การสังเคราะห์ผลผลิตสุดท้ายในรูเมน และการเจริญเติบโตลดลง ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากการที่สัตว์ได้รับส่วนที่เป็นเยื่อใยสูงจากกากเมล็ดทานตะวัน

Abstract

The objective of this study was to evaluate nutritional of locally protein foliages for animal feed and feeding, and to determine the digestibilities of protein foliages using *in sacco* technique. Three cattle with an average weight of 314 ± 14 kg, each fitted with a permanent rumen and a T-shape duodenum cannulae. The rate of dry matter digestibility in the ruminal at 4 to 12 hr of incubation times of cassava foliage was significantly higher ($p < 0.05$) than leucaena foliage. Similarly, organic matter digestibility at 8 to 12 hr of incubation times of cassava foliage was significantly higher ($p < 0.05$) than leucaena foliage. While crude protein digestibility from 8 to 72 hr of incubation times of cassava foliage was significantly higher ($p < 0.05$) than leucaena foliage. The portions of intestinal degradability of dry matter and organic matter were not significant difference. However crude protein degradability in the intestinal of cassava foliage was significantly higher ($p < 0.05$) than leucaena foliage. The total digestibility of cassava foliage was also significantly higher ($p < 0.05$) than leucaena foliage.

Sunflower seeds were treated with high temperature at 100, 120 and 140°C, each group treated for 60 min. Crude protein degradability of SS in the rumen of SS treated with 140°C and 120°C were significantly higher ($p < 0.05$) than those SS. Intestinal and total digestibility of SS treated with 120°C were also significantly higher ($p < 0.05$) than untreated SS. It is concluded that heat treatment of SS at about 120°C and 140°C for 60 min can be improved intestinal digestibility (by-pass protein available), and reduced undigested residues.

The last experiment, twelve goats of 8-9 month old were used to examine 4 dietary in a 4 x 4 latin square design. The four level of protein from sunflower seed meal (SSM) substituting with expensive protein from soybean meal were 2, 25, 50 and 75 %, respectively. All goats were fed *ad libitum* of corn silage. The results of this experiment revealed that SSM could substitute 50 % of CP from SSM without affected to ADG, digestibility, rumen fermentation and feed intake. The former did not differ from goats fed substitute 25 %. However, ADG, feed intake, digestibility, ruminal end-products and N-balance of goats fed the substitution of SSM to soybean meal up to 50% but decreased ($p < 0.05$) with 75%. This implies that the optimum level of the substitution of SSM to soybean meal was about 25 to 50 % in a corn silage based diets.

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)
ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย): การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พืชโปรตีนอาหารสัตว์และเมล็ดพืช
น้ำมันในการเพิ่มระดับโปรตีนไหลผ่าน และกรรมวิธีในการป้องกันการ
ย่อยได้ของโปรตีนและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ในรูเมน

(ภาษาอังกฤษ) : Enhancing the Efficient Utilization of Protein Foliages and Oil Seed on
Increasing of By-pass Protein and Processing of Protected Protein and
Unsaturated Fatty Acids Degradation in Rumen

ชื่อหัวหน้าโครงการและนักวิจัยร่วมโครงการ พร้อมหน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล ดร.ปราโมทย์ แพงคำ

หน่วยงาน สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ที่อยู่ 111 ถ. มหาวิทยาลัย อ.เมือง จ. นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 044-224575, 07-2353974

โทรสาร 044-224150

E-mail address : pramote@sut.ac.th

สาขาที่ทำการวิจัย โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง

การใช้ร่วมกับเมล็ดพืชน้ำมัน เพื่อปรับปรุง

ระยะเวลาดำเนินการ 24 เดือน

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญของปัญหา

พืชโปรตีนอาหารสัตว์ (protein foliage) หลายชนิดเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน และสามารถนำมาใช้ในการเลี้ยงแพะ โดยพืชเหล่านี้อาจจะเป็นพืชเศรษฐกิจหรือพืชที่ขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ พืชยืนต้น ไม้พุ่ม พืชล้มลุก พืชเลื้อย รวมไปถึงถั่วต่างๆ หลายชนิดของพืชเหล่านี้ประกอบด้วยโปรตีนในระดับสูงและสามารถนำมาเสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง และพืชหลายชนิดประกอบด้วยโปรตีนที่มีคุณภาพสูงสามารถไหลผ่านรูเมนได้ (rumen by-pass protein) ทั้งนี้เพราะมีสารประกอบแทนนิน-โปรตีน (tannin-protein complex) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง นอกจากนั้นยังมีแร่ธาตุที่สำคัญอยู่สูงด้วย เช่น Ca, P, Mg, K และ วิตามินต่างๆ เป็นต้น Reed (1995) และ Makkar (2000) รายงานว่าถ้ามี tannin ในพืชอาหารสัตว์ต่ำกว่า 2-4% จะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งมีพืชอาหาร

สัตว์หลายชนิดที่มี tannins อยู่ในระดับดังกล่าวหากมีการจัดการที่ดี เช่น จากมันเฮย์ (Wanapat, 2001, 2002) หรือจากพืชอาหารสัตว์อื่นๆ เช่น กระถิน ปอ (Paengkoum et al., 2003) อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์ของพืชโปรตีนอาหารสัตว์จะถูกจำกัดโดยการที่มีระดับคอนเดนส์แทนนินส์ (condensed tannins) สูงเกินไป (>6% DM) (Reed et al., 1982; Barry and Manley 1984) นอกจากนี้ Wanapat et al. (2001) และ Makkar et al. (1995) พบว่า condensed tannins สามารถเพิ่มการผลิตจุลินทรีย์โปรตีนได้สูงขึ้น แต่กลไกที่เกิดขึ้นยังไม่ทราบเป็นที่แน่นอน ดังนั้นการนำพืชเหล่านี้มาใช้จึงต้องมีการศึกษาอย่างละเอียด ในพืชแต่ละชนิดไป

ความเข้มข้นของ CLA ในน้ำมันของสัตว์เคี้ยวเอื้องขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมัน คือกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ที่เสริมในอาหาร (Grinari et al., 1996) โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบอาหารที่มีกรดไขมันลิโนเลอิก (linoleic acid) เป็นองค์ประกอบ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีกรดไขมันลิโนเลอิกมาก ได้แก่ ถั่วลิสง (linseed), ซัฟฟลาวเวอร์ (safflower), เมล็ดทานตะวัน เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งเมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องกินอาหารเหล่านี้ จุลินทรีย์ในรูเมนจะเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวไปเป็นกรดไขมันอิ่มตัวซึ่งเรียก biohydrogenation อย่างไรก็ตามกรดไขมันบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่สมบูรณ์เกิดเป็น conjugated linoleic acid (CLA) ซึ่งสัตว์สามารถนำไปสร้างเป็นองค์ประกอบของน้ำมันและเนื้อเยื่อไขมันอื่นๆ ในร่างกาย และในปัจจุบันพบว่า CLA เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ (Belurg, 1995) สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) และต่อต้านการเกิดมะเร็งในหนู (Pariza and Hargraves, 1985; Ha et al., 1987) ลดการเกาะกันของไขมันตามผนังเส้นเลือดในหนู (Park et al., 1990) เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมของแร่ธาตุของกระดูก (Li et al., 1999) และเกี่ยวข้องกับการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกายของหนู (Sugano et al., 1998) เป็นต้น ซึ่งอาจจะมีผลเช่นเดียวกับในมนุษย์

ในการศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาการใช้ประโยชน์พืชอาหารสัตว์ที่มีในท้องถิ่น เพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะพืชที่มีแทนนินเป็นองค์ประกอบ ในการเพิ่มระดับโปรตีนไหลผ่าน โดยจะมีการใช้ร่วมกับเมล็ดพืชน้ำมัน เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเนื้อแพะโดยเฉพาะในส่วนหาง กรดอมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) และ กรดไขมันชนิด unsaturated fatty acids รวมทั้ง conjugated linoleic acid (CLA) เพื่อให้ได้เนื้อที่มีคุณภาพดี ตรงตามความนิยมของผู้บริโภค และยังเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. ผลการศึกษาวิจัย สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานลักษณะ โภชนาการ โดยเฉพาะลักษณะพิเศษของพืชโปรตีนอาหารสัตว์ และเมล็ดธัญพืชหรือพืชน้ำมันในท้องถิ่น
2. ผลการพัฒนาเทคนิคการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ สามารถนำมาพัฒนาการเรียนการสอน และทดสอบอาหาร โปรตีนอื่นๆ ได้รวดเร็ว และลดความเสี่ยงในการใช้สัตว์ทดลองผ่าตัดลำไส้เล็ก
3. การเสริมหรือทดแทนพืชโปรตีนที่มีในท้องถิ่นสามารถลดต้นทุนการผลิตอาหาร โดยเฉพาะแหล่ง อาหารโปรตีนนำเข้า เช่น ถั่วลิสง และเพิ่มการใช้ทรัพยากรอาหารที่มีอยู่ในท้องถิ่น

4. เป็นการศึกษาองค์ความรู้ใหม่ด้านโภชนาศาสตร์ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง อันจะนำไปสู่การปรับปรุงและเพิ่ม ประสิทธิภาพการผลิต และยังจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาวิจัยในส่วนลึกต่อไป และในทางการค้าต่อไป

ระเบียบวิธีวิจัย

9.1 ลักษณะทางโภชนาการ ความสามารถในการย่อยได้ในรูเมน และการย่อยได้ในลำไส้เล็กของพืช โปรตีนอาหารสัตว์ จะทำการสุ่มเก็บพืชโปรตีนอาหารสัตว์ที่มีอยู่ในท้องถิ่น ได้แก่ มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta*, Crantz), กระถิน (*Leucaena leucocephala*), ขนุน (*Artocarpus heterophyllus*), หม่อน (*Morus alba*) และพืชตระกูลถั่วต่างๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่น เพื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ DM, ash, CP และ ether extract (AOAC, 1985), neutral detergent fiber (NDF) และ acid detergent fiber (ADL) (Goering and Van Soest, 1970) และ condensed tannins (Burns, 1972)

ใช้โคเจาะกระเพาะแบบถาวร (permanent rumen fistulae) จำนวน 3-4 ตัว เลี้ยงในคอกขังเดี่ยว ปรับอาหารด้วยพื้นฐานอาหารหยาบด้วยฟางหมักยูเรีย เป็นเวลา 2 สัปดาห์ และวัดความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารที่จะทดสอบ โดยใช้เทคนิคถุงไนลอน (nylon bag technique) โดยบ่มในรูเมนที่ชั่วโมงที่ 0, 2, 4, 8, 16, 24, 48 และ 72 ตามลำดับ ตามวิธีการของ Ørskov and McDonald (1979) และนำมาคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Curvefit (Chen, 1996)

อาหารที่ผ่านการย่อยในรูเมน (residues) นำมาศึกษาต่อเพื่อวัดการย่อยได้ในลำไส้เล็กโดยใช้เทคนิคการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) ตามวิธีการของ Calsamiglia and Stern (1995)

การทรีตเมนต์ลี้ดธัญพืชหรือพืชน้ำมัน ที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน เช่น เมล็ดทานตะวัน เมล็ดข้าวโพด เมล็ดถั่วต่างๆ เป็นต้น และเปรียบเทียบระดับ กรดไขมันอิสระ และ CLA ที่เปลี่ยนแปลงทั้งก่อนและหลังการทรีตเมนต์

คัดเลือกเมล็ดพืชน้ำมันมาทดสอบเพื่อวัดการย่อยได้ในรูเมน และระดับของไขมันและโปรตีนไหลผ่าน แล้ววัดระดับของกรดไขมันทั้งก่อนและหลังจากการบ่มในรูเมนที่เวลาต่างๆ กัน ได้แก่ วัตถุแห้ง, โปรตีนหยาบ, NDF, ADF, ether extract (EE) และกรดไขมัน รวมทั้งกรดไขมันชนิด CLA โดยใช้เครื่อง gas chromatography (GC) ตามวิธีการที่ปรับปรุงโดย Kim and Liu (1999)

ผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้ Proc. GLM (SAS, 1989)

ผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่าพืชในท้องถิ่นหลายชนิด มีศักยภาพในการนำมาใช้เพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้แก่ ใบรวมกิ่งก้าน (foliage) กระถิน มันสำปะหลัง ขนุน หม่อน เป็นต้นซึ่งพืชเหล่านี้ประกอบด้วยโปรตีนสูงระหว่าง 15-27 % นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยสารประกอบแทนนินซึ่งเมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไป สารประกอบแทนนินจะจับกับโปรตีนและไม่ถูกปล่อยหรือย่อยในรูเมน แต่เมื่อผ่าน

ไปที่กระเพาะแท้หรืออะโบลมาซัม และถ้าไส้เล็กจะถูกปลดปล่อย สารแทนนินถูกขับออกไปกับมูล ส่วนโปรตีนจะถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ส่วนกากเมล็ดธัญพืชและพืชน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีนและพลังงาน เมล็ดหรือกากเมล็ดทานตะวันประกอบด้วยโปรตีนไหลผ่านสูง และยังประกอบด้วยไขมันสูงด้วย และยังเป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเมื่อสะสมตามอวัยวะต่างๆ ของสัตว์ไม่ว่าจะเป็นเนื้อหรือน้ำมันจะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค ซึ่งผลการวิจัยพบว่า การนำเมล็ดหรือกากเมล็ดทานตะวันไปทรีตด้วยอุณหภูมิสูงและจุ่มในรูเมนพบว่าทำให้เกิด conjugated linoleic acid สูงขึ้น ซึ่งจะได้มีการศึกษาวิจัยต่อไปเนื่องจากหาก CLA สามารถไปสะสมตามกล้ามเนื้อหรือน้ำมัน จะทำให้เป็นประโยชน์มหาศาลต่อผู้บริโภค เนื่องจากมีงานวิจัยที่พบว่า CLA สามารถป้องกันการเกิดโรคมะเร็งได้ในสัตว์ทดลอง

การศึกษาการใช้กากเมล็ดทานตะวันทดแทนโปรตีนจากวัตถุดิบอาหารราคาแพงคือกากถั่วเหลือง โดยทดลองในแพะเนื้อพบว่า สามารถใช้ทดแทนได้ถึง 50% ทำให้การเจริญเติบโต การย่อยได้ เมทาบอลิซึมในรูเมน ดีขึ้น แต่เมื่อทดแทนถึง 75% พบว่าทำให้ปริมาณการกินได้ การย่อยได้ การสังเคราะห์ผลผลิตสุดท้ายในรูเมน และการเจริญเติบโตลดลง ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากการที่สัตว์ได้รับส่วนที่เป็นเชื้อไขสูงจากกากเมล็ดทานตะวัน

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
Abstract	iii
หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)	iv
สารบัญ	viii
สารบัญตาราง	x
สารบัญรูป	xi
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
2. การตรวจเอกสาร	
2.1 บทนำ	3
2.2 พืชโปรตีนอาหารสัตว์ (protein foliages)	4
2.3 ระบบการย่อยหมักในรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	4
2.4 การทำงานของจุลินทรีย์ในรูเมน	5
2.5 นิเวศวิทยารูเมนและกระบวนการหมักในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	7
2.6 บทบาทของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	8
2.7 การปรับเปลี่ยนนิเวศวิทยารูเมนโดยกลยุทธ์การเสริมอาหาร	9
2.8 เทคโนโลยีการปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ของอาหารโดยจุลินทรีย์ในรูเมน	9
2.9 การใช้เมล็ดและกากเมล็ดทานตะวันในอาหารสัตว์	10
2.10 ความสำคัญและการสังเคราะห์ conjugated linoleic acid ในรูเมน	16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3. อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 บทนำ	18
3.2 วิธีเก็บรวบรวมข้อมูล	18
3.3 สัตว์ทดลอง	18
3.4 อาหารและการให้อาหารสัตว์ทดลอง	18
3.4 เทคนิค nylon bag	18
3.5 เทคนิค mobile bag	19
3.6 Three-step in vitro procedure	19
3.7 การศึกษาการใช้รัญพืชทดแทนแหล่งโปรตีนราคาแพงเป็นอาหารแพะเนื้อ	24
3.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	24
3.9 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	24
 4. ผลการทดลองและวิจารณ์	25
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก	41
ประวัติหัวหน้าโครงการ	53
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์จากการวิจัยในครั้งนี้	58

สารบัญตาราง

หน้า

Table 2.1 Fatty acid profile of common ruminant feeds	13
Table 4.1 Chemical compositions of cassava, leucaena, kenaf foliages and <i>Morus alba</i>	26
Table 4.2. Percentage of DM and CP disappearances of Leucaena and Mulberry foliages incubated in rumen of cattle	27
Table 4.3 Chemical compositions of cassava hay and leucaena foliage(DM basis, %)	27
Table 4.4 Percentage of DM, OM and CP disappearances of Leucaena and Mulberry foliages incubated in rumen of cattle	28
Table 4.5 Ruminal, intestinal and total crude protein digestion of sunflower seed (SS) using a three-step technique	30
Table 4.6 Ruminal, intestinal and total crude protein digestion of sunflower seed (SS) and Sunflower seed meal using a three-step technique	31
Table 4.7 Effect of differences time and temperature treated of sunflower seed on total conjugated linoleic acid (CLA, mg/ 100 g sample)	33
Table 4.8 Percentage composition of concentrated mixtures	35
Table 4.9 Replacement protein of sunflower meal to soybean meal on feed intake, digestibility and body weight change of goat fed corn silage	36
Table 4.10 Replacement protein of sunflower meal to soybean meal on ruminal pH, NH ₃ -N and plasma urea nitrogen (PUN) of goat fed corn silage	37
Table 4.11 Replacement protein of sunflower meal to soybean meal on N-balance of goat fed corn silage	38

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2 เมททาโบลิซึมของโปรตีนและไนโตรเจนในรูเมน	10
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความสามารถในการย่อยได้ในรูเมนเปรียบเทียบ ระหว่างมันเฮย์ ($\square$) และขนุน (Δ)	26
รูปที่ 4.2 สัดส่วนการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DM), อินทรีย์วัตถุ (OM) และ โปรตีน (CP) ในกระเพาะรูเมน ลำไส้เล็ก และส่วนที่ย่อยไม่ได้ ของม้าป่าหลัง และกระต๊อ พืชอาหารสัตว์	29
รูปที่ 4.3 ผลของการทรีตเมนต์ลีดทานตะวันต่ออุณหภูมิต่างๆ กันต่อระดับ conjugated linoleic acid (CLA) ในการบ่มในรูเมนที่เวลาต่างๆ	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความนำ

พืชโปรตีนอาหารสัตว์ (protein foliage) หลายชนิดเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน และสามารถนำมาใช้ในการเลี้ยงแพะ โดยพืชเหล่านี้อาจจะเป็นพืชเศรษฐกิจหรือพืชที่ขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ พืชยืนต้น ไม้พุ่ม พืชล้มลุก พืชเลื้อย รวมไปถึงถั่วต่างๆ หลายชนิดของพืชเหล่านี้ประกอบด้วย โปรตีนในระดับสูงและสามารถนำมาเสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง และพืชหลายชนิดประกอบด้วย โปรตีนที่มีคุณภาพสูงสามารถไหลผ่านรูเมนได้ (rumen by-pass protein) ทั้งนี้เพราะมีสารประกอบแทนนิน-โปรตีน (tannin-protein complex) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง นอกจากนั้นยังมีแร่ธาตุที่สำคัญอยู่สูงด้วย เช่น Ca, P, Mg, K และ วิตามินต่างๆ เป็นต้น Reed (1995) และ Makkar (2000) รายงานว่าถ้ามี tannin ในพืชอาหารสัตว์ต่ำกว่า 2-4% จะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งมีพืชอาหารสัตว์หลายชนิดที่มี tannins อยู่ในระดับดังกล่าวหากมีการจัดการที่ดี เช่น จากมันเฮย์ (Wanapat, 2001, 2002) หรือจากพืชอาหารสัตว์อื่นๆ เช่น กระถิน ปอ (Paengkoum et al., 2003) อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์ของพืชโปรตีนอาหารสัตว์จะถูกจำกัดโดยการที่มีระดับคอนเดนส์แทนนินส์ (condensed tannins) สูงเกินไป (>6% DM) (Reed et al., 1982; Barry and Manley 1984) นอกจากนี้ Wanapat et al. (2001) และ Makkar et al. (1995) พบว่า condensed tannins สามารถเพิ่มการผลิตจุลินทรีย์โปรตีนได้สูงขึ้น แต่กลไกที่เกิดขึ้นยังไม่ทราบเป็นที่แน่นอน ดังนั้นการนำพืชเหล่านี้มาใช้จึงต้องมีการศึกษาอย่างละเอียด ในพืชแต่ละชนิดไป

ความเข้มข้นของ CLA ในน้ำมันของสัตว์เคี้ยวเอื้องขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมัน คือกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ที่เสริมในอาหาร (Grinari et al., 1996) โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบอาหารที่มีกรดไขมันลิโนเลอิก (linoleic acid) เป็นองค์ประกอบ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีกรดไขมันลิโนเลอิกมาก ได้แก่ ลินซีด (linseed), ซัฟฟลาวเวอร์ (safflower), เมล็ดทานตะวัน เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งเมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องกินอาหารเหล่านี้ จุลินทรีย์ในรูเมนจะเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวไปเป็นกรดไขมันอิ่มตัวซึ่งเรียก biohydrogenation อย่างไรก็ตามกรดไขมันบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่สมบูรณ์เกิดเป็น conjugated linoleic acid (CLA) ซึ่งสัตว์สามารถนำไปสร้างเป็นองค์ประกอบของน้ำมันและเนื้อเยื่อไขมันอื่นๆ ในร่างกาย และในปัจจุบันพบว่า CLA เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ (Belurg, 1995) สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) และต่อต้านการเกิดมะเร็งในหนู (Pariza and Hargraves, 1985; Ha et al., 1987) ลดการเกาะกันของไขมันตามผนังเส้นเลือดในหนู (Park et al., 1990) เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมของแร่ธาตุของกระดูก (Li et al., 1999) และเกี่ยวข้องกับการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกายของหนู (Sugano et al., 1998) เป็นต้น ซึ่งอาจจะมีผลเช่นเดียวกับในมนุษย์

ในการศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาการใช้ประโยชน์พืชอาหารสัตว์ที่มีในท้องถิ่น เพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะพืชที่มีแทนนินเป็นองค์ประกอบ ในการเพิ่มระดับโปรตีนไหลผ่าน โดยจะมีการใช้ร่วมกับเมล็ดพืชน้ำมัน เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเนื้อแพะโดยเฉพาะในส่วนของการคอมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) และ กรดไขมันชนิด unsaturated fatty acids รวมทั้ง conjugated linoleic acid (CLA) เพื่อให้ได้เนื้อที่มีคุณภาพดี ตรงตามความนิยมของผู้บริโภค และยังเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ผลการศึกษาวิจัย สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานลักษณะโภชนาการ โดยเฉพาะลักษณะพิเศษของพืชโปรตีนอาหารสัตว์ และเมล็ดธัญพืชหรือพืชน้ำมันในท้องถิ่น

1.2.2 ผลการพัฒนาเทคนิคการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ สามารถนำมาพัฒนาการเรียนการสอน และทดสอบอาหารโปรตีนอื่นๆ ได้รวดเร็ว และลดความเสี่ยงในการใช้สัตว์ทดลองผ่าตัดลำไส้เล็ก

1.2.3 การเสริมหรือทดแทนพืชโปรตีนที่มีในท้องถิ่นสามารถลดต้นทุนการผลิตค่าอาหาร โดยเฉพาะแหล่งอาหารโปรตีนนำเข้า เช่น กากถั่วเหลือง และเพิ่มการใช้ทรัพยากรอาหารที่มีอยู่ในท้องถิ่น

1.2.4 เป็นการศึกษาองค์ความรู้ใหม่ด้านโภชนาการของสัตว์เคี้ยวเอื้อง อันจะนำไปสู่การปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และยังจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาวิจัยในส่วนถัดต่อไป และในทางการค้าต่อไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีขอบเขตการศึกษาพืชโปรตีนอาหารสัตว์ในท้องถิ่น ได้แก่ มันสำปะหลัง กระถิน ขนุนและถั่วต่างๆ ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี วัดความสามารถในการย่อยได้ในรูเมน วัดการย่อยได้ในลำไส้เล็กโดยใช้เทคนิคในห้องปฏิบัติการ เช่นเดียวกับเมล็ดธัญพืชชนิดต่างๆ มาทรีทต์ ด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ วัดระดับกรดไขมันชนิด unsaturated fatty acids และการเกิด CLA สกัดเอ กรดไขมันเหล่านี้และ CLA ออกมาเพื่อหาวิธีป้องกันการย่อยได้ในรูเมน ชนิดของเมล็ดพืช อุณหภูมิ และเวลาที่ทรีทต์ ที่เกิด CLA มาก จะถูกคัดเลือกเพื่อนำมาสกัด CLA เพื่อทำให้ CLA อยู่ในรูปที่ไม่ถูกย่อยได้ในรูเมน

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากสัตว์มากขึ้น เช่น เนื้อ และ นม ซึ่งได้แก่ โปรตีน หรือกรดอะมิโนที่จำเป็น ไขมันและชนิดของกรดไขมันที่จำเป็น องค์ประกอบ ปลีกย่อยอื่นๆ ที่มีความจำเป็นกับร่างกาย รวมทั้งกลุ่มที่มีบทบาทต่อสุขภาพ การป้องกันโรค หรือกลุ่มที่ทราบว่ามีประโยชน์แต่ยังไม่แน่ชัดในด้านบทบาทหน้าที่ต่อสุขภาพ (functional food) ในทางโภชนาการสัตว์ก็ได้มีการพัฒนาอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต ขณะเดียวกันก็ต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตเช่นเดียวกัน การนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีอยู่ในท้องถิ่น มาใช้ในการประกอบอาหารสัตว์ จึงเป็นทางออกที่ดีในการลดต้นทุนค่าอาหาร และในวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดยังมีคุณลักษณะพิเศษอื่นๆ เช่น สารประกอบปลีกย่อย (secondary compounds) เช่น แทนนิน ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีผลเชิงลบต่อสัตว์กระเพาะเดี่ยว คือต่อต้านการย่อยได้หรือการดูดซึมโภชนะไปใช้ประโยชน์ของสัตว์ แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องกลับพบว่ามีผลในเชิงบวก คือสามารถป้องกันการย่อยได้ของโปรตีนในรูเมน (rumen by-pass protein) และเมื่อสารประกอบดังกล่าวผ่านไปที่กระเพาะส่วนอะโบมาซัม (abomasums) และลำไส้เล็ก สารประกอบแทนนิน-โปรตีน จะแตกตัวส่วนที่เป็นโปรตีนถูกย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ส่วนแทนนินจะถูกขับถ่ายออกนอกร่างกาย (Jones and Morgan, 1977) การศึกษาการย่อยได้ในลำไส้เล็กสามารถทำได้โดย ศึกษาในสัตว์ที่ผ่าตัดลำไส้เล็ก อย่างไรก็ตามซึ่งการผ่าตัดลำไส้เล็กสามารถทำได้ง่าย ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคการย่อยได้ในลำไส้เล็กในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* technique) จึงเป็นเทคนิคที่ควรจะนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวและยังเป็นวิธีที่สามารถทดสอบโปรตีนชนิดอื่นๆ ในท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ความเข้มข้นของ conjugated linoleic acid (CLA) ในเนื้อและนมของสัตว์เคี้ยวเอื้องขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมัน คือกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ที่เสริมในอาหาร (Grinari et al., 1996) โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบอาหารที่มีกรดไขมันลิโนเลอิก (linoleic acid) เป็นองค์ประกอบ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีกรดไขมันลิโนเลอิกมาก ได้แก่ ถั่วลิสง (linseed), ซัฟฟลาวเวอร์ (safflower), เมล็ดทานตะวัน เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งเมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องกินอาหารเหล่านี้ จุลินทรีย์ในรูเมนจะเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวไปเป็นกรดไขมันอิ่มตัวซึ่งเรียก biohydrogenation อย่างไรก็ตามกรดไขมันบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่สมบูรณ์เกิดเป็น conjugated linoleic acid (CLA) ซึ่งสัตว์สามารถนำไปสร้างเป็นองค์ประกอบของนมและเนื้อเยื่อไขมันอื่นๆ ในร่างกาย และในปัจจุบันพบว่า CLA เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ (Belurg, 1995) สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) และต่อต้านการเกิดมะเร็งในหนู (Pariza and Hargraves, 1985; Ha et al., 1987) ลดการเกาะกันของไขมันตามผนังเส้นเลือดในหนู (Park et al., 1990) เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมของแร่ธาตุของกระดูก (Li et al., 1999)

และเกี่ยวข้องกับการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกายของหนู (Sugano et al., 1998) เป็นต้น ซึ่งอาจจะมีผลเช่นเดียวกับในมนุษย์ ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาการใช้ประโยชน์พืชอาหารสัตว์ที่มีในท้องถิ่น เพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะพืชที่มีแทนนินเป็นองค์ประกอบ ในการเพิ่มระดับโปรตีนไหลผ่าน โดยจะมีการใช้ร่วมกับเมล็ดพืชน้ำมัน เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเนื้อแพะโดยเฉพาะในส่วนของการอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) และ CLA เพื่อให้ได้เนื้อที่มีคุณภาพดี ตรงตามความนิยมของผู้บริโภค และยังเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 พืชโปรตีนอาหารสัตว์ (protein foliages)

พืชโปรตีนอาหารสัตว์ (protein foliage) หลายชนิดเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน และสามารถนำมาใช้ในการเลี้ยงแพะ โดยพืชเหล่านี้อาจจะเป็นพืชเศรษฐกิจหรือพืชที่ขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ พืชยืนต้น ไม้พุ่ม พืชล้มลุก พืชเลื้อย รวมไปถึงถั่วต่างๆ หลายชนิดของพืชเหล่านี้ประกอบด้วยโปรตีนในระดับสูงและสามารถนำมาเสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง และพืชหลายชนิดประกอบด้วยโปรตีนที่มีคุณภาพสูงสามารถไหลผ่านรูเมนได้ (rumen by-pass protein) ทั้งนี้เพราะมีสารประกอบแทนนิน-โปรตีน (tannin-protein complex) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง นอกจากนั้นยังมีแร่ธาตุที่สำคัญอยู่สูงด้วย เช่น Ca, P, Mg, K และ วิตามินต่างๆ เป็นต้น Reed (1995) และ Makkar (2000) รายงานว่าถ้ามี tannin ในพืชอาหารสัตว์ต่ำกว่า 2-4% จะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งมีพืชอาหารสัตว์หลายชนิดที่มี tannins อยู่ในระดับดังกล่าวหากมีการจัดการที่ดี เช่น จากมันเฮย์ (Wanapat, 2001, 2002) หรือจากพืชอาหารสัตว์อื่นๆ เช่น กระถิน ปอ (Paengkoum et al., 2003) อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์ของพืชโปรตีนอาหารสัตว์จะถูกจำกัดโดยการที่มีระดับคอนเดนส์แทนนินส์ (condensed tannins) สูงเกินไป (>6% DM) (Reed et al., 1982; Barry and Manley 1984) นอกจากนี้ Wanapat et al. (2001) และ Makkar et al. (1995) พบว่า condensed tannins สามารถเพิ่มการผลิตจุลินทรีย์โปรตีนได้สูงขึ้น แต่กลไกที่เกิดขึ้นยังไม่ทราบเป็นที่แน่นอน ดังนั้นการนำพืชเหล่านี้มาใช้จึงต้องมีการศึกษาอย่างละเอียด ในพืชแต่ละชนิดไป

2.3 ระบบการย่อยหมักในรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

เทคโนโลยีชีวภาพรูเมน หมายถึง การประยุกต์ใช้ประโยชน์ (application) ขององค์ความรู้ของกระบวนการหมักในรูเมน โดยการปรับเปลี่ยนนิเวศวิทยารูเมนให้เหมาะสม สามารถจำแนกชนิดของจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย) โดยหลักการจุลินทรีย์วิทยาโมเลกุลรูเมน (rumen microbial molecular) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักของอาหารหยาบใน รูเมนและผลผลิตในสัตว์เคี้ยวเอื้องต่อไป ซึ่งแหล่งอาหารหยาบมีอยู่จำนวนมากในระบบการเกษตรในประเทศที่กำลังพัฒนาหรืออยู่ในเขตร้อน และจากรายงานของ Cunningham (1990) ได้เน้นย้ำถึงความจำเป็นและความสำคัญในการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีชีวภาพในการผลิตสัตว์ เพื่อเพิ่มปริมาณอาหาร โดยเฉพาะอาหารโปรตีนเพื่อเลี้ยงประชากรโลกซึ่งอาศัยอยู่ในประเทศที่กำลังพัฒนาไม่ใช่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว ดังนั้นมีความจำเป็นและท้าทาย

ในการศึกษาวิจัยถึงแนวทางการใช้เทคโนโลยีชีวภาพในรูเมน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักและความสามารถในการลดสารพิษในพืชอาหารสัตว์ ในการผลิตอาหารโปรตีนจากสัตว์ทั้งในรูปเนื้อและน้ำมันที่มีคุณภาพต่อไป

นิเวศวิทยาจุลินทรีย์รูเมน ประกอบไปด้วยชนิดของแบคทีเรียที่สำคัญหลักอย่างน้อย 30 ชนิด (species) และมีความเข้มข้น 10^{10} - 10^{12} เซล/มล ของของเหลวในรูเมน มีโปรโตซัว 40 ชนิด (species) มีความเข้มข้น 10^5 - 10^7 เซล/มล ของของเหลวรูเมน และมีเชื้อรา 5 ชนิด (sapecies) และมีเชื้อรา 5 ชนิด (species) และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 10^5 เซล/มล ของของเหลวในรูเมน ชื่อแบคทีเรียที่เรียกว่ามีบทบาทและความสำคัญมากกว่าโปรโตซัวและเชื้อราต่ออัตราและขอบเขตของการย่อยสลายของอาหาร การผลิตกรด VFAs และจุลินทรีย์โปรตีน กรด VFAs จะถูกดูดซึมผ่านผนังของรูเมนเป็นส่วนใหญ่ (~85%) เพื่อใช้เป็นแหล่งหลักของ พลังงาน ส่วนจุลินทรีย์โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตของจุลินทรีย์ ตลอดจนส่วนของโภชนะของอาหารที่เหลือ จะไหลผ่านออกจากรูเมนเข้าสู่กระเพาะอาหารส่วนล่าง โดยเฉพาะที่ลำไส้เล็กเพื่อการย่อยสลายและการดูดซึมใช้ในสัตว์ต่อไป (Orpin and Joblin, 1997 ; Stewart et al., 1997; Williams and Coleman, 1997)

แบคทีเรียในรูเมนสามารถแบ่งตามลักษณะของการเป็นอยู่ในนิเวศวิทยารูเมนได้ 5 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มแบคทีเรียที่อาศัยอย่างอิสระในของเหลวในรูเมน
2. กลุ่มแบคทีเรียที่เกาะติดอย่างหลวม ๆ กับอนุภาคของอาหารในรูเมน
3. กลุ่มแบคทีเรียที่เกาะติดอย่างแน่น กับอนุภาคของอาหารในรูเมน
4. กลุ่มแบคทีเรียที่เกาะติดอยู่กับผนังด้านในของรูเมน
5. กลุ่มแบคทีเรียที่เกาะติดผนังลำตัวของโปรโตซัวและเชื้อรา (sporangia)

ในสภาวะการให้อาหารปกติ แบคทีเรียในกลุ่มที่ 2 และ 3 จะมีมากที่สุดคือ 75% และจะสามารถผลิตน้ำย่อยในรูเมนชนิด endoglucanase (88%), xylanase (91%), amylase (70%), protease (75%) ส่วนแบคทีเรียในกลุ่มที่ 1 จะมีประชากรน้อยและผลิตน้ำย่อยได้ประมาณ 20-30% และแบคทีเรียกลุ่มที่ 4 และ 5 นั้นจะมีประชากรน้อยมากและผลิตน้ำย่อยได้ประมาณ 1% ของประชากรทั้งหมด (Minato et al., 1993; Williams and Strachan, 1984)

2.4 การทำงานของจุลินทรีย์ในรูเมน

รูเมนมีบทบาทและหน้าที่ที่สำคัญในการเกิดกระบวนการหมักอาหารเพื่อสังเคราะห์ผลผลิตสุดท้ายให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการเมทาโบลิซึมในร่างกายและการให้ผลผลิตต่างๆ ดังนั้นรูเมนจะต้องมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมไม่ว่าจะเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างในรูเมน (rumen pH) และความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) จะส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย, โปรโตซัว และเชื้อรา โดยผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญที่ได้จากกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้แก่ กรดไขมันที่ระเหยได้ (VFAs) , แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$), จุลินทรีย์

โปรตีน กรดไขมันที่ระเหยได้ที่สำคัญได้แก่ อะซิเตรท (C_2), โพรพิโอนัท (C_3), และบิวทีเรท (C_4) เป็นแหล่งของสารตั้งต้นที่สำคัญที่ร่างกายสัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์เพื่อสังเคราะห์พลังงานในรูปกลูโคสโดยอาศัยกระบวนการกลูโคนีโอเจเนซิส และกระบวนการสังเคราะห์ไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้องต่อไป ในขณะที่ NH_3-N นับได้ว่าเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ในกระบวนการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเพื่อเป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์และกระบวนการดูดซึมสารประกอบเหล่านี้จากรูเมนเพื่อไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ ชนิดของอาหาร ตลอดจนสัดส่วนระหว่างอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่สัตว์ได้รับ พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์และรูปแบบของกระบวนการหมักในรูเมน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ในเขตร้อนและเขตอบอุ่น จะมีความแตกต่างกันมากในเรื่องของคุณภาพส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และกระบวนการหมักโภชนะต่าง ๆ ด้วย มากไปกว่านั้นระบบการจัดการในด้านการให้อาหารสัตว์ที่แตกต่างกันยังมีผลต่อการพัฒนาการของนิเวศวิทยารูเมนด้วย ในเขตอบอุ่นนั้นส่วนใหญ่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับอาหารข้นในระดับสูงซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสภาวะ rumen pH เป็นกรดมากยิ่งขึ้นและอาจส่งผลให้เกิดภาวะอะซิโดซิสได้ (Slyter, 1976) ซึ่งกรดไขมันที่ระเหยได้ก็มีส่วนในการทำให้ rumen pH ลดลง แต่กรดแลคติกจะมีผลต่อความเป็นกรดในรูเมนมากกว่า (Burin and Britton, 1986) ซึ่งปัจจัยจากชนิดอาหารที่สัตว์ได้รับนั้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ rumen pH มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่สัตว์ได้รับอันจะส่งผลกระทบต่อปริมาณการหลั่งน้ำลายและการเคี้ยวเอื้องของสัตว์ รวมทั้งการสังเคราะห์ TVFAs และจำนวนประชากรจุลินทรีย์ด้วย (Kauffman, 1975; Erfle et al., 1982) นอกจากนี้ Van Vessel and Russell (1996) และ Lana et al. (1998) รายงานว่าในแกะที่ได้รับ Timothy hay ในระดับต่ำมีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่าง (rumen pH) ลดลงจากระดับ 6.5 เป็น 5.7 และการสังเคราะห์ TVFA, C_2 , C_3 , C_4 และการสังเคราะห์เมเทน (CH_4) รวมทั้งประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนก็แตกต่างกันไปด้วย สำหรับแกะที่ได้รับเฮย์เป็นอาหารเพียงอย่างเดียว พบว่ามีความเข้มข้นของ TVFA เท่ากับ 78 mM และสัดส่วน C_2 , C_3 และ C_4 มีค่าเท่ากับ 59, 13, 6 mM ตามลำดับ สภาวะ rumen pH เท่ากับ 6.5 และความเข้มข้นของ NH_3-N เท่ากับ 8 μM ซึ่งสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่เหมาะสมคือ 60: 40

สำหรับค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficients, r^2) ระหว่างสภาวะ rumen pH และ TVFAs, สัดส่วนระหว่าง $C_2:C_3$ และ NH_3-N เท่ากับ 0.73, 0.82 และ 0.65 ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่าเมื่อสภาวะ rumen pH ลดต่ำลงอันเนื่องมาจากการเพิ่มระดับอาหารข้น ส่งผลต่อการสังเคราะห์ CH_4 ลดลง แต่ในขณะเดียวกันพบว่า ประสิทธิภาพย่อยได้ของเยื่อใยอยู่ในระดับต่ำ จะเห็นได้ว่าสภาวะ rumen pH มีผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดของจุลินทรีย์ที่อยู่ในรูเมน การศึกษาถึงบทบาทการทำงานของจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น pure culture หรือ mixed culture เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากสารอาหารต่าง ๆ (Wallace, 1979; 1996)

นอกจากนี้แล้วระดับของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ก็มีความสำคัญต่อจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน โดย Satter and Slyter (1974) ได้ทำการศึกษาโดยในระบบปิดโดย In vitro technique พบว่าจุลินทรีย์มีความต้องการ $\text{NH}_3\text{-N}$ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตที่ระดับ 4-5 mg/dl ในขณะที่ Wallace (1979) รายงานว่า pectinolytic bacteria มีจำนวนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเสริมยูเรีย โดยแบคทีเรียเหล่านี้สามารถนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ประโยชน์โดยอาศัยกระบวนการ NAD-linked glutamate dehydrogenase ซึ่งถือได้ว่ากระบวนการหลักสำหรับจุลินทรีย์ทุกชนิดในการนำแอมโมเนียไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ อย่างไรก็ตาม Erdman et al. (1986) และ Odle and Schaefer (1987) พบว่าระดับความเข้มข้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่เหมาะสมนั้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหารหยาบมากกว่าการย่อยสลายอาหารพวกธัญพืช โดยความเข้มข้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ภายในเซลล์จุลินทรีย์จะมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ภายในกระเพาะหมัก และส่งผลถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนที่ลดลงถ้าหาก $\text{NH}_3\text{-N}$ ในรูเมนต่ำกว่า 5 mg/dl และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ในรูเมนลดลง และพบว่าระดับของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ภายในเซลล์จะสูงกว่าภายนอกเซลล์อย่างน้อย 1.6 mg/dl (Russell and Strobe, 1987)

Song and Kennelly (1990) รายงานว่าโคนมแห้งที่ได้รับอาหารหยาบหมักมีผลทำให้ระดับของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในของเหลวรูเมนเพิ่มขึ้น 15.7 mg/dl ส่งผลถึงจำนวนประชากรแบคทีเรียทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพของกระบวนการหมักด้วย นอกจากนี้ในแกะที่ได้รับ Citrus Pulp และ Italian ryegrass hay ที่มีระดับเยื่อใย neutral-detergent fiber (NDF) ประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ระดับของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในรูเมนเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ ความเข้มข้นของ VFAs และประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเพิ่มขึ้น (Rihani et al., 1993) ส่วนโคนมที่อยู่ในช่วงการให้ผลผลิต และได้รับถั่วอัลฟัลฟ่าหมัก พบว่าระดับของ $\text{NH}_3\text{-N}$ อยู่ในช่วง 18.7-22.9 mg/dl และยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด (BUN) อยู่ในช่วง 15.0-20.4 mg/dl ส่วนปริมาณผลผลิตน้ำนมอยู่ในช่วง 31.1 - 32.7 kg/hd/d (Robinson et al., 1991)

2.5 นิเวศวิทยาของรูเมนและกระบวนการหมักในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้องโดยทั่วไปในเขตร้อนได้รับอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำ และผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟางข้าว (Wanapat, 1985; Doyle et al., 1986; Devendra, 1992; Wanapat, 1990, 1999) โดย Preston and Leng (1985) พยายามที่จะนำแหล่งวัตถุดิบเหล่านี้มาใช้ในการผลิตสัตว์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิต Leng (1999) กล่าวว่ากลยุทธ์ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมขึ้นอยู่กับการนำใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ภายในท้องถิ่น และเกษตรกรรายย่อยสามารถนำมาใช้ได้ ดังนั้นกลยุทธ์ในการปรับเปลี่ยนนิเวศวิทยาของรูเมนจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก เช่น การนำใช้ non-protein nitrogen (NPN) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในรูเมน (rumen by-pass protein) ตลอดจนการสังเคราะห์ VFAs เพื่อเป็นการเพิ่มสัดส่วน P/E ในระดับที่เหมาะสม

ในสภาวะที่โคและกระบือที่ได้รับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบอย่างเต็มที่ พบว่าปริมาณการกินได้เฉลี่ยประมาณ 1.5–2.5 %BW (Wanapat, 1985) ในฟางข้าวมีคาร์โบไฮเดรตชนิดที่เป็นโครงสร้างเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีเชื้อใย NDF, ADF, ADL ประมาณ 70-75, 50-55 และ 5-10 ตามลำดับ ส่วนโปรตีนหยาบ (CP) จะมีอยู่ในระดับต่ำประมาณ 2-4 เปอร์เซ็นต์และมีอัตราการย่อยสลายในรูเมนได้ต่ำทำให้ retention time ในรูเมนนานขึ้น (Wanapat, 1985; Wanapat, 1999; Hart and Wanapat, 1992) ส่งผลถึงปริมาณการกินได้ทั้งหมด มากไปกว่านั้นประสิทธิภาพการสังเคราะห์ C₂, C₃ และ C₄ ก็มีแนวโน้มต่ำเช่นเดียวกันมีค่าประมาณ 50, 12, และ 4 mole/100 mole ตามลำดับ ในขณะที่ระดับของ NH₃-N ใน รูเมนมีค่าต่ำกว่า 3 mg/dl และ rumen pH เท่ากับ 6.5 (Hart and Wanapat, 1992)

2.6 บทบาทของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบคุณภาพต่ำมีระดับ NH₃-N อยู่ในช่วง 5-20 mg% (Boniface et al., 1986; Perdok and Leng, 1990) ในขณะที่ Chanthai et al. (1989) รายงานว่าในโคเนื้อและกระบือปลักที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหยาบหลักมีระดับ NH₃-N เท่ากับ 2 mg% แต่จะเพิ่มสูงขึ้นถึง 9 mg% เมื่อได้รับฟางข้าวหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบหลัก นอกจากนี้แล้วได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ต่อประสิทธิภาพของกระบวนการหมักในสัตว์เคี้ยวเอื้อง พบว่า จะมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของประชากรจุลินทรีย์ ตลอดจนปริมาณการกินได้ ประสิทธิภาพการย่อยได้ และประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน โดย Perdok and Leng (1990) พบว่า เมื่อระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 15-30 mg% ทำให้ปริมาณการกินได้ และประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารเพิ่มขึ้น และหากมีการเพิ่มขึ้นของระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงถึง 30 mg% มีผลต่อการลดลงของสัดส่วนระหว่าง C₂+C₄/C₃ จำนวนประชากรซูโอสปอร์เพิ่มขึ้น และยังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน จาก 17 เป็น 47 เปอร์เซ็นต์ (Kanjapruethipong and Leng, 1998) นอกจากนี้ Wanapat and Pimpa (1999) รายงานว่า เมื่อระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระบือปลักที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหยาบหลัก พบว่า เมื่อระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในช่วง 13.6-33.4 mg/dl มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของนิเวศวิทยาของกระเพาะหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มขึ้นของจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ประชากรโปรโตซัว และปริมาณของอนุพันธ์ฟิวรีนที่ขับออกมาจากปัสสาวะ ตลอดจนปริมาณการกินได้ทั้งหมด และประสิทธิภาพการย่อยได้ แสดงให้เห็นว่าระดับ NH₃-N ที่เหมาะสมนั้นควรมีค่าตั้งแต่ 15 mg/dl ขึ้นไป

นอกจากนี้แล้ว Nguyen and Preston (1999) พบว่า ในกระบือปลักที่ได้รับฟางข้าว และหญ้าสดเป็นอาหารหยาบมีค่า NH₃-N ประมาณ 5-6 mg/dl และเพิ่มขึ้นประมาณ 8-18 mg/dl เมื่อมีการเสริมด้วยฟางหมักยูเรีย, urea-molasses cake และ Sesbania leaf และส่งผลต่อจำนวนประชากรแบคทีเรีย โปรโตซัว และ ปริมาณการกินได้ที่เพิ่มขึ้นด้วย

2.7 การปรับเปลี่ยนนิเวศวิทยาารูเมนโดยกลยุทธ์การเสริมอาหาร

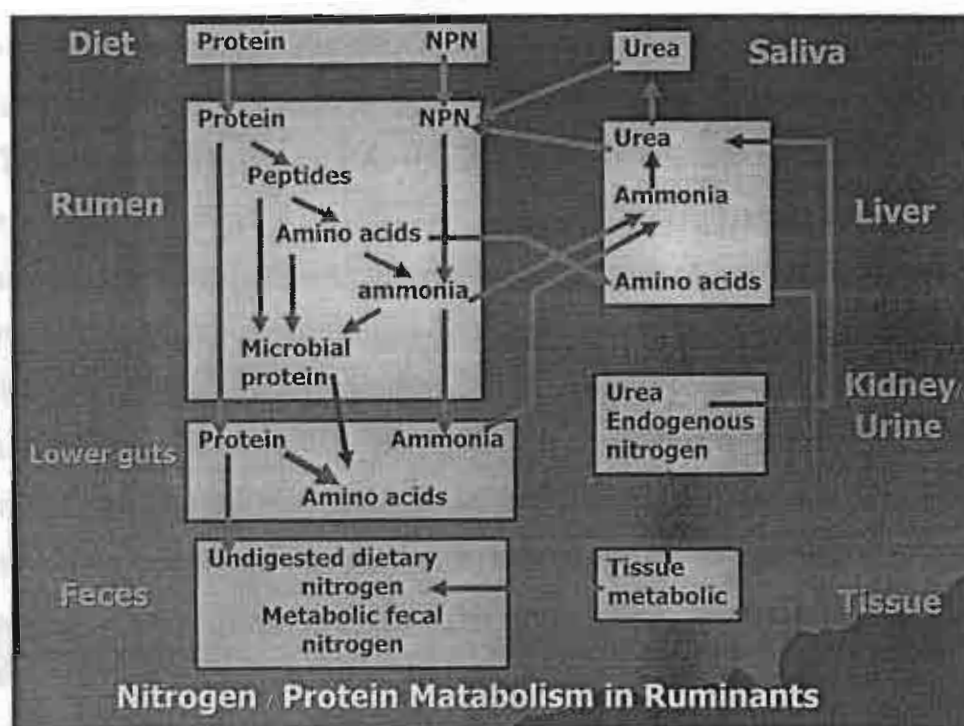
โคที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหลักมีผลทำให้สัดส่วนโปรตีนและพลังงาน (P/E) มีค่าต่ำ การเสริมด้วยวัตถุดิบอาหารที่มีในท้องถื่น เช่น มันเส้น และกากเมล็ดฝ้ายร่วมกับการให้ฟางข้าวพบว่าสามารถทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน และสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงาน (P/E) เพิ่มขึ้น (Paengkoum, 1997) และเมื่อทำการเสริมอาหารก่อนที่มีองค์ประกอบของกากน้ำตาลและยูเรียก็เป็นอีกกลยุทธ์หนึ่งที่มีการนำไปใช้ในเขตร้อน Krebs and Leng (1984) รายงานว่า การเสริม urea-molasses block สามารถเพิ่มประสิทธิภาพรูเมน และผลผลิตน้ำนมในกระบือพันธุ์ Murrah ที่ได้รับผลพลอยได้ทางการเกษตร มากไปกว่านั้นสามารถลดปริมาณการใช้อาหารขึ้นเสริมได้ (Kunju, 1986)

นอกจากนี้ได้มีการปรับปรุงอาหารที่มีคุณภาพสูงที่เรียกว่าอาหารก้อนและ/หรืออัดเม็ดคุณภาพสูง (HQFB/ P) โดยมีส่วนประกอบที่เป็นวัตถุดิบที่มีในท้องถื่น แหล่งพลังงานที่สำคัญได้แก่ กากน้ำตาล, รำอ่อน, มันเส้น แหล่งของ NPN ได้แก่ ยูเรีย แหล่งของ rumen-by pass protein ได้แก่ กากเมล็ดฝ้าย, กากเบียร์, มันเฮย์สับ และแหล่งแร่ธาตุที่สำคัญต่างๆ ได้แก่ กำมะถัน โซเดียม และฟอสฟอรัส การให้เสริมสามารถทำได้หลายลักษณะเช่น การให้เสริมตามปริมาณที่จะจัดหาได้ และอาจจะให้ในลักษณะเลี่ยนกิน ที่เรียกว่า on-top supplementation (Wanapat et al., 1996) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเสริม HQFB/P ร่วมกับฟางหมักยูเรียในโครีดนมทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารได้ดีขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้นด้วย และสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตค่าอาหารขึ้นได้ลดลง (Wanapat, 1999)

2.8 เทคโนโลยีการปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ของอาหารโดยจุลินทรีย์ในรูเมน

สัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีวิวัฒนาการและพัฒนากการที่มีความเฉพาะตัว ในการที่มีระบบการหมักของพืชอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก หรือรูเมน โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัวและเชื้อรา ภายใต้สภาพไร้ออกซิเจน อุณหภูมิและ pH ที่เหมาะสม ซึ่งจะผลิตผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญให้กับสัตว์คือ กรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acids, VFAs) จุลินทรีย์โปรตีน และวิตามินรวม โดยปกติแล้วจุลินทรีย์ในรูเมนมีความสามารถในการใช้อาหารหยาบคุณภาพต่ำได้ดี ซึ่งอาหารเหล่านี้สัตว์กระเพาะเคี้ยวไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนั้นแล้วสัตว์เคี้ยวเอื้องยังสามารถลดพิษจากสารพิษในอาหาร โดยอาศัยกลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในรูเมน กระบวนการโบลีซิมในร่างกาย และการให้ผลผลิตต่างๆ ดังนั้นรูเมนจะต้องมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมไม่ว่าจะเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างในรูเมน และความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) จะส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ โดยผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญที่ได้จากกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้แก่ กรดไขมันที่ระเหยได้ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน จุลินทรีย์โปรตีน กรดไขมันที่ระเหยได้ที่สำคัญได้แก่ อะซิเตรท โพรพิออนเทท และบิวทีเรท เป็นแหล่งของสารตั้งต้นที่สำคัญที่ร่างกายสัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์เพื่อสังเคราะห์พลังงานในรูปกลูโคสโดยอาศัยกระบวนการกลูโคนีโอจีนีซิส และกระบวนการสังเคราะห์ไขมันในสัตว์

เกี่ยวข้องต่อไป นอกจากนี้กรดไขมันเหล่านี้ยังเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการนำไปสังเคราะห์เป็นน้ำมัน และองค์ประกอบของน้ำมัน เช่น ไขมัน น้ำตาลแลคโตส เป็นต้น ในขณะที่ $\text{NH}_3\text{-N}$ นับได้ว่าเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ในกระบวนการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเพื่อเป็นแหล่งของโปรตีนหลักที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ดังแสดงในรูปที่ 1) โดยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์และกระบวนการดูดซึมสารประกอบเหล่านี้จากรูเมนเพื่อไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ ชนิดของอาหาร คุณภาพของอาหาร ตลอดจนสัดส่วนระหว่างอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่สัตว์ได้รับ พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์และรูปแบบของกระบวนการหมักในรูเมน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ในเขตร้อน จะมีความแตกต่างกันมากในเรื่องของคุณภาพส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และกระบวนการหมักโภชนะต่าง ๆ ด้วย และส่งผลถึงปริมาณและคุณภาพของผลผลิตในที่สุด



รูปที่ 2 เมทาบอลิซึมของโปรตีนและไนโตรเจนในรูเมน (Russell et al., 1987)

2.9 การใช้เมล็ดและกากเมล็ดทานตะวันในอาหารสัตว์

จากการตรวจและวิเคราะห์เอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับผลของการใช้กากเมล็ดทานตะวัน จัดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีระดับโปรตีนสูง และมีคุณภาพดีกว่าโปรตีนจากวัตถุดิบที่ให้พลังงานพวกเมล็ดธัญพืชและพืชหัวสด สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แหล่งโปรตีนจากพืช (plant proteins) และแหล่งโปรตีนจากสัตว์ (animal proteins) ในอุตสาหกรรมในประเทศ แหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นโปรตีนจากพืชส่วนใหญ่ได้จากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืช เป็นวัตถุดิบที่มีระดับโปรตีนสูง (30-50%) แต่มักจะขาดกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acids, EAA) ที่สำคัญหลายชนิด

เช่น กากถั่วเหลืองขาด methionine, กากถั่วลิสซขาด lysine, methionine และ cystine กากมะพร้าวและกากเมล็ดฝ้ายขาด lysine เป็นต้น นอกจากนี้น้ำมันพืชบางชนิดยังมีสารยับยั้งการใช้โภชนะ (anti-nutritional lysine) อยู่ จำเป็นต้องขจัดออกไปก่อนที่จะนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ ดังนั้นคุณค่าทางโภชนะของโปรตีนที่ได้จากพืชจึงผันแปรไปตามกรรมวิธีการแปรรูป ซึ่งเกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนและวิธีการแยกน้ำมันออก แหล่งโปรตีนจากพืชแหล่งอื่นๆ เช่น แหล่งโปรตีนที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม การผลิตแอลกอฮอล์ เช่น ต่ำเหล่า (brewer's dried grain) เป็นต้น แหล่งโปรตีนที่ได้จากการแปรรูปเมล็ดธัญพืช เช่น กลูเทนข้าวโพด (corn gluten meal) เป็นต้น และแหล่งโปรตีนที่ได้จากใบพืชป็น เช่น ใบกระถินป็น (leucaena leaf meal) เป็นต้น

ทั้งนี้ทั้งนั้นเนื่องจากแพะพื้นเมืองเริ่มได้รับความนิยมเลี้ยงกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะจังหวัดนครราชสีมาที่มีลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบสูง และเนื้อสัตว์โดยเฉพาะเนื้อแพะและผลิตภัณฑ์นมที่ได้แพะราคาค่อนข้างดีและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ระบบการเลี้ยงของเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นแบบปล่อยเลี้ยงตามมีตามเกิด ทำให้แพะเนื้อเติบโตอย่างช้าๆ ซึ่งต้องใช้เวลานานกว่าที่จะขายได้ และขายได้ในราคาต่ำ ขณะที่ราคามันสำปะหลัง และข้าวโพด กากถั่วเหลือง ที่เป็นส่วนประกอบหลักๆ ในอาหารชั้นมีราคาสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากหลายๆ ปัจจัย ดังนั้นหากเกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์ทั้งขนาดกลางและขนาดใหญ่ จนถึงระดับอุตสาหกรรม นอกจากจะต้องแบกรับค่าอาหารสัตว์แล้ว ยังต้องเสี่ยงกับปัญหาเรื่องราคาผลผลิตพืชที่ไม่แน่นอนอยู่ตลอด ซึ่งตลอดมาได้มีนักวิจัยหลายแห่งประเทศทั่วโลกพยายามคิดค้นสูตรอาหารสัตว์ที่มีราคาถูก แต่ยังคงคุณค่าของสารอาหารไว้ครบถ้วนหรือเทียบเคียงกับคุณภาพทางโภชนะเดิมมากที่สุด โดยทำการศึกษาวิจัยการใช้ประโยชน์จากพืชตระกูลถั่วหรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้รับความนิยมเช่นกัน พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยสามารถใช้ได้ในสัตว์หลายชนิด เช่น แพะเนื้อ แพะนม แพะ แกะ (ฉลอง และคณะ, 2542; จีรัช และคณะ 2542) รวมถึงการใช้ประโยชน์จากกากเมล็ดทานตะวันเป็นแหล่งอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง (แพะ-กระบือ) ด้วย (วงศ์สถิตย์ และคณะ, 2539) แต่สำหรับการใช้ในวงกว้างทั่วๆ ไปยังการใช้เพียงปริมาณน้อยเท่านั้นจึงมีความจำเป็นยิ่งที่จะส่งเสริมให้เกิดการใช้เพิ่มขึ้น เพื่อประหยัดต้นทุนการผลิตให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ และเพิ่มคุณค่าให้กับวัตถุดิบดังกล่าว และสร้างศักยภาพของกับผลผลิตการเลี้ยงสัตว์

เนื่องจากการผลิตกากเมล็ดทานตะวันในประเทศไทยยังน้อยมาก จึงมีการนำเข้าบ้างจากต่างประเทศ เช่น ประเทศจีน และอินเดีย ในช่วงที่กากถั่วเหลืองมีราคาแพงหรือขาดแคลน แต่ในปริมาณที่ไม่มากนัก กากเมล็ดทานตะวันได้จากโรงงานสกัดน้ำมันทานตะวันจากเมล็ดทานตะวัน มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับวิธีการสกัดน้ำมัน คือชนิดที่สกัดน้ำมันทั้งเมล็ด ชนิดที่อัดน้ำมันจากเมล็ด ที่กะเทาะเปลือกแล้ว และชนิดที่สกัดน้ำมันด้วยสารเคมีจากเมล็ดที่กะเทาะเปลือกแล้ว กากเมล็ดทานตะวันที่ได้จากการสกัดน้ำมันจะมีสีเทา สามารถใช้ในอาหารแพะนมได้ดี (เพลิน, 2542) กากเมล็ดทานตะวันมีปริมาณเยื่อใยผันแปรจาก 30% สำหรับกากที่ไม่กะเทาะเปลือกถึง 12% ในกากที่กะเทาะเปลือกแล้ว ทำให้มีโปรตีนผันแปรจาก 28% ในกากที่ไม่กะเทาะเปลือกถึง 42% ในกากที่กะเทาะเปลือกแล้ว ปริมาณกรดอะมิโนโดยทั่วไปจะใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง แต่มี lysine ต่ำกว่ามาก ในอาหารสุกรและสัตว์ปีก แนะนำให้ใช้ได้ไม่เกิน

10-15% ในสูตรอาหาร โดยในสัตว์เล็กต้องพิจารณาเป็นพิเศษ เนื่องจากมีปริมาณเชื้อไขค่อนข้างสูง โดยเฉพาะกากเมล็ดทานตะวันที่ผลิตในบ้านเราจะเป็นแบบที่ไม่กะเทาะเปลือกออก ขณะที่กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2547) รายงานคุณค่าทางโภชนาของกากเมล็ดทานตะวันไว้ว่า กากเมล็ดทานตะวันชนิดกากกะเทาะเปลือกมี DM 90.07%, CP 41.05%, EE 2.02%, CF 14.79%, Ash 8.28%, NFE 33.86%, ADF 29.87%, NDF 29.29%, ADL 5.30%, Ca 0.35%, P 1.44%, TDN 70.05% และกากเมล็ดทานตะวันชนิดการรวมเปลือกรายงานว่ามี DM 92.43%, CP 23.41%, EE 8.23%, CF 31.43%, Ash 7.31%, NFE 29.62%, ADF 29.87%, Ca 0.68%, P 0.72%, TDN 70.06%

คุณค่าทางอาหารชนิดที่สกัดน้ำมันทั้งเมล็ด DM 91.3%, CP 24.3%, EE 4.1%, CF 34.5%, NFE 23.0%, แร่ธาตุ 5.2% (ชวนิศนดากร, 2534)

คุณค่าทางอาหารชนิดที่อัดน้ำมันจากเมล็ดที่กะเทาะเปลือกแล้ว DM 90.2%, TDN 80% CP 34%, EE 14%, CF 13%, NFE 28.7%, แร่ธาตุ 5.9 %, Ca 0.27%, P 1.17% (ชวนิศนดากร, 2534)

คุณค่าทางอาหารชนิดที่สกัดน้ำมันด้วยสารเคมีจากเมล็ดที่กะเทาะเปลือกแล้ว CP 41%, EE 4%, CF 16%, TDN 70% (วิศิษฐ์พร, 2542)

Banta et al. (2003) รายงานว่าทานตะวันมีคุณลักษณะเป็นแหล่งที่มีไขมันสูง มีระดับของโปรตีนพอสมควร น้ำมันภายในเมล็ดยังสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราของ by-pass fat ในกระเพาะรูเมนได้ (Markus et al., 1996 อ้างโดย Chouinard et al., 2001) จากการทดลองของ Schingoethe et al. (1996) ได้ใช้เมล็ดทานตะวันในระดับ 7.5% ในสูตรอาหารมีผลทำให้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม องค์ประกอบของเมล็ดทานตะวันมีปริมาณของน้ำมันมากกว่า 40% และกรดไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไขมันไม่อิ่มตัว ในสัตว์เคี้ยวเอื้องกรดไขมันที่ได้จากเมล็ดทานตะวันส่วนหนึ่งจะถูกเพิ่มไฮโดรเจนในตำแหน่งพันธะคู่ (hydrogenation) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวภายในกระเพาะรูเมนโดยจุลินทรีย์ การ hydrogenation จะทำให้กรด linoleic (18:2) เปลี่ยนไปเป็นกรด oleic (18:1) ซึ่งเป็นตัวเริ่มต้นการผลิต Conjugated Linoleic Acid (CLA) ชนิดที่สำคัญได้แก่ *cis-9*, *trans-11*, *trans-10*, *cis-12*-octadecanoic acid CLA จะถูกดูดซึมภายในลำไส้เล็กและจะสะสมที่เนื้อเยื่อ (Gibb et al., 2004) หรือสะสมในไขมันในน้ำมัน (Chouinard et al., 2001) โดยทั่วไป CLA จะมีปริมาณมากขึ้นเมื่อได้รับปริมาณของกรด linoleic มากเช่นกัน และ Chin et al. (1992) รายงานว่า ความเข้มข้นของ CLA ที่มีอยู่ในเนื้อจะมีประมาณ 3.8-4.3 มิลลิกรัมต่อกรัมของไขมัน และประมาณ 84% ของ CLA จะอยู่ในรูป *cis-9* และ *trans-11* ซึ่ง Ritzenthaler et al. (2001) รายงานไว้ว่า เนื้อและผลิตภัณฑ์นมเป็นแหล่งของ CLA ที่อยู่ในรูป *cis-9* และ *trans-11* มีมากกว่าในอาหารของมนุษย์ และเนื้อสามารถให้ CLA มากกว่า 25% ของเนื้อที่กินเข้าไป ซึ่งระดับของ CLA ในเนื้อจะเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ ความเข้มข้นของ CLA ในไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมอาหารด้วยน้ำมันไม่อิ่มตัวที่ได้มาจากพืช (McGuire et al., 2000; Dohm et al., 2003; scollan et

Table 2.1 Fatty acid profile of common ruminant feeds

Feed	---Fatty acid, % of total reported fatty acids---							
	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	others
Pasture								
Grass	0.5	19.2	0.2	1.6	2.2	20.4	55.9	0.0
clover	0.5	22.9	0.3	3.4	3.6	21.1	48.2	0.0
Grass + legume	1.5	20.0	1.2	2.6	4.2	18.9	51.6	0.0
Silage								
Grass	5.4	24.0	0.6	2.9	6.3	14.5	46.2	0.0
Corn	1.1	15.2	0.5	3.5	18.9	40.9	6.1	13.8
Hay alfalfa	1.2	22.9	0.4	4.0	4.9	18.1	23.5	25.0
Concentrates								
Barley	0.0	27.6	0.9	1.5	20.5	43.3	4.3	1.9
corn	0.0	16.3	0.0	2.6	30.9	47.8	2.3	0.0
oats	0.0	22.1	1.0	1.3	38.1	34.9	2.1	0.5
Wheat	0.0	20.0	0.7	1.3	17.5	55.8	4.5	0.2
By product								
Gluten meal	0.0	17.2	0.9	0.8	26.7	53.0	1.4	0.0
Distillers grains	0.0	15.6	0.0	2.7	24.2	54.5	1.8	1.2
Plant seed/oils								
Soybean	0.0	11.0	0.0	3.8	23.3	54.5	5.9	1.5
Extruded soybean	0.0	14.5	0.0	3.8	19.5	53.2	9.1	0.0
Extruded cottonseed	0.0	23.4	0.5	2.2	16.5	57.4	0.0	0.0
Sunflower	0.0	4.0	0.0	5.4	21.2	69.4	0.0	0.0
Peanut	0.0	12.3	0.0	3.2	51.5	30.2	0.0	2.8
Feed	---Fatty acid, % of total reported fatty acids---							
	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	others
Linseed	0.0	6.5	0.0	4.0	22.7	15.4	51.4	0.0
Fish oil	8.0	22.0	11.0	3.0	21.0	2.0	1.0	32.0
Animal tallow	3.2	24.8	5.3	14.5	45.9	5.9	0.3	0.0

Source : Dhiman et al. (2005)

al. 2003) เมล็ดพืชน้ำมันที่มีน้ำมันสูงจะมีกรด linoleic ประมาณ 75% ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งเมล็ดทานตะวัน จะมีปริมาณของกรด oleic อยู่สูง (Ritzenthaler et al., 2001)

แต่อย่างไรก็ตาม การเสริมกากเมล็ดทานตะวันในระดับที่สูงมากๆ อาจจะเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ของเชื้อเอนไซม์ลดลง เนื่องจากกากเมล็ดทานตะวันที่ไม่ได้กระเทาะเปลือกที่เข้าสู่กระเพาะรูเมนยังคงมีปริมาณเชื้อเอนไซม์อยู่มากอยู่ อาจทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าไปย่อยเชื้อเอนไซม์ได้ (เมธา, 2533) ทำให้สัตว์ใช้พลังงานได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ เป็นผลให้การสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acids, VFA) ลดลง จึงศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่รายงานถึงสารเสริมบางตัวที่มีคุณสมบัติพิเศษ เพื่อปรับปรุงการย่อยได้ของอาหารประเภทเชื้อเอนไซม์ พบว่า Fibrolytic enzyme ที่นำมาใช้เสริมในอาหารแพะนม โดยทั่วไปคือเอนไซม์ cellulase และ xylanase ส่วนใหญ่ใช้ในรูปแบบของเอนไซม์ผสม (mix enzyme) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการนำ fibrolytic enzyme มาเสริมในอาหารแพะนม จะไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ (feed intake) ของแพะนม รวมทั้งผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม ส่วนเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ (% digestibility) ผลยังมีความผันแปรอยู่มาก แต่สามารถปรับปรุงการย่อยได้เชื้อเอนไซม์ให้ดีขึ้นได้ อย่างไรก็ตามข้อมูลส่วนใหญ่เมื่อมีการเสริม fibrolytic enzyme ในอาหารแพะนม พบว่าการกินได้วัตถุแห้ง ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริมเอนไซม์ ถึงแม้ไม่แตกต่างกันทางสถิติก็ตาม จากผลการทดลองที่ค่อนข้างผันแปรนี้ ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำ fibrolytic enzyme มาใช้ร่วมกับอาหารชั้นที่มีกากเมล็ดทานตะวันเป็นส่วนประกอบต่อไป เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์หลักของการเสริมเอนไซม์ดังกล่าว เพื่อจะได้เกิดประโยชน์สูงสุด

อาหารแพะประกอบด้วยอาหารหยาบและอาหารข้น ซึ่งอาหารหยาบจัดเป็นอาหารหลักสำหรับแพะจะมีปริมาณเชื้อเอนไซม์ (fiber) เป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูงและมีการย่อยได้เชื้อเอนไซม์ต่ำ โดยทั่วไปอาหารเชื้อเอนไซม์จะประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) ซึ่งเป็นแพะรงสร้างที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ทนต่อการย่อยด้วยกรดและด่าง มีแพะรงสร้างเป็นเส้นตรงเป็น polymer ของ D-glucose ประกอบด้วย D-glucose ตั้งแต่ 15,000 โมเลกุลขึ้นไป เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β - (1,4) glycosidic linkages ซึ่งพันธะดังกล่าวไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของสัตว์ได้ แต่จะถูกย่อยได้โดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ และเอนไซม์ที่สามารถ hydrolyze ได้ คือ เอนไซม์ cellulase

เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็น polysaccharides ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เหมือนกับ cellulose แพะรงสร้างหลักประกอบด้วย D-glucose, D-galactose, D-mannose, D-xylose และ L-arabinose เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ glycosidic linkages นอกจากนี้ยังมี uronic acid เป็นองค์ประกอบด้วย ในหญ้าจะมี hemicellulose ประกอบด้วย xylan ซึ่งเป็นสายหลักเกิดจาก D-xylose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β - (1, 4) linkage และมีการแตกแขนงออกไปประกอบด้วย methyl-glucuronic acid, glucose, galactose และ arabinose

เพกติน (pectin) เป็นกลุ่มของ polysaccharides แพะรงสร้างของ pectin เป็นเส้นตรงเป็น polymer ของ D-galacturonic acid เชื่อมต่อกันประมาณ 200 โมเลกุล แพะรงสร้างจะมีหมู่ carboxyl คือ

methyated (COOCH_3) เป็นองค์ประกอบอยู่จำนวนมาก นอกจากนี้ยังประกอบด้วยน้ำตาลต่างๆ ได้แก่ D-galactose, L-arabinose และ D-xylose

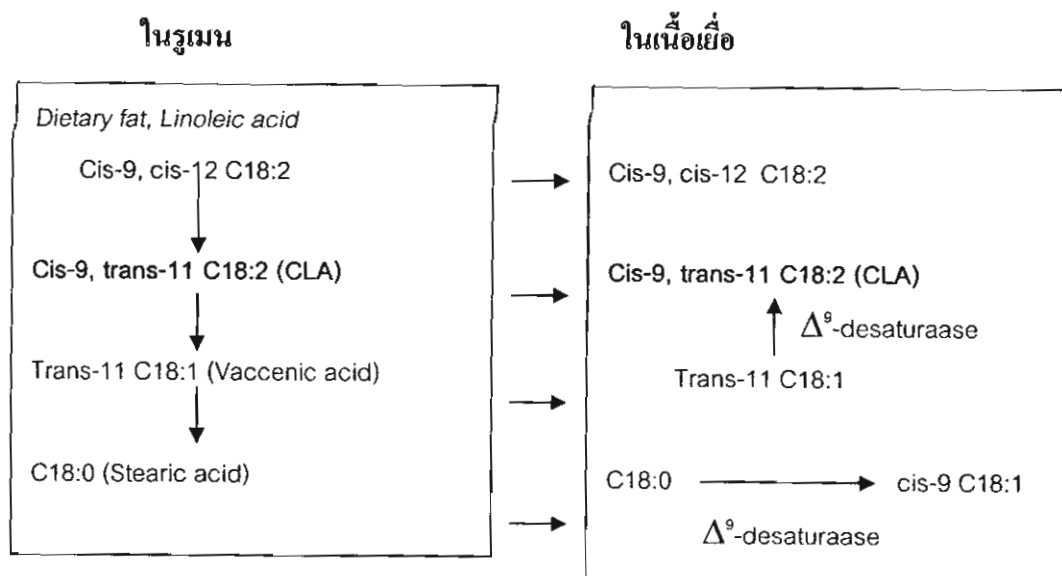
ลิกนิน (lignin) ไม่จัดเป็นคาร์โบไฮเดรต แต่มักจะอยู่รวมกันกับ cellulose ในส่วนของผนังเซลล์พืช เป็นส่วนที่มีความแข็งแรงมากของพืช ถ้าพืชยิ่งแก่ lignin ยิ่งมาก ทำให้ย่อยได้ยาก เพราะเอนไซม์จากสัตว์ และจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยได้ นอกจากนี้ยังทำให้เอนไซม์ต่างๆ เข้าย่อยโภชนะต่างๆ ได้น้อยอีกด้วย lignin เป็น polymer ของอนุพันธ์ของ phenyl-propane ประกอบด้วย comaryl alcohol, coniferyl alcohol และ sinapyl alcohol เป็นต้น

ซึ่งส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของพืช (cell wall) สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นอาหารประเภทเยื่อใยมีความสำคัญอย่างมาก แพะจำเป็นต้องได้รับอย่างเพียงพอทั้งปริมาณและคุณภาพ เพื่อจะนำไปใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน เพื่อหมักย่อยจนได้ผลผลิตสุดท้าย คือ กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ซึ่งจัดเป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับแพะ นอกจากนี้ยังช่วยในการรักษาสภาพสมดุลภายในกระเพาะรูเมนอีกด้วย และเมื่อแพะได้รับอาหารเยื่อใยอย่างเพียงพอ จะส่งผลทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและทำให้แพะมีสุขภาพที่ดี ส่วนอาหารข้น หมายถึง วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีความเข้มข้นของโภชนะต่อหน่วยน้ำหนักสูง ส่วนมากจะมีเยื่อใยต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ อาจจะเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดเดียวหรือหลายชนิดประกอบกันเป็นสูตรอาหาร แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ อาหารโปรตีน อาหารพลังงาน และอาหารเสริมแร่ธาตุและวิตามิน (วิศิษฐพร, 2542)

การนำ fibrolytic enzyme มาเสริมในอาหารแพะนมหรือในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องประเภทอื่นจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักย่อยอาหารเยื่อใยในกระเพาะรูเมน ทำให้แพะนมสามารถย่อยอาหารได้เร็วขึ้น และสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใยได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย เพราะองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อใยในอาหารหยาบโดยทั่วไป มีลักษณะทางกายภาพที่มีความฟามสูง มีความสามารถในการกระตุ้นและส่งเสริมการบดเคี้ยวอาหาร การหลั่งน้ำลาย การเคี้ยวเอื้องการพัฒนากระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการดูดซึมของผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดความสมดุล และนิเวศวิทยาที่เหมาะสมในกระเพาะรูเมน องค์ประกอบหลักของอาหารเยื่อใย คือ แพะรงสร้างของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยเยื่อใย ซึ่งมีการย่อยได้ต่ำมาก ซึ่งเยื่อใยจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทแพะรงสร้าง และส่วนที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น ลิกนิน ซิลิกา เป็นต้น ส่วนประกอบของเยื่อใย ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช มักเรียกรวมกันว่า โฮโลเซลลูโลส (holocellulose) โดยจัดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งสัตว์จะใช้ประโยชน์ได้มากน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับปริมาณของผนังเซลล์ของพืชอาหารสัตว์ และส่วนประกอบ เพราะพืชอาหารสัตว์ที่โตเต็มที่มีลิกนินในผนังเซลล์พืชสูง และอัตราการย่อยได้ต่ำ เนื่องจากมีลิกนินในพืชอาหารสัตว์ จะทำให้การย่อยได้ต่อหน่วยในทางเดินอาหารต่ำและเป็นการจำกัดการกินอาหารของสัตว์ด้วย (ปิ่น และเมธา, 2546)

2.10 ความสำคัญและการสังเคราะห์ conjugated linoleic acid ในรูเมน

แพะเนื้อเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก ที่มีความสามารถในการใช้อาหารหยาบหรือผลพลอยได้ทางการเกษตรได้ดี โดยเฉพาะผลผลิตและผลพลอยได้ที่มีมากและราคาถูก เช่น มันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารพลังงาน (มันเส้น และกากมัน) ซึ่งสามารถใช้ในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดี (Wanapat et al., 2000; Wanapat, 2001) อย่างไรก็ตามในอาหารแพะมีการใช้ที่ไม่มากนัก จึงควรจะมีการศึกษาและส่งเสริมให้มีการใช้เพิ่มมากขึ้น เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มมูลค่าของมันสำปะหลัง เพื่อเปลี่ยนเป็นเนื้อสัตว์คุณภาพดีต่อไป ในการเลี้ยงแพะเนื้ออาหารหยาบอย่างเคี้ยวและพลังงาน ไม่เพียงพอต่อจุลินทรีย์และตัวสัตว์ มีความจำเป็นต้องเสริมแหล่งโปรตีนซึ่งได้จาก ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (non-protein nitrogen, NPN) และโปรตีนแท้ (true protein) จะทำให้เกิดกระบวนการหมักในรูเมน เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งจำเป็นต้องวัดการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์และผลผลิตสุดท้าย เช่น แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) และ VFAs โดยอาหารและผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการหมัก ทั้งส่วนที่เกิดขึ้นในรูเมน โดยเฉพาะจุลินทรีย์โปรตีน และ VFAs จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของเนื้อแกะ (Ivan et al., 2001) โดยมีความเกี่ยวพันและสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เพื่อนำผลไปสู่การใช้ประโยชน์ต่อไป อย่างไรก็ตามผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมัก และจุลินทรีย์ อาจจะทำให้โปรตีนไม่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ โดยเฉพาะในสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูงหรือผลผลิตคุณภาพดี จึงมีความจำเป็นต้องเสริมอาหารโปรตีนไหลผ่าน ซึ่งไม่ถูกย่อยในรูเมนและผ่านไปยังย่อยที่ลำไส้เล็ก ซึ่งเป็นโปรตีนคุณภาพดี โดยทั่วไปจะได้จากแหล่งของกากธัญพืชที่ผ่านกระบวนการที่ผ่านความร้อน เช่น กากเมล็ดทานตะวัน กากเมล็ดฝ้าย กากเบียร์ กากงา และกากปาล์ม เป็นต้น



ที่มา : Bauman et al. (2000)

กระแสความนิยมของผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญแก่อาหารและสุขภาพสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคข้อมูลข่าวสารสะดวกรวดเร็ว โดยรับรู้ผ่านสื่อต่างๆ รวมถึงผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ การปนเปื้อนสารพิษ สารตกค้างต่างๆ ประกอบกับการพัฒนาทางการแพทย์ที่ค้นพบความผิดปกติจากการบริโภคสารอาหารขาดหรือเกินขนาด ทั้งด้านโปรตีนและพลังงาน โดยเฉพาะการบริโภคอาหารไขมันทำให้เกิดปัญหาสุขภาพตามมามากมาย จึงมีการรณรงค์ให้บริโภคอาหารที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวแทนกรดไขมันอิ่มตัว นักวิทยาศาสตร์ยังพบว่ากรดไขมันบางชนิดมีคุณสมบัติในการต่อต้านการเกิดมะเร็งได้ ซึ่งได้แก่ conjugated linoleic acid (CLA) ซึ่งพบในธัญพืชต่างๆ และพบมากในผลิตภัณฑ์จากสัตว์เคี้ยวเอื้อง คือ เนื้อและน้ำมัน (Booth et al., 1935; Bauman et al., 1999) และในบรรดาเนื้อสัตว์เคี้ยวเอื้องด้วยกันยังพบในเนื้อแพะมากกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น (Song and Kennelly, 2002)

ไขมันในเนื้อสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่สังเคราะห์มาจากผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมักในรูเมนคือ อะซิเตท (acetate) และบิวทีเรท (butyrate) และได้จากไขมันในอาหาร ซึ่ง CLA เป็นสารตัวกลาง (intermediates) ของกระบวนการ biohydrogenation ในการเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวไปเป็นกรดไขมันอิ่มตัว โดยจุลินทรีย์ในรูเมน และ CLA ที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับ CLA ในเนื้อเยื่อไขมัน และ CLA ในน้ำมัน (Bauman et al., 2000) การเกิด CLA ในรูเมนต้องการกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมาจากอาหาร โดย CLA ที่พบในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีโครงสร้างเป็น cis-9, trans-11 CLA กระบวนการเกิด CLA ในรูเมนเริ่มจากอาหารที่มี linoleic acid (cis-9, trans-12) และถูกเปลี่ยนเป็น CLA (cis-9, trans-11 CLA), vaccenic acid (trans-11) และกรดไขมันอิ่มตัว stearic acid ตามลำดับ (ดังแสดงในรูป) โดยปกติแล้วจุลินทรีย์ในรูเมนหลายชนิด ถูกยับยั้งการทำงานโดยกรดไขมันสายยาว (Henderson, 1973) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการ biohydrogenation ของไขมันในรูเมน คือ *Butyrivibrio fibrisolvens* (Kepler et al., 1966) นอกจากนี้ CLA ยังสามารถสังเคราะห์ได้ในเนื้อเยื่อโดยมี trans-11 C_{18:1} เป็นสารตั้งต้น กรดไขมันไม่อิ่มตัวพบมากในธัญพืชหรือพืชน้ำมัน เช่น ถั่วลิสง (linseed) ชแฟลาวเวอร์ (safflower) เมล็ดทานตะวัน เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดข้าวโพด และ เมล็ดฝ้าย เป็นต้น อย่างไรก็ตามปัญหาหลักของการเสริม CLA ให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้องคือการที่จุลินทรีย์เปลี่ยน CLA เป็น stearic acid เป็นส่วนใหญ่และไม่สามารถควบคุมให้มีปริมาณ CLA ผ่านลำไส้เล็กในปริมาณที่ต้องการได้ จึงได้กำลังมีการศึกษาหาวิธีในการป้องกันไม่ให้ CLA ถูกย่อยในรูเมน และอีกทางคือให้มีการเพิ่ม CLA ในรูเมนโดยจุลินทรีย์ และนักวิทยาศาสตร์ยังพบว่า CLA สามารถเพิ่มขึ้นในวัตถุดิบอาหารได้โดยการผ่านกระบวนการให้ความร้อน เช่น การเอกซ์ทรูด (Madron et al., 2002)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 บทนำ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการการนำใช้ประโยชน์ใบพืช เมล็ดและกากเมล็ดธัญพืชที่มีในท้องถิ่น และวัดค่าการย่อยได้ในรูเมน ของวัตถุดิบ โปรตีน และผลของการทรีตต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมัน เปรียบเทียบก่อนและหลังการทรีต เพื่อจะได้นำข้อมูลดังกล่าว ไปประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ต่อไป

3.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีของเมล็ดและกากเมล็ดธัญพืช ได้แก่ วัตถุดิบแห้ง (dry matter, DM), เถ้า (ash), โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) โดยวิธีการของ AOAC (1984), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) ตามวิธีการของ (Goering and Van Soest , 1970)

3.3 สัตว์ทดลอง

ลักษณะทางโภชนาการ ความสามารถในการย่อยได้ในรูเมน ของเมล็ดและกากทานตะวัน ใช้โคเจาะกระเพาะแบบถาวร (permanent rumen fistulae) จำนวน 3 ตัว ชั่งน้ำหนักสัตว์ทุกตัวก่อนเข้างานทดลอง เลี้ยงในคอกขังเดี่ยว ปรับอาหารด้วยพื้นฐานอาหารหยาบด้วยหญ้าสดและเสริมอาหารข้น เป็นเวลา 2 สัปดาห์ และวัดความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารที่จะทดสอบ

3.4 อาหารและการให้อาหารสัตว์ทดลอง

โคทุกตัวได้รับอาหารในระดับเพื่อการดำรงชีพ (maintenance) โดยให้อาหารหยาบ ได้แก่ ฟางข้าว 70 เปอร์เซ็นต์ และอาหารข้น 30% โดยให้อาหารวันละ 2 เวลา (8.00 และ 16.00 น.) มีน้ำสะอาดให้ดื่มตลอดเวลา ปรับสัตว์ด้วยอาหารสัดส่วนดังกล่าวข้างบนใช้เวลา 14 วัน ก่อนการนำถุง nylon และ mobile bag ลงบ่ม

3.5 เทคนิค nylon bag

ถุงที่ใช้ในการทดลองทำจาก polyester cloth โดยมีรูขนาด 45 ไมครอน และมีขนาด 6 x 12 cm ชั่งน้ำหนักอาหารตัวอย่างใส่ถุง ๆ ละประมาณ 5 กรัม ช่วงเวลาละ 2 ชั่วโมงต่อสัตว์ 1 ตัว มัดปากถุงให้แน่น และผูกถุงใส่เชือก นำลงบ่มในกระเพาะรูเมนพร้อมๆ กัน และทำการเก็บออก หลังการบ่มที่เวลา 2, 4, 8, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ยกเว้นถุงที่เวลา 0 ไม่ต้องบ่มในรูเมน แต่ทำการล้างเหมือนกับกลุ่มอื่น ถุงที่นำ

ออก จากกระเพาะรูเมนทำการล้างด้วยเครื่องซักผ้าที่ความเร็วในการปั่นในระดับปกติเป็นเวลา 15 นาที (Kamel et al., 2000) ต่อจากนั้นอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และ คำนวณตามสมการของ Ørskov and McDonald (1979) และนำมาคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Chen, 1996);

$$P = A + B (1 - e^{-ct})$$

เมื่อ,

P = degradation rate an time t (%),

A = the intercept of the degradation curve at time zero (%),

B = the fraction of DM and CP which will be degraded when given sufficient time for digestion in the rumen (%),

c = a rate constant of disappearance of fraction B (h^{-1}), and

t = time of incubation (h).

ประสิทธิภาพในการย่อยได้ (the effective degradability, E) ของ DM, OM และ CP คำนวณ ได้จากสมการข้างล่าง ดังนี้

$$E = A + (B) (c) / (c + k)$$

เมื่อ k = the solid outflow rate from the rumen obtained from the previous experiment

3.6 เทคนิค mobile bag

จัดทำจาก polyester cloth โดยมีรูขนาด 45 ไมครอน โดยมีขนาด 3.5 x 5 cm นำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยใน กระเพาะรูเมน ที่มีการย่อยได้สูงสุด ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้อยู่ระหว่างชั่วโมงที่ 12 ถึง 24 จากการทดลอง จึงใช้ทั้ง 2 เวลาดังกล่าว โดยตัวอย่างจากดังกล่าวทำการบดผ่านตะแกรงขนาด 2 mm ซึ่งน้ำหนัก ประมาณ 0.5 กรัม และนำลงบ่มในลำไส้เล็ก ต่อจากนั้นรอเก็บ mobile bag ที่ขับถ่ายออกมากับมูล ทำการล้างและอบ เพื่อการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่นเดียวกับตัวอย่างอาหารจากรูเมนอาหารที่ผ่านการย่อยในรูเมน (residues) นำมาศึกษาต่อเพื่อวัดการย่อยได้ในลำไส้เล็กโดยใช้เทคนิคการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ (in vitro) ตามวิธีการของ Calsamiglia and Stern (1995)

3.7 Three-step in vitro procedure (Calsamiglia and Stern, 1995)

สารเคมี:

1. 0.1 N HCl containing : 1 g/l of pepsin (Sigma p-7012, Sigma)
2. 1 N NaOH
3. pancreatin solution containing:
 - 0.5 M KH_2PO_4 buffer standardized at pH 7.8

- 50 ppm Thymol
- 3 g/l pancreatin (Sigma p-7545, Sigma)

4. 100 % (wt/vol) trichloroacetic acid

วิธีการเตรียมสารละลาย:

ยกตัวอย่างเช่น จำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง

1. 0.1 N HCl 1 g/l of pepsin (Sigma p-7012, Sigma) pH 1.9 ปริมาตร 40 ml

ปริมาณที่ใช้ 10 ml/sample ใช้ทั้งหมด 40 ml

$$\text{จาก } N_1V_1 = N_2V_2$$

$$N_1 = 12 \text{ N HCl}$$

$$V_1 = \text{Volume 12 N HCl}$$

$$N_2 = 0.1 \text{ N HCl}$$

$$V_2 = 40 \text{ ml of 0.1 N HCl}$$

แทนค่า

$$12 \times V_1 = 0.1 \times 40$$

$$V_1 = (0.1 \times 40)/12$$

$$= 0.33 \text{ ml}$$

เพราะฉะนั้น ใช้ 12 N HCl = 0.4 ml น้ำกลั่น = 39.6 ml

เนื่องจากมี 1 g/l pepsin เป็นองค์ประกอบ

นั่นคือ สารละลาย 1000 ml ที่ pepsin 1 g

ดังนั้น สารละลาย 40 ml มี pepsin = $(1 \times 40)/1000 \text{ g}$

$$= 0.04 \text{ g}$$

2. 1 N NaOH ปริมาตร 2 ml

$$\text{กรัมสมมูลของ NaOH} = 40 \text{ g}$$

1 N NaOH ใช้ NaOH 40 g ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

ดังนั้น ใช้ NaOH 0.08 g ในน้ำกลั่น 2 ml

3. pancreatin solution (0.5 M KH_2PO_4 buffer standardized at pH 7.8 + 50 ppm thymol + 3 g/l of pancreatin) (Sigma p-7545, Sigma)

น้ำหนักอะตอม K = 39 H = 1 P = 31 O = 16

$$\text{มวลโมเลกุล ของ } \text{KH}_2\text{PO}_4 = 1(39) + 2(1) + 1(31) + 4(16)$$

$$= 136$$

นั่นคือ 1 M KH_2PO_4 ใช้ $\text{KH}_2\text{PO}_4 = 136 \text{ g}$ ในน้ำกลั่น 1000 ml

$$0.5 \text{ M KH}_2\text{PO}_4 \text{ ใช้ } \text{KH}_2\text{PO}_4 = 136 \times 0.5$$

$$= 68 \text{ g ในน้ำกลั่น } 1000 \text{ ml}$$

เพราะฉะนั้น ใช้ $0.5 \text{ M KH}_2\text{PO}_4$ ปริมาตร 54 ml ใช้ $\text{KH}_2\text{PO}_4 = (68 \times 54)/1000$

$$= 3.7 \text{ g ในสารละลาย } 54 \text{ ml}$$

และประกอบด้วย 50 ppm thymol

เตรียม stock $0.1 \text{ g}/10 \text{ ml}$

เตรียม stock solutions:

1 g ในน้ำกลั่น 10 ml (0.1%)

เช่น 50 ppm :

สารละลาย $1 \times 10^6 \text{ ml}$ มีเนื้อสาร 50 g

$$\text{สารละลาย } 54 \text{ ml มีเนื้อสาร} = (50 \times 54)/1 \times 10^6$$

$$= 2.7 \times 10^{-3} \text{ (} 5 \times 10^{-3}\text{)\%}$$

$$\text{จาก } N_1V_1 = N_2V_2$$

แทนค่า

$$(10\%) V_1 = (5 \times 10^{-3}\%) (54)$$

$$V_1 = \frac{(5 \times 10^{-3}\%)(54)}{10}$$

$$= 270 \times 10^{-4}$$

$$= 2.7 \times 10^{-2} = 0.027 \text{ ml}$$

Pancreatin 3 g/l:

1000 ml ของสารละลาย มี pancreatin 3 g

$$54 \text{ ml ของสารละลายมี pancreatin} = (3 \times 54)/1000$$

$$= 0.162 \text{ g}$$

ดังนั้น **pancreatin solution** มีส่วนประกอบดังนี้ คือ

$$\text{KH}_2\text{PO}_4 = 3.7 \text{ g}$$

$$\text{Thymol (solution)} = 0.027 \text{ ml}$$

$$\text{Pancreatin} = 0.162 \text{ g}$$

$$\text{น้ำกลั่น} = 53.973 \text{ ml}$$

4. $100\% \text{ (Wt/Vol)}$ trichloroacetic (TCA) solution ปริมาตร 12 ml

thymol 12 g ในน้ำกลั่น 12 ml

ขั้นตอนในการวิเคราะห์:

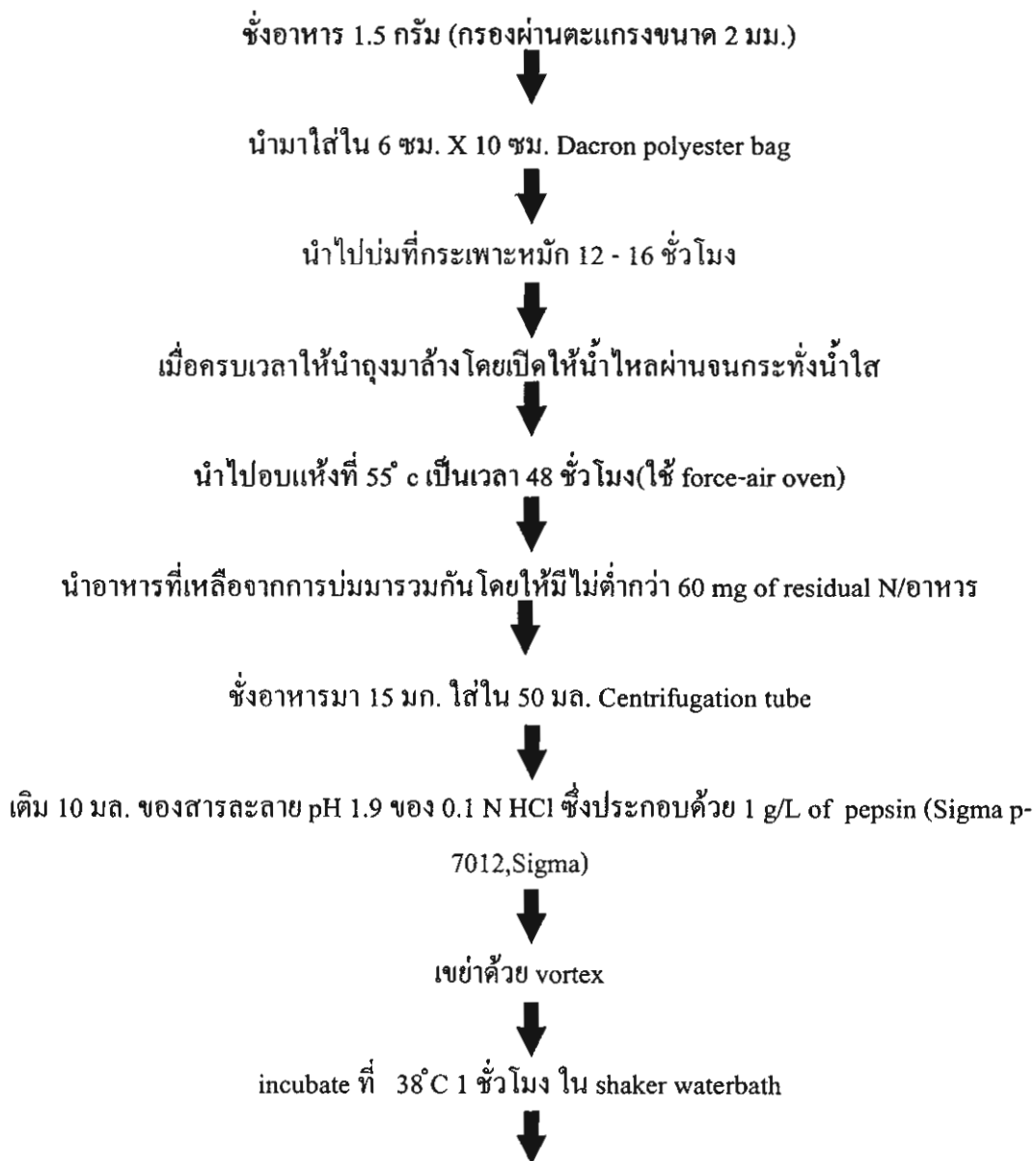
Three step พัฒนามาจากการหมักในกระเพาะหมัก การย่อยของเปปซิน และการย่อยในลำไส้เล็ก มาประยุกต์เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

step 1 ruminal incubation

step 2 pepsin - HCl

step 3 intestinal digestion by pancreatin

มีวิธีการดังนี้คือ



เติม 0.5 ml ของ 1 N NaOH solution และ 13.5 ml ของ pancreatin solution (ประกอบด้วย 0.5M KH₂PO₄ buffer standardized at pH 7.8 ซึ่งมี 50 ppm ของ thymol (ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์) และ 3 g/L ของ pancreatin (Sigma p-7545, Sigma))

↓
เขย่าด้วย vortex

incubate ที่ 38 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใน shaker waterbath และนำไปเขย่าด้วย vortex ทุก 8 ชั่วโมง

↓
เติม 3 ml ของ 100% (wt./vol) ของ trichloroacetic acid (TCA) solution เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ และแยกส่วนของโปรตีนที่ไม่ถูกย่อย

↓
เขย่าด้วย vortex

↓
ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

↓
centrifuge ที่ 10,000 x g 15 นาที

↓
นำ supernatant ไปวิเคราะห์ โดยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 1984)

↓
การคำนวณการย่อยได้ของโปรตีน โดย pepsin-pancreatin จาก TCA soluble - N/N ทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ (dacron bag residue)

การศึกษาการใช้ธัญพืชทดแทนแหล่งโปรตีนราคาแพงเป็นอาหารแพะเนื้อ

การศึกษาใช้แพะเนื้อพันธุ์ลูกผสมเองโกล-นูเบียน และพื้นเมือง ระยะกำลังเติบโต อายุประมาณ 7-8 เดือน จำนวน 12 ตัว ใช้แผนการทดลองแบบ 4 x 4 latin square design

คำนวณสูตรอาหารสำหรับแพะเนื้อที่มีน้ำหนักตัวระหว่าง 15-20 kg ตามความต้องการตาม NRC (1981) แพะทุกตัวได้รับต้นข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยให้กินแบบเต็มที่ (ad libitum) โดยชั่งให้วันละ 2 ครั้ง เช้า (8.00 น.) และบ่าย (16.00 น.) และชั่งออกของอาหารที่เหลือในเช้าวันรุ่งขึ้นก่อนให้อาหารเพื่อวัดปริมาณการกินได้

เก็บตัวอย่างอาหารที่กิน มูล และปัสสาวะแบบ total collection ใน 7 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงเวลา และในวันสุดท้ายของแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่างของเหลวจากรูเมน เลือด

3.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ตัวอย่างอาหารก่อนการบ่ม และตัวอย่างอาหารที่ผ่านการย่อยในกระเพาะรูเมนและในลำไส้เล็ก วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง (dry matter, DM), เถ้า (ash) และ โปรตีน (Kjeldahl-N) ตามวิธีการของ AOAC (1984)

3.9 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดทำการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้ Proc. GLM (SAS, 1989)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 บทนำ

ผลที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้สามารถจำแนกตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. การวัดและทดสอบความสามารถในการย่อยได้ในรูเมน และค่าใส่เล็กของพืชอาหารสัตว์ในท้องถิ่น (foliages) และเมล็ดหรือกากเมล็ดธัญพืช

ก. ได้สุ่มเก็บและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta*, Crantz), กระจับปี่ (*Leucaena leucocephala*), ขนุน (*Artocarpus heterophyllus*), หม่อน (*Morus alba*) โดยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ดังนี้ วัตถุแห้ง (dry matter, DM) เถ้า (ash) โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) และ เชื้อใย NDF (neutral detergent fiber, NDF) และ เชื้อใย ADF (acid detergent fiber, ADF)

ข. ได้ทำการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายในรูเมน ได้ทำการศึกษาโดยใช้โคเจาะกระเพาะแบบถาวร (permanent rumen fistulae) จำนวน 3 ตัว เลี้ยงในคอกขังเดี่ยว โคได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหยาบหลักเป็นเวลา 2 สัปดาห์ และวัดความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารที่จะทดสอบ (ดังข้อ ก.) โดยใช้เทคนิคถุงไนลอน (nylon bag technique) ทำการบ่มในรูเมนที่ชั่วโม่งที่ 0, 2, 4, 8, 16, 24, 48 และ 72 ตามลำดับ ตามวิธีการของ Ørskov and McDonald (1979) และนำมาคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Curvfit (Chen, 1996)

ค. ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างอาหารทดสอบที่ผ่านการศึกษาศาสามารถในการย่อยได้ในรูเมน ได้แก่ วัตถุแห้ง และโปรตีนหยาบ และคำนวณความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะดังกล่าว

ง. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ทดสอบการย่อยได้ในรูเมนและในค่าใส่เล็ก (*in vitro*) ของ เมล็ดธัญพืช

2. การศึกษาการทดแทนกากเมล็ดธัญพืช (กากทานตะวัน) ในอาหารแพะเนื้อ

ผลการวิจัย

การทดลองได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพืชโปรตีนอาหารสัตว์ พบว่าโปรตีนในมันเฮย์สูงกว่าพืชโปรตีนชนิดอื่น คือ 23.7 % รองลงมาได้แก่หม่อน (19.5 %CP), กระจับ (17.1 %CP) และขนุน (14.4 %CP) ตามลำดับ ในขณะที่อินทรีวัตถุ และ ADF ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ยกเว้น NDF ของขนุนมีค่ามากกว่าพืชโปรตีนชนิดอื่นๆ ดัง Table 4.1

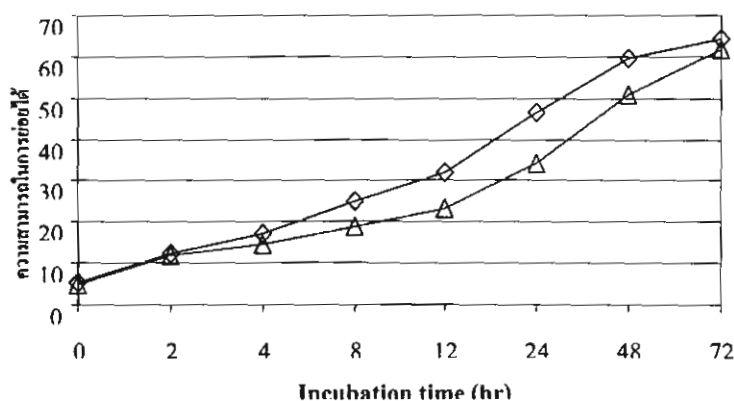
ระดับโปรตีนของมันเฮย์ มีระดับใกล้เคียงกับการทดลองของ Wanapat et al. (2003) ที่อยู่ในช่วงประมาณ 22-26 %

Table 4.1 Chemical compositions of cassava, leucaena, kenaf foliages and *Morus alba*
(% based on DM basis)

Items	Cassava	Leucaena	Jack fruit	<i>Morus alba</i>
Dry matter	92.3	95.1	93.5	94.3
Organic matter	88.2	87.9	89.7	87.7
Crude protein	23.7	17.1	14.4	19.5
Neutral detergent fiber	41.3	48.6	46.6	42.4
Acid detergent fiber	20.4	24.1	24.2	21.2

การศึกษาที่ 4.1 การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยได้ในรูเมนระหว่างใบรวมกิ่งก้านกระถินและหม่อน

ผลการศึกษาพบว่าของการย่อยได้ในรูเมนของโปรตีนพืชอาหารสัตว์ในท้องถิ่น โดยใช้เทคนิค *in sacco* พบว่าใบมันสำปะหลังมีความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีนในกระเพาะรูเมนสูงกว่าขนุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังรูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความสามารถในการย่อยได้ในรูเมนเปรียบเทียบระหว่างมันเฮย์ (□) และขนุน (Δ)

Table 4.2. Percentage of DM and CP disappearances of Leucaena and Mulberry foliages incubated in rumen of cattle

Items	Protein foliages		SEM
	Leucaena	Mulberry	
DM disappearance			
A	14.0	16.4	1.05
B	60.1	62.0	2.01
c	0.096	0.161	0.04
A+B	74.1 ^b	78. 8 ^a	2.24
ED (%) *	53.2	64.1	
CP disappearance			
A	17.7 ^a	15.4 ^b	1.61
B	60.4 ^b	74.9 ^a	5.24
c	0.088	0.144	0.01
A+B	78.1 ^b	90.3 ^a	3.94
ED (%) *	55.0	71.0	

^{a, b} Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p < 0.05$),

* ED = Effective degradability at outflow rate (fraction/h) of 0.05/hr.

การศึกษาที่ 4.2 การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยได้ในรูเมนระหว่างใบรวมกิ่งก้านกระถินและมันแฮย์

องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการทดลองได้แสดงใน ตารางที่ 1 โดยมีนสำปะหลัง ประกอบด้วยโปรตีน (23.7 %CP) สูงกว่ากระถิน (19.1 %CP) ส่วนองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ไม่แตกต่างกันมากนัก

Table 4.3 Chemical compositions of cassava hay and leucaena foliage(DM basis, %)

	Cassava foliage (cassava hay)	Leucaena foliage
DM	92.3	95.1
OM	88.2	87.9
CP	23.7	19.1
Neutral detergent fiber	41.3	48.6
Acid detergent fiber	20.4	20.1

Table 4.4 Percentage of DM, OM and CP disappearances of *Leucaena* and Mulberry foliages incubated in rumen of cattle

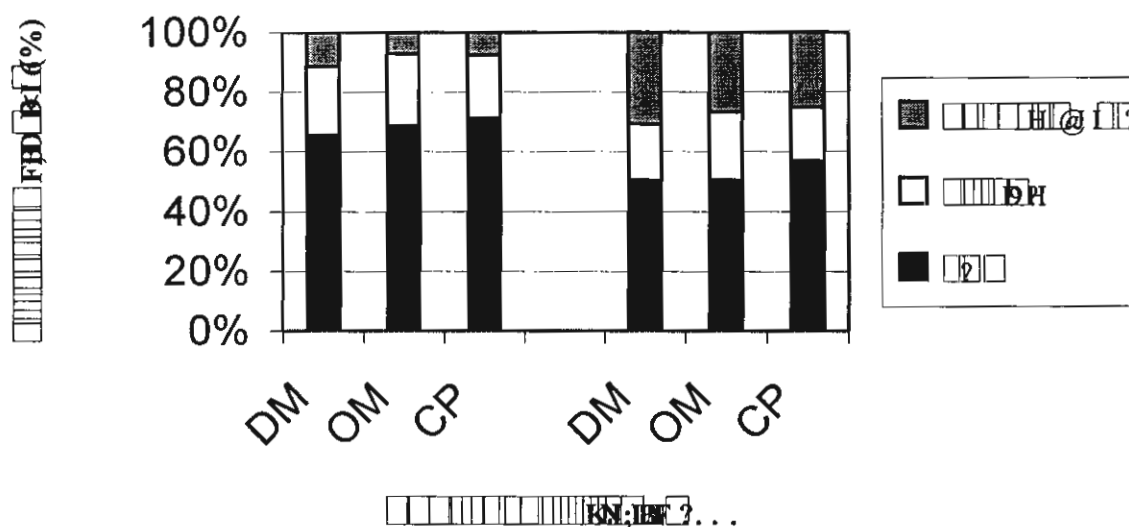
	Cassava hay	<i>Leucaena</i> foliage
ค่าคงที่ (constants) การย่อยได้ของ		
วัตถุแห้ง (%)		
A	11.7	14.0
B	65.7	60.1
c	0.012	0.096
A+B	77.4 ^a	74.1 ^b
ประสิทธิภาพการย่อยได้ DM, %	58.1 ^a	53.2 ^b
อินทรีย์วัตถุ (%)		
A	16.9 ^a	13.2 ^b
B	66.2	66.0
c	0.108	0.072
A+B	83.1	79.2
ประสิทธิภาพการย่อยได้ OM, %	62.2 ^a	51.9 ^b
โปรตีน (%)		
A	20.5	19.7
B	66.3 ^a	55.4 ^b
c	0.108	0.088
A+B	86.8 ^a	75.1 ^b
ประสิทธิภาพการย่อยได้ CP, %	65.8 ^a	55.0 ^b

^{a, b} อักษรที่แตกต่างกันในบรรทัดเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

การย่อยได้ของวัตถุแห้งของมันสำปะหลังพืชอาหารสัตว์ ในชั่วโมงที่ 0, 2, 4, 8, 12, 24 และ 72 หลังการบ่มในกระเพาะรูเมน ได้แก่ 12.2, 27.2, 36.7, 49.6, 65.5, 75.2, 75.6 และ 76.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ได้แก่ 9.5, 26.5, 29.5, 36.6, 50.4, 70.0, 72.3 และ 72.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใน 2 ชั่วโมงแรกหลังการบ่มอาหารทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่หลังจากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 ถึง 12 พบว่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของมันสำปะหลังสูงกว่า กระถินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่ 24 ชั่วโมงหลังการบ่มเป็นต้นไปการย่อยได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้อาจ

เนื่องจาก กระดาษที่ใช้ในการทดลองอาจจะมีโชนะส่วนที่ไม่สามารถย่อยได้ในกระเพาะรูเมนสูงกว่าในมันสำปะหลัง ซึ่งอาจจะเป็นสารประกอบ โปรตีน-แทนนิน (protein-tannin complex) ซึ่งมีผลทำให้การย่อยได้ในกระเพาะ รูเมนลดลง (Reed et al., 1982) ค่าอัตราการย่อยได้ของวัตถุแห้งในรูเมน (potential degradability rate, A+B) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพในการย่อยได้ (effective DM degradability) ในมันสำปะหลัง (58.1 %) สูงกว่า กระดาษ (53.2 %) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ค่าอัตราการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุของมันสำปะหลังพืชอาหารสัตว์ ในช่วงเวลาที่ 0, 2, 4, 8, 12, 24 และ 72 ชั่วโมงการบ่มในกระเพาะรูเมน ได้แก่ 13.4, 31.5, 38.4, 52.2, 68.5, 78.6, 81.0 และ 83.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ ได้แก่ 15.8, 26.3, 29.2, 33.7, 51.2, 75.2, 76.5 และ 76.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใน 4 ชั่วโมงแรกหลังการบ่มอาหารทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่หลังจากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 8 ถึง 12 พบว่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของมันสำปะหลังสูงกว่า กระดาษ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่ 24 ชั่วโมงหลังการบ่มเป็นต้นไปการย่อยได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าอัตรา การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุรวมในรูเมน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ค่าประสิทธิภาพ ในการย่อยได้ (effective DM degradability) ในมันสำปะหลัง (62.2 %) สูงกว่า กระดาษ (51.9 %) อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



รูปที่ 4.2 สัดส่วนการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DM), อินทรีย์วัตถุ (OM) และ โปรตีน (CP) ในกระเพาะรูเมน ลำไส้เล็ก และส่วนที่ย่อยไม่ได้ ของมันสำปะหลัง และกระดาษ พืชอาหารสัตว์

ค่าอัตราการย่อยได้ของโปรตีนของมันเป็นค่าเฉลี่ยของอาหารสัตว์ ในช่วงเวลาที่ 0, 2, 4, 8, 12, 24 และ 72 หลังการบ่มในกระเพาะรูเมน ได้แก่ 11.3, 33.1, 45.1, 55.7, 71.1, 81.8, 84.8 และ 88.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ได้แก่ 11.9, 29.8, 35.94, 44.3, 56.9, 70.7, 73.4 และ 74.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใน 4 ชั่วโมงแรกหลังการบ่มอาหารทั้งสองไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ แต่หลังจากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 8 เป็นต้นไป พบว่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของมันสำปะหลังสูงกว่า กระถิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับกับ ค่าอัตราการย่อยได้รวมของโปรตีนในรูเมน และค่าประสิทธิภาพในการย่อยได้ ในมันสำปะหลัง สูงกว่า กระถิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับค่าการย่อยได้ในลำไส้เล็กเฉลี่ย (อาหารจากชั่วโมงที่ 12 และ 24 หลังการบ่ม) ของมันสำปะหลัง และกระถิน สำหรับวัตถุแห้ง ได้แก่ 23.2 และ 18.8 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอินทรีย์วัตถุคือ 24.2 และ 22.8 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโปรตีน ได้แก่ 21.4 และ 17.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 2) สำหรับการย่อยได้ในลำไส้เล็ก ของวัตถุแห้ง และโปรตีน ของมันสำปะหลัง สูงกว่า กระถิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการย่อยได้ของโปรตีนที่ผ่านออกมาจากกระเพาะรูเมนของมันสำปะหลังสูงกว่ากระถิน และมีส่วนที่เรียกว่า โปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า

การศึกษาที่ 4.3 การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยได้ในรูเมนและลำไส้เล็กของกากเมล็ด

ธัญพืช

Table 4.5 Ruminal, intestinal and total crude protein digestion of sunflower seed (SS) using a three-step technique

Treatments	Rumen	Abomasum & intestinal	Total
T1=untreated SS	60.0 ^b	18.6 ^d	78.6 ^c
T2= treated with 100°C for 30 min	60.7 ^b	20.3 ^{cd}	81.0 ^{de}
T3= treated with 100°C for 60 min	60.4 ^b	23.6 ^b	84.0 ^{cd}
T4= treated with 100°C for 90 min	63.7 ^{ab}	23.8 ^b	87.7 ^{ab}
T5= treated with 120°C for 30 min	67.6 ^a	24.5 ^b	92.1 ^{ab}
T6= treated with 120°C for 60 min	68.4 ^a	27.7 ^a	96.1 ^a
T7= treated with 120°C for 90 min	37.1 ^c	22.1 ^{bc}	59.2 ^f
T8= treated with 140°C for 30 min	38.6 ^c	19.8 ^{cd}	58.4 ^f
T9= treated with 140°C for 60 min	34.9 ^{cd}	19.3 ^{cd}	54.2 ^{ef}
T10= treated with 140°C for 90 min	31.4 ^d	18.3 ^d	49.7 ^g

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$).

Table 4.6 Ruminal, intestinal and total crude protein digestion of sunflower seed (SS) and Sunflower seed meal using a three-step technique

	Sunflower seeds				Sunflower seed meal			SEM
	100°C	120°C	140°C		100°C	120°C	140°C	
Organic matter fractions (g/kg OM)								
A	228	157	113		195	224	114	17.21
B	474 ^{ab}	506 ^a	350 ^c		505 ^a	491 ^{ab}	447 ^b	1676
c	0.86 ^a	0.68b ^c	0.70 ^{bc}		0.75 ^{ab}	0.79 ^{ab}	0.57 ^c	0.03
A+B	702 ^a	662 ^a	462 ^c		705 ^a	715 ^a	511 ^b	28.68
ED	528 ^a	447 ^{ab}	317 ^c		497 ^a	525 ^a	353 ^{bc}	26.46
Crude protein fractions (g/kg CP)								
A	119 ^c	89 ^d	44 ^e		202 ^a	153 ^b	109 ^c	14.97
B	532 ^a	538 ^a	374 ^c		532 ^a	542 ^a	390 ^b	21.98
c	0.69 ^{bc}	0.75 ^b	0.88 ^a		0.88 ^a	0.97 ^a	0.97 ^a	0.04
A+B	651 ^c	626 ^b	417 ^f		734 ^a	695 ^b	500 ^c	33.43
ED	426 ^c	411 ^d	283 ^f		539 ^a	510 ^b	330 ^c	27.32
Yields of rumen microbial protein (RMP) (g/kg DM)								
From FCHO	48.8 ^{bc}	47.2 ^c	31.9 ^d		53.3 ^a	50.8 ^b	31.5 ^d	2.67
From FCP	9.1 ^c	8.8 ^c	6.5 ^c		21.9 ^a	20.6 ^a	14.5 ^b	1.81
Total RMP	57.9 ^c	56.0 ^d	38.4 ^f		75.2 ^a	71.4 ^b	46.1 ^c	3.91
RUP	156.4 ^c	157.3 ^c	165.9 ^c		203.3 ^b	204.5 ^b	223.1 ^a	7.99
Protein digested in the intestines (g/kg DM)								
From RMP	49.2 ^c	47.6 ^d	32.6 ^f		63.9 ^a	60.7 ^b	39.2 ^c	3.32
From RUP	57.1 ^a	50.5 ^b	41.1 ^c		59.5 ^a	40.1 ^c	32.0 ^d	2.98
Total PDI	106.3 ^b	98.1 ^c	73.7 ^d		123.4 ^a	100.8 ^c	71.2 ^d	5.52

^{a,b,c,d,e,f} Values on the same row under each main effect with differ superscripts different significantly ($P<0.05$), ED

=effective degradability, FCHO = fermentable carbohydrate, FCP = fermentable crude protein, RUP = rumen

undegradable protein, PDI = protein digestion in the intestines, SEM = standard error of means.

ตารางที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบการย่อยได้ในรูเมนและลำไส้เล็กของเมล็ดทานตะวัน โดยนำไปทรีตที่อุณหภูมิต่างและได้ผลดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าการทรีตที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 60 นาที ทำให้การย่อยได้ที่ลำไส้เล็ก และการย่อยได้ทั้งหมด (รูเมน + ลำไส้เล็ก) สูงสุด

จากการทดลองในครั้งนี้ โดยใช้เทคนิค nylon bag สำหรับวัดค่าการย่อยได้ในกระเพาะรูเมน และใช้เทคนิค mobile bag สำหรับวัดการย่อยได้ในลำไส้เล็ก ของกระณิน และมันสำปะหลังพืชอาหารสัตว์ ซึ่งสรุปได้ว่า การย่อยได้ในกระเพาะรูเมน ของมันสำปะหลังสูงกว่ากระณิน โดยเฉพาะการย่อยได้ ของโปรตีน ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 8 หลังการบ่มเป็นต้นไป การย่อยได้ของมันสำปะหลังสูงกว่ากระณิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับการย่อยได้มันสำปะหลังของวัตถุแห้ง และโปรตีน ของมันสำปะหลัง สูงกว่า กระณิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ค่าความสามารถในการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และโปรตีน รวมถึงค่าคงที่ (A, B, kd, A+B) เปรียบเทียบของเมล็ดธัญพืชสองชนิด สอดคล้องกันกล่าวคือ การทรีตที่อุณหภูมิ 140 °C มีค่าต่ำสุด และ Sunflower meal มีค่าสูงกว่าเมล็ดทานตะวัน ในขณะที่ค่า effective degradability เพิ่มขึ้นตามระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่ใช้ทรีต

การประเมินจุลินทรีย์โปรตีนที่สังเคราะห์ในรูเมน ลดลงตามระดับของอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่ใช้ทรีต และ Sunflower meal มีค่าสูงกว่า ($p < 0.05$) เมล็ดทานตะวัน

จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า Sunflower meal สามารถถูกใช้โดยจุลินทรีย์ หรือจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าเมล็ดทานตะวัน แต่ที่อุณหภูมิเดียวกันกลับพบว่า ระดับโปรตีนไหลผ่านของเมล็ดทานตะวันมีค่าสูงกว่า Sunflower meal อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 เป็นผลของการทรีตเมล็ดทานตะวันที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ กันต่อระดับ conjugated linoleic acid (CLA) ผลการศึกษาพบว่า ก่อนการบ่มในรูเมน เมล็ดทานตะวันที่ทรีตด้วยอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ทั้งหมดมี CLA สูงกว่ากลุ่มไม่ทรีต การทรีตที่ทำให้ระดับ CLA สูงสุดและสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือการทรีตที่อุณหภูมิ 140°C ใช้เวลา 60 นาที

เมื่อบ่มเมล็ดทานตะวันที่ทรีตที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ พบว่า ทำให้ค่า CLA เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้บ่มจนมีระดับสูงสุด ที่เวลาบ่ม 12-24 ชั่วโมง หลังจากนั้นลดลงเมื่อบ่มนานขึ้น

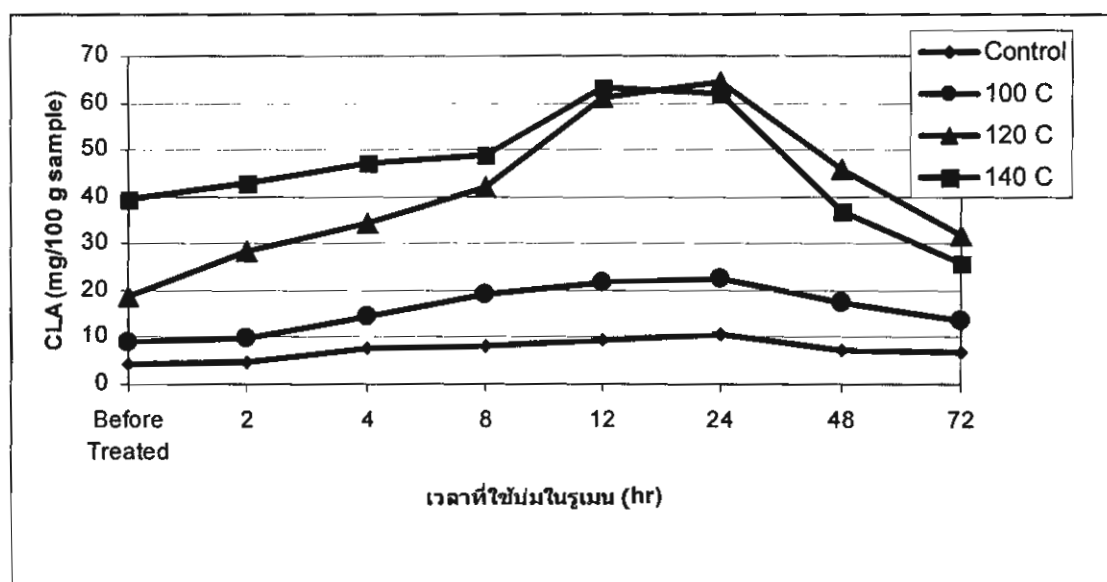
ระดับ CLA สูงสุด (90.7 mg/ 100 g sample) ในกลุ่มที่ทรีตด้วยอุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 60 นาที แต่เมื่อใช้เวลา 90 นาทีกลับทำให้ CLA ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Table 4.7 Effect of differences time and temperature treated of sunflower seed on total conjugated linoleic acid (CLA, mg/ 100 g sample)

อุณหภูมิ ทรีทด์ (°C)	เวลา ทรีทด์ (นาทึ)	ก่อนบ่ม	เวลาในการบ่มในรูเมน (hr)						
			2	4	8	12	24	48	72
Control	0	4.4 ^f	4.8 ^e	7.5 ^f	8.1 ^f	9.2 ^e	10.5 ^g	7.1 ^g	6.6 ^f
	30	6.1 ^e	7.2 ^{de}	8.2 ^f	9.1 ^f	10.5 ^e	7.4 ^g	6.9 ^g	6.5 ^f
100	60	8.5 ^d	10.1 ^d	12.7 ^e	15.5 ^e	20.8 ^d	21.2 ^f	15.3 ^f	13.1 ^e
	90	10.5 ^c	13.3 ^d	22.7 ^d	33.1 ^d	35.2 ^c	37.3 ^e	28.8 ^e	20.2 ^d
	30	10.3 ^c	15.7 ^{cd}	20.3 ^d	30.1 ^d	33.5 ^c	38.8 ^d	29.1 ^e	21.7 ^d
120	60	11.9 ^c	20.7 ^c	30.2 ^c	40.4 ^c	62.4 ^b	65.3 ^b	52.3 ^c	32.7 ^c
	90	33.2 ^b	48.8 ^b	52.7 ^b	55.0 ^b	87.8 ^{ab}	89.4 ^a	60.8 ^b	40.8 ^b
	30	30.2 ^b	38.8 ^{bc}	44.7 ^{bc}	48.8 ^b	60.6 ^b	66.5 ^b	40.7 ^d	34.3 ^c
140	60	58.4 ^a	59.3 ^a	70.6 ^a	89.2 ^a	97.9 ^a	89.4 ^a	70.3 ^a	65.1 ^a
	90	35.2 ^b	44.4 ^b	46.7 ^{bc}	47.1 ^b	46.3 ^{bc}	47.9 ^c	33.3 ^c	34.7 ^c

^{a, b, c, d, e, f, g} Values on the same column under each main effect with differ superscripts different significantly ($P < 0.05$),

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การทรีทด์ที่อุณหภูมิ 120°C และ 140°C ในการทรีทด์เมล็ดทานตะวันเมื่อบ่มในรูเมน พบว่าทำให้เกิด CLA สูงกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ทรีทด์และทรีทด์ที่ 100 °C และหลังการบ่มในรูเมนที่ระหว่าง 12 ถึง 24 ชั่วโมง ทำให้ระดับ CLA สูงสุด



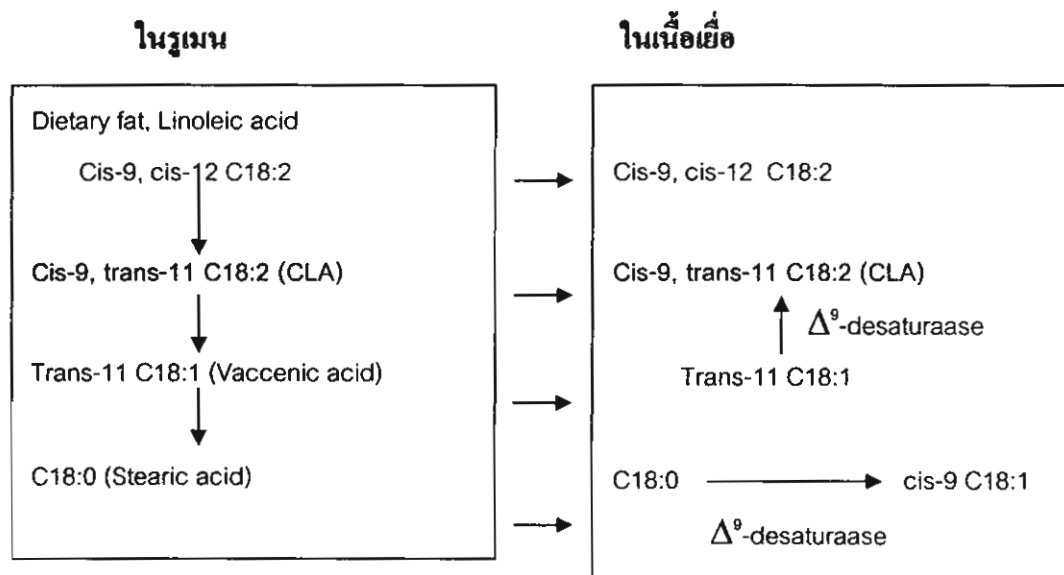
รูปที่ 4.3 ผลของการทรีทด์เมล็ดทานตะวันที่อุณหภูมิต่างๆ กันต่อระดับ conjugated linoleic acid (CLA) ในการบ่มในรูเมนที่เวลาต่างๆ

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถในการใช้อาหารหยาบ

หรือผลพลอยได้ทางการเกษตรได้ดี

โดยเฉพาะผลผลิตและผลพลอยได้ที่มีมากและราคาถูก เช่น มันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารพลังงาน (มันเส้น และกากมัน) ซึ่งสามารถใช้ในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดี (Wanapat et al., 2000; Wanapat, 2001) อย่างไรก็ตามในอาหารแพะมีการใช้ที่ไม่มากนัก จึงควรจะมีการศึกษาและส่งเสริมให้มีการใช้เพิ่มมากขึ้นเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มมูลค่าของมันสำปะหลัง เพื่อเปลี่ยนเป็นเนื้อสัตว์คุณภาพดีต่อไป ในการเลี้ยงแพะเนื้ออาหารหยาบอย่างเคี้ยวและพลังงาน ไม่เพียงพอต่อจุลินทรีย์และตัวสัตว์ มีความจำเป็นต้องเสริมแหล่งโปรตีนซึ่งได้จาก ในโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (non-protein nitrogen, NPN) และโปรตีนแท้ (true protein) จะทำให้เกิดกระบวนการหมักในรูเมน เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งจำเป็นต้องวัดการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์และผลผลิตสุดท้าย เช่น แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) และ VFAs โดยอาหารและผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการหมัก ทั้งส่วนที่เกิดขึ้นในรูเมน โดยเฉพาะจุลินทรีย์โปรตีน และ VFAs จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของเนื้อแกะ (Ivan et al., 2001) โดยมีความเกี่ยวพันและสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เพื่อนำผลไปสู่การใช้ประโยชน์ต่อไป อย่างไรก็ตามผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมัก และจุลินทรีย์ อาจจะทำให้โปรตีนไม่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ โดยเฉพาะในสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูงหรือผลผลิตคุณภาพดี จึงมีความจำเป็นต้องเสริมอาหารโปรตีนไหลผ่านซึ่งไม่ถูกย่อยในรูเมนและผ่านไปยังย่อยที่ลำไส้เล็ก ซึ่งเป็นโปรตีนคุณภาพดี โดยทั่วไปจะได้จากแหล่งของกากธัญพืชที่ผ่านกระบวนการที่ผ่านความร้อน เช่น กากเมล็ดทานตะวัน กากเมล็ดฝ้าย กากเบียร์ กากงา และกากปาล์ม เป็นต้น

นักวิทยาศาสตร์ยังพบว่ากรดไขมันบางชนิดมีคุณสมบัติในการต่อต้านการเกิดมะเร็งได้ ซึ่งได้แก่ conjugated linoleic acid (CLA) ซึ่งพบในธัญพืชต่างๆ และพบมากในผลิตภัณฑ์ จากสัตว์เคี้ยวเอื้อง คือ เนื้อและน้ำมัน (Booth et al., 1935; Bauman et al., 1999) และในบรรดาเนื้อสัตว์เคี้ยวเอื้องด้วยกันยังพบในเนื้อแพะมากกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น (Song and Kennelly, 2002)



ที่มา : Bauman et al. (2000)

ไขมันในเนื้อสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่สังเคราะห์มาจากผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมักในรูเมนคือ อะซิเตท (acetate) และบิวทีเรท (butyrate) และได้จากไขมันในอาหาร ซึ่ง CLA เป็นสารตัวกลาง (intermediates) ของกระบวนการ biohydrogenation ในการเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวไปเป็นกรดไขมันอิ่มตัว โดยจุลินทรีย์ในรูเมน และ CLA ที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับ CLA ในเนื้อเยื่อไขมัน และ CLA ในน้ำนม (Bauman et al., 2000) การเกิด CLA ในรูเมนต้องการกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมาจากอาหาร โดย CLA ที่พบในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีโครงสร้างเป็น cis-9, trans-11 CLA กระบวนการเกิด CLA ในรูเมนเริ่มจากอาหารที่มี linoleic acid (cis-9, trans-12) และถูกเปลี่ยนเป็น CLA (cis-9, trans-11 CLA), vaccenic acid (trans-11) และกรดไขมันอิ่มตัว stearic acid ตามลำดับ (ดังแสดงในรูป) โดยปกติแล้วจุลินทรีย์ในรูเมนหลายชนิด ถูกยับยั้งการทำงานโดยกรดไขมันสายยาว (Henderson, 1973) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการ biohydrogenation ของไขมันในรูเมน คือ *Butyrivibrio fibrisolvens* (Kepler et al., 1966) นอกจากนี้ CLA ยังสามารถสังเคราะห์ได้ในเนื้อเยื่อโดยมี trans-11 C_{18:1} เป็นสารตั้งต้น กรดไขมันไม่อิ่มตัวพบมากในธัญพืชหรือพืชน้ำมัน เช่น ถั่วลิสง (linseed) ชแฟฟลาวเวอร์ (safflower) เมล็ดทานตะวัน เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดข้าวโพด และ เมล็ดฝ้าย เป็นต้น อย่างไรก็ตามปัญหาหลักของการเสริม CLA ให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้องคือการที่จุลินทรีย์เปลี่ยน CLA เป็น stearic acid เป็นส่วนใหญ่และไม่สามารถควบคุมให้มีปริมาณ CLA ผ่านลำไส้เล็กในปริมาณที่ต้องการได้ จึงได้กำลังมีการศึกษาหาวิธีในการป้องกันไม่ให้ CLA ถูกย่อยในรูเมน และอีกทางคือให้มีการเพิ่ม CLA ในรูเมนโดยจุลินทรีย์ และนักวิทยาศาสตร์ยังพบว่า CLA สามารถเพิ่มขึ้นในวัตถุดิบอาหารได้โดยการผ่านกระบวนการให้ความร้อน เช่น การเอกซ์ทรูด (Madron et al., 2002)

การศึกษาที่ 4.4 การศึกษาการทดแทนแหล่งโปรตีนราคาแพงด้วยกากเมล็ดธัญพืชในอาหารแพะเนื้อ

การศึกษาผลของการทดแทนโปรตีนจากกากเมล็ดทานตะวันในแหล่งโปรตีนราคาแพงคือกากถั่วเหลือง ซึ่งคำนวณสูตรอาหารขึ้นที่มีระดับโปรตีน 15% ดังแสดงในตารางที่ 14.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าในแต่ละสูตร มีระดับโปรตีนไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แต่สำหรับสูตรที่ทดแทนด้วยกากเมล็ดทานตะวันประกอบด้วยเส้นและเยื่อใยสูงขึ้นตามระดับการทดแทน

Table 4.8 Percentage composition of concentrated mixtures

Ingredients	% DM, concentrate mixtures			
	Control	25% SSM	50% SSM	75% SSM
Crude protein	15.3	15.1	15.4	15.3
Ash	4.8	5.2	5.4	5.8
Crude fibre	9.7	11.7	12.5	12.8

Table 4.9 Replacement protein of sunflower meal to soybean meal on feed intake, digestibility and body weight change of goat fed corn silage

Parameters	% DM, concentrate mixtures				SEM
	Control	25% SSM	50% SSM	75% SSM	
Corn silage intake (/day)					
g DM	359.2 ^b	362.6 ^{ab}	386.0 ^a	360.9 ^{ab}	4.13
%BW	2.23	2.20	2.33	2.18	0.310
g /kg W ^{0.75} /day	44.6 ^b	44.3 ^b	47.0 ^a	44.0 ^b	0.51
Total feed intake (/day)					
g DM	559.2 ^b	562.6 ^{ab}	586.0 ^a	560.9 ^{ab}	4.13
%BW	3.47	3.41	3.53	3.39	0.037
g /kg W ^{0.75} /day	69.4 ^b	68.8 ^b	71.3 ^a	68.3 ^b	0.55
Digestibility (%)					
Dry matter	54.6 ^{bc}	56.2 ^a	55.2 ^{ab}	53.3 ^c	0.24
Organic matter	57.0 ^c	58.7 ^b	60.5 ^a	55.3 ^d	0.33
Crude protein	54.0 ^{ab}	54.7 ^a	55.1 ^a	53.1 ^b	0.21
Neutral detergent fiber	52.1 ^a	50.0 ^b	49.1 ^b	46.4 ^c	0.32
Body weight change, g/day	52.0 ^b	57.5 ^a	59.5 ^a	57.5 ^a	1.57

^{a,b,c} Values on the same row under each main effect with differ superscripts different significantly ($P < 0.05$)

ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบคือ ข้าวโพดหมัก และอาหารทั้งหมด หน่วยเป็น g/day และ g/kg BW^{0.75} ในกลุ่มที่ทดแทนด้วยโปรตีนจากกากเมล็ดทานตะวัน มีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงระดับการทดแทน 50% ($p < 0.05$) แต่ลดลงเมื่อทดแทนถึง 75% สอดคล้องกับรายงานของ Economides (1998)

การย่อยได้ของวัตถุดิบ และ neutral detergent fiber ของกลุ่มที่ทดแทนที่ระดับ 25% ของโปรตีนจากกากเมล็ดทานตะวันสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ทดแทนระดับสูงคือ 75% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่ทดแทน 50% ตามลำดับ

การย่อยได้ของอินทรีวัตถุและโปรตีนหยาบ เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ตามระดับของการทดแทนด้วยกากเมล็ดทานตะวันจนถึงระดับการทดแทนที่ 50% หลังจากนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

น้ำหนักแพะเนื้อที่เปลี่ยนแปลงพบว่า ทุกกลุ่มที่มีการทดแทนโปรตีนจากกากเมล็ดทานตะวันมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น มากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และน้ำหนักแพะที่เพิ่มขึ้นสูงสุดในกลุ่มที่ทดแทนที่ระดับ 50% (59.5 g/day)

Table 4.10 Replacement protein of sunflower meal to soybean meal on ruminal pH, NH₃-N and plasma urea nitrogen (PUN) of goat fed corn silage

Parameters	% DM, concentrate mixtures				SEM
	Control	25% SSM	50% SSM	75% SSM	
pH	6.7	6.8	6.8	6.9	0.27
NH ₃ -N , mg%	12.5 ^b	13.6 ^{ab}	14.5 ^a	12.0 ^b	0.28
PUN, mg%	13.7 ^{ab}	14.9 ^a	15.2 ^a	12.8 ^b	0.31
TVFA, m mol/L	63.2 ^a	62.3 ^a	61.9 ^a	58.3 ^b	0.45
VFA proportion (%TVFA)					
Acetic	68.7 ^a	68.6 ^a	68.2 ^a	66.7 ^b	0.21
Propionic	20.6	20.3	20.6	20.4	0.28
Butyric	10.7	11.2	11.3	12.9	0.36

^{ab} Values on the same row under each main effect with differ superscripts different significantly ($P<0.05$)

จากตารางที่ 4.10 เป็นผลของการทดแทนโปรตีนจากกากเมล็ดทานตะวันในกากถั่วเหลือง ต่อกระบวนการหมักในรูเมน พบว่า ระดับการทดแทนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างในรูเมน ส่วนระดับของแอมโมเนียจากของเหลวในรูเมนเพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนด้วยกากเมล็ดทานตะวัน จนสูงสุดที่ระดับ 50% และหลังจากนั้นลดลง ($p<0.05$) เมื่อทดแทนถึง 75% ซึ่งค่าดังกล่าวสอดคล้องกับระดับยูเรียในพลาสมาซึ่งแปรผันตามระดับของแอมโมเนียในของเหลวจากรูเมน สอดคล้องกับการทดลองของ Cressman et al. (1980); Tamminga (1996); Paengkoum et al. (2006)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงขึ้นหลังจากมีการให้อาหารตั้งแต่ 2 ถึง 6 ชั่วโมงสอดคล้องกับการทดลองของ Mould and Orskov (1993); Wanapat et al. (2000) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการที่จุลินทรีย์มีการย่อยอาหารและสร้างผลพลอยได้ จากกระบวนการหมักเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเล็กน้อย แต่อยู่ในช่วงปกติ ส่วนค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงเมื่อทดแทนด้วยแหล่งโปรตีนไหลผ่านระดับสูง คือ 75% เนื่องจากโปรตีนดังกล่าวไม่ได้ถูกนำมาใช้ในรูเมนจึงมีการสร้างแอมโมเนียลดลง สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Tamminga (1996)

ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ตามระดับการทดแทนด้วยกากเมล็ดทานตะวัน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการลดสัดส่วนของโปรตีนที่ย่อยได้ในรูเมน (ruminal degradable protein, RDP) และส่วนที่เป็นโปรตีนไหลผ่านเพิ่มขึ้น ที่ระดับการทดแทน 25 และ 50% มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มควบคุมทำให้ไม่มีผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักรูเมน แต่ที่ระดับการทดแทนที่ 75% มีค่าต่ำสุด ($p<0.05$) ทำให้พบการเพิ่มของน้ำหนักรูเมนน้อยกว่ากลุ่มอื่น

อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ อยู่ในช่วงปกติในทุกกลุ่มอาหารทดลอง (Paengkoum et al., 2006)

ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด แปรผันโดยตรงกับสัดส่วนการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ คือ อะซิติก พบว่ามีแนวโน้มลดลง และกลุ่มที่ทดแทนถึง 75% มีระดับต่ำสุด แสดงให้เห็นว่าระดับเชื้อไขที่สูงในกากเมล็ดทานตะวันเริ่มมีผลกระทบต่อการใช้ของอาหารเชื้อไข อย่างไรก็ตามสัดส่วนของ โพรพิโอนิก และบิวทีริก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Table 4.11 Replacement protein of sunflower meal to soybean meal on N-balance of goat fed corn silage

Parameters	% DM, concentrate mixtures				SEM
	Control	25% SSM	50% SSM	75% SSM	
N intake (g)	14.20	14.23	14.36	14.16	0.053
N excretion					
Faeces N (g)	6.54	6.44	6.45	6.64	0.036
Urine N (g)	4.05 ^{ab}	4.06 ^{ab}	3.76 ^a	4.24 ^b	0.064
N absorption (g)	7.66 ^{ab}	7.79 ^{ab}	7.91 ^a	7.52 ^b	0.044
N retention (g)	3.61 ^b	3.73 ^{ab}	4.15 ^a	3.28 ^b	0.081
N retention (%)	25.29 ^b	26.21 ^{ab}	28.90 ^a	23.11 ^b	0.534

^{a,b} Values on the same row under each main effect with differ superscripts different significantly ($P<0.05$)

ระดับของไนโตรเจนที่กินได้ต่อวัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม พบว่าไนโตรเจนที่ขับออกมาทางปัสสาวะของกลุ่มที่ทดแทนที่ระดับ 50% ต่ำสุดแต่หลังจากนั้นกลับพบว่าสูงขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวทำให้ ไนโตรเจนที่ดูดซึมและไนโตรเจนที่เก็บกักในร่างกาย สำหรับกลุ่มที่ทดแทนที่ระดับ 50 % มีค่าสูงสุด แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ทดแทนที่ระดับ 25% ซึ่งทั้งสามกลุ่มมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ทดแทนที่ระดับ 75% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สามารถกล่าวได้ว่าสามารถทดแทนโปรตีนจากกากเมล็ดทานตะวันได้ถึง 50% แสดงให้เห็นว่าและสามารถนำโปรตีนไปใช้ในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน และส่วนที่เป็นโปรตีนไหลผ่านสามารถนำไปใช้ในการกระบวนการเมตาโบลิซึมได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับการทดลองของ Kebreab et al. (2002)

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

(Conclusions and Recommendations)

การศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่าพืชในท้องถิ่นหลายชนิด มีศักยภาพในการนำมาใช้เพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้แก่ใบรวมกิ่งก้าน (foliage) กระถิน มันสำปะหลัง ขนุน หม่อน เป็นต้นซึ่งพืชเหล่านี้ประกอบด้วยโปรตีนสูงระหว่าง 15-27 % นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยสารประกอบแทนนินซึ่งเมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไป สารประกอบแทนนินจะจับกับโปรตีนและไม่ถูกปล่อยหรือย่อยในรูเมน แต่เมื่อผ่านไปที่กระเพาะแท้หรืออะโบมาซั่ม และถ้าได้เล็กลงจะถูกปลดปล่อย สารแทนนินถูกขับออกไปกับมูล ส่วนโปรตีนจะถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์

ส่วนกากเมล็ดธัญพืชและพืชน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีนและพลังงาน เมล็ดหรือกากเมล็ดทานตะวันประกอบด้วยโปรตีนไหลผ่านสูง และยังประกอบด้วยไขมันสูงด้วย และยังเป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเมื่อสะสมตามอวัยวะต่างๆ ของสัตว์ไม่ว่าจะเป็นเนื้อหรือน้ำมันจะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค ซึ่งผลการวิจัยพบว่า การนำเมล็ดหรือกากเมล็ดทานตะวันไปสกัดด้วยอุณหภูมิสูงและจุ่มในรูเมนพบว่าทำให้เกิด conjugated linoleic acid สูงขึ้น ซึ่งจะได้มีการศึกษาวิจัยต่อไป เนื่องจากหาก CLA สามารถไปสะสมตามกล้ามเนื้อหรือน้ำมัน จะทำให้เป็นประโยชน์มหาศาลต่อผู้บริโภค เนื่องจากมีงานวิจัยที่พบว่า CLA สามารถป้องกันการเกิดโรคมะเร็งได้ในสัตว์ทดลอง

การศึกษาการใช้กากเมล็ดทานตะวันทดแทนโปรตีนจากวัตถุดิบอาหารราคาแพงคือกากถั่วเหลือง โดยทดลองในแพะเนื้อพบว่า สามารถใช้ทดแทนได้ถึง 50% ทำให้การเจริญเติบโต การย่อยได้ เมตาบอลิซึมในรูเมน ดีขึ้น แต่เมื่อทดแทนถึง 75% พบว่าทำให้ปริมาณการกินได้ การย่อยได้ การสังเคราะห์ผลผลิตสุดท้ายในรูเมน และการเจริญเติบโตลดลง ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากการที่สัตว์ได้รับส่วนที่เป็นเยื่อใยสูงจากกากเมล็ดทานตะวัน

ข้อเสนอแนะ

1. พืชอาหารสัตว์บางชนิดมีประโยชน์มหาศาล เช่น ใบขนุน ซึ่งแพะชอบกินมาก แต่ปัจจุบันพบว่าการปลูกน้อยลง ทำให้การนำมาใช้ประโยชน์น้อยตาม
2. การศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่ม CLA ในครั้งนี้เป็นการศึกษาในรูเมน และพบว่าสามารถเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งยังไม่ได้ศึกษาในเนื้อสัตว์ ด้วยข้อจำกัดในเรื่องต้นทุนค่าวิเคราะห์สูงมาก
3. การศึกษาในเรื่องการนำกากเมล็ดทานตะวันมาทดแทนกากถั่วเหลืองที่มีราคาแพงกว่ามาก ผลการวิจัยพบว่าหากทดแทนถึง 75% ทำให้เกิดผลเสียคือน้ำหนักสัตว์ลดลง การย่อยได้ลดลง ซึ่งเป็นผลจากกากเมล็ดทานตะวันมีเยื่อใยสูงเมื่อให้ระดับสูงการย่อยได้จึงลดลง จึงมีข้อเสนอแนะว่าหากต้องการใช้ในระดับที่สูง อาจจะมีการเสริมเอนไซม์ (enzymes) ลงไปเพื่อเพิ่มการย่อยได้ ซึ่งควรจะได้มีการวิจัยต่อไป

บรรณานุกรม (Bibliography)

- กรมปศุสัตว์. 2546. คู่มือระเบียบมาตรฐานการปฏิบัติงาน การตรวจมาตรฐานฟาร์มโคนมและการ
ผลิตน้ำนมดิบของประเทศไทย พ.ศ.2542. ส่วนมาตรฐานด้านการปศุสัตว์. สำนักงาน
พัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ 61 น.
- เมธา วรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี้พับบลิชชิง. กรุงเทพฯ. 473 น.
- เมธา วรณพัฒน์, โอภาส พิมพา, ฉลอง วชิราภากร, กฤตพล สมมาตย์, อนันต์ เพชรกล้า, ทรงศักดิ์ จำปาวัดี
และอุคร บุญท้าว. 2541. คู่มือการผลิตต้นและใบมันสำปะหลังแห้ง (มันเฮย์) และการใช้เสริม
เป็นอาหารโคนม. วารสาร โคนม 17:64-67.
- AOAC. 1985. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington,
D.C.
- Barr, G.W., E.E. Bartley and R.M. Meyer. 1974. Feed processing. VII. Estimating microbial
protein in fluid with precipitating agents or incubated mixtures of uncooked gain plus urea or
starea with differential centrifugation. J. Dairy Sci. 58: 1308.
- Bauman, D.E., L.H. Baumgard, B.A. Corl and J.M. Griinari. 2000. Biosynthesis of conjugated linoleic
acid in ruminants. Prod. Of the American Soc. of Anim. Sci. 1-15. Available at:
<http://www.asas.org/jas/symposia/proceedings/0937.pdf>.
- Belury, M.A. 1995. Conjugated dienoic linoleate: a polysaturated fatty acids with unique chemical
properties. Nutr. Rev. 53: 83-89.
- Boniface, A.N., R.M. Murry, and P.J. Hogan. 1986. Optimum level of ammonia in the rumen liquor of
cattle fed tropical pasture hay. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 16:151-154.
- Chanthai, S., M. Wanapat and C. Wachirapakorn. 1989. Rumen ammonia-N and volatile fatty acid
concentrations in cattle and buffalo given rice straw-based diets. In:Proc. 7th AFAR Int.
Workshop. (Ed. R.M. Dixon), IDP Canberra, Australia. 191-195.
- Chen, X.B. 1996. An Application Programme for Processing Feed Degradability Data. User Manual.
Rowett Research Institute, Bucksburn, Aberdeen, UK.
- Chiou, P.W.S., K.J. Chen, K.S. Kuo, J.C. Hsu and B. Yu. 1995. Studies on the protein degradabilities
of feedstuffs in Taiwan. Anim. Feed Sci. Technol. 55: 215-226.
- Devendra, C. 1992. Non-conventional feed resources in Asia and the Pacific: strategies for expanding
utilization at the small farm level. FAO/APHCA,

Bangkok. FAO Publication. No. 14.

- Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, Reagent, Procedures and some Application). Agric. Handbook. N. 397. ARS, USDA, Washington, D.C.
- Griinari, J.M., D.A. Dwyer, M.A. McGuire and D.E. Bauman. 1996. Partially hydrogenated fatty acids and milk fat depression. J. Dairy Sci. 79 (Suppl.1) 177 (abs.).
- Erdman, R.A., G. H. Proctor and J. H. Vandersall. 1986. Effect of rumen ammonia concentration on in situ rate and extent of digestion of feedstuffs. J. Dairy Sci. 69: 2312-2320.
- Ha, Y.L., N.K. Grimm and M.W. Pariza. 1987. Anticarcinogens from fried ground beef: heat-altered derivatives of linoleic acid. Carcinogenesis. 8: 1881-1887.
- Hart, F.J. and M. Wanapat. 1992. Physiology of digestion of urea-treated rice straw in swamp buffalo. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 5:617-622.
- Ho, Y.W., N. Abdullah, and S. Jalaludin. 1988. Colonization of guinea grass by anaerobic rumen fungi in swamp buffaloes and cattle. Anim. Feed Sci. Technol. 34:311-321.
- Irshaid, R.H., M.Y Harb and H.H. Titi. 2003. Replacing soybean meal with sunflower seed meal in the ration of Awassi ewes and lambs. Small Ruminant Res. 50: 109-116.
- Ivan, M., P.S. Mir, K.M. Koenig, L.M. Rode, L. Neill, T. Entz and Z. Mil. 2001. Effects of dietary sunflower seed oil on rumen protozoa population and tissue concentration of conjugated linoleic acid in sheep. Small Ruminant Res. 41: 215-227.
- Kanjanapruthipong, J. and R.A. Leng. 1998. The effects of dietary urea on microbial populations in the rumen of sheep. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 11:661-672.
- Kebreab, E., J. France, J.A.N. Mills, R. Allison and J. Dijkstra. 2002. A dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment. J. Anim. Sci. 80: 248-259.
- Kepler, C.R., K.P. Harons, J.J. McNeill and S.B. Tove. 1966. Intermediates and products of the biohydrogenation of linoleic acid by *Butyrivibrio fibrisovens*. J. Biol. Chem. 241: 1350-1354.
- Kim, Y.J., and R.H. Liu. 1999. Selective increase in conjugated linoleic acid in milk fat by crystallization. J. Food Sci. 64: 792-795.
- Kott, R.W., P.G. Hatfield, J.W. Bergmann, C.R. Flynn, H. Van Wagoner and J.A. Boles. 2003. Feedlot performance, carcass composition and muscle and fat CLA concentrations of lambs fed diets supplemented with safflower seeds. Small Ruminant Res. 49: 11-17.
- Lana, P., J.B. Russell and M. E. V. Amburgh. 1998. The role of pH in regulation ruminal methane and ammonia production. J. Anim. Sci. 76:2190-2196.

- Leng, R.A. 1990. Factors affecting the utilization of poor-quality forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutri. Res. Rev.* pp. 3-5.
- Li, Y., M.F. Seifert, D.M. Ney, M. Grahn, A.L. Grant, K.G.D. Allen and B.A. Watkins. 1999. Dietary conjugated linoleic acid alters serum IGF-1 and IGF-1 binding protein concentrations and reduces bone formation in rats fed (n-6) or (n-3) fatty acids. *J. Bone Miner. Res.* 14:1153.
- Losada, H. and R. Alderate. 1977. Effect of cassava root meal and urea level on the performance of steers grazed on poor quality pasture with free access to molasses. *Trop. Anim. Prod.* 4 (1): 47-50.
- Mardron, M.S., D.G. Peterson, D.A. Dwyer, B.A. Corl, L.H. Baumgard, D.H. Beermann and D.E. Bauman. 2002. Effect of extruded full-fat soybean on conjugated linoleic acid content of intramuscular, intermuscular and subcutaneous fat in beef steers. 80: 1135-1143.
- Moss, A.R. and D.I. Givens. 2002. The effect of supplementating grass silage with soya bean meal on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 97: 127-134.
- Ørskov, E.R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed to rate of passage. *J. Agri. Sci., Camb.* 92:499.
- Paengkoum, P., M. Wanapat and C. Wachirapakorn. 2002. Supplementation of cassava chip and cottonseed meal on feed intake, rumen fermentation and microbial protein synthesis in dairy cattle. *PWPA Journal-Thailand.* 4(1):9-15.
- Pariza, M.W. and W.A. Hargraves. 1985. A beef-derived mutagenesis modulator inhibits initiation of mouse epidermal tumors by 7,12-dimethylbenz[a]anthracene. *Carcinogenesis.* 6: 591-593.
- Parsons, C.M., K. Hashimoto, K.J. Wedekind, Y. Han and D.H. Baker. 1992. Effect of oven processing on availability of amino acids and energy in soybean meal. *Poultry Sci.* 71: 133-140.
- Perdok, H.B. and L.A. Leng. 1990. Effect of supplementation with protein meal on the growth of cattle given a basal diet of untreated ammoniated rice straw. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 3:269-279.
- Preston, T.R. and R.A. Leng. 1987. *Matching Ruminant Production Systems with Available Resources in the Tropics and Subtropics.* Armidale, Auastralia, Penambul Books.
- Rihani, N., W.N. Garrett and R.A. Zinn. 1993. Influence of level of urea and method of supplementation on characteristics of digestion of high-fiber diets by sheep. *J. Anim. Sci.* 71:1657-1665.

- Robinson, P.H., R.E. McQueen and P.L. Buress. 1991. Influence of rumen on increasing animal undegradable protein levels on feed intake and milk production of dairy cows J. Dairy Sci. 74:1623-1631.
- Russell, J.B. and H. J. Strobe. 1987. Concentration of ammonia across cell membrane of mixed rumen bacteria. J. Dairy Sci. 70: 970-976.
- Schwab, C.G. 1995. Protected proteins and amino acids for ruminants. In: Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding. Eds., Wallace, R.J. and Chesson, A. VCH, Weinheim. PP.115-142.
- Sehat, N., M.P. Yurawecz, J.A.G. Roach, M.M. Mossoba, J.K.G. Kramer and Y. Ku. 1998. Silverion high-performance liquid chromatographic separation and identification of conjugated linoleic acid isomers. Lipids. 33 : 217-222.
- Slyter, L.L., L.D. Satter and D.A. Dinius. 1979. Effect of ruminal ammonia concentration on nitrogen utilization by steers. J. of Anim. Sci. 48:906-912.
- Slyter, L.L. 1976. Influence of acidosis on rumen function. J. Anim. Sci. 43:910-929.
- Sommart, K., M. Wanapat, D.S. Parke, P. Rowlinson, P. Climee and S. Panishying. 2000. The use of cassava chips as an energy source for lactating dairy cows fed with rice straw. AJAS. 13: 1094-1101.
- Song, M. K. and J. J. Kennelly. 1990. Ruminal fermentation pattern, bacterial population and rumen degradation of feed ingredients as influenced by ruminal ammonia concentration. J. Anim. Sci. 68:1110-1120.
- Stiles, D.A., E.E. Bartley, R.M. Meyer, C.W. Deyoe and H.B. Pfof. 1970. Feed processing. VII. Effect of an expansion-processed mixture of grain and urea (starea) on rumen metabolism in cattle and on urea toxicity. J. Dairy Sci. 53: 1436.
- Tamminga, S. 1996. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. J. Anim. Sci. 74: 3112-3124.
- Thompson, L.H., M.B. Wise, R.W. Harvey and E.R. Barrick. 1972. Starea, urea and sulfer in beef cattle rations. J. Anim. Sci. 35 (2): 474.
- Titi, H.H. 2003. Replacing soybean meal with sunflower meal with or without fibrolytic enzymes in fattening diets of goat kids. Small Ruminant Res. 48: 45-50.
- Van Keulen, J. and B.A. Young. 1977. Evaluation of acid insoluble ash as a neutral marker in ruminant digestibility studies. J. Anim. Sci. 44:282.
- Vearasilp, T. and C. Mikled. 2001. Sites and extent of starch digestion in ruminants. In: International Workshop Current Research and Development on Use of Cassava as Animal Feed. Khon Kaen, Thailand. 73-76.

- Wallace, R. J. 1996. Ruminal microbial metabolism of peptides and amino acids. *J. Nutr.* 126:1326S-1334S.
- Wallace, R.J. 1979. Effect of ammonia concentration on the composition, hydrolytic activity and nitrogen metabolism of the microbial flora of the rumen. *J. Appl. Bacteriol.* 47:433-455.
- Wanapat, M. 1985. Improving rice straw quality as ruminant feed by urea-treated in Thailand. In: *Proc. of Relevance of crop residues as animal feeds in developing countries.* (M. Wanapat and C.Devendra, eds) Funny Press, Bangkok, Thailand.
- Wanapat, M. 1999. Feeding of ruminants in the tropics based on local feed resources. Khon Kaen Publishing Company Ltd., Khon Kaen, Thailand. 236 p.
- Wanapat, M., and O. Pimpa. 1999. Effect of ruminal NH_3 -N levels on ruminal fermentation, purine derivatives, digestibility and rice straw intake in swamp buffaloes. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 12:904-907.
- Wanapat, M., A. Petlum and O.Pimpa. 2000. Supplementation of cassava hay to replace concentrate use in lactating Holstein Friesian crossbreds. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.*, 13:600-604.
- Wanapat, M., T. Puramongkon and W. Siphuak. 2000. Feeding of cassava hay for lactating dairy cows. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.*, 13:478-482.
- Wanapat, M. 2001. Role of cassava hay as animal feed in the tropics. In *Proc. Cassava Workshop*, Khon Kaen Univ., Khon Kaen, Thailand, July 23-25.
- Waniska, R.D. and M.H. Gomez. 1992. Dispersion behavior of starch. *Food Technol.* 14 (5): 44.

ประวัติหัวหน้าโครงการ

1.1. ข้อมูลส่วนตัว

ชื่อ - นามสกุล ผศ. ดร. ปราโมทย์ แพงคำ

Assist. Prof. Dr. Pramote Paengkoum

รหัสนักวิจัย : 00011715

ตำแหน่งปัจจุบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ที่อยู่ทำงาน: สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์/โทรสาร (044) 224575,224151

E-mail: pramote@sut.ac.th

1.2. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2536	ปริญญาตรี	วท.บ. วิทยาศาสตร์บัณฑิต	เกษตรศาสตร์	สัตวศาสตร์	ม.ขอนแก่น	ไทย
2541	ปริญญาโท	วท.ม. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต	Ruminant Nutrition	Ruminant Nutrition	ม.ขอนแก่น	ไทย
2546	ปริญญาเอก	Ph.D. Doctor of Philosophy	Animal Nutrition	Ruminant Nutrition	Universiti Putra Malaysia	Malaysia

1.3. ผลงานวิจัย /วารสาร

Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A 2006. Utilization of steamed-treated oil palm fronds in growing goats: 1. Supplementation with dietary urea. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 19: 1305-1313.

Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A 2006. Utilization of steamed-treated oil palm fronds in growing goats: 2. Supplementation with dietary protein and energy. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 19.

Wanapat, M., Chumpawadee, S. and Paengkoum, P. Utilization of urea-treated rice straw and whole sugar cane crop as roughage sources for dairy cattle during the dry season. Asian-Australasian J. Anim. Sci. 2000; 13 (4): 474-477. มี impact factor 0.446

Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A. Ruminant and intestinal digestibilities of oil palm (Elaeis guineensis) fronds in cattle. Songklanakarin Journal Science and Technology. 2001; 23 (2): 343-350.

Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A. Ruminant and intestinal digestibilities of protein foliage in crossbred cattle. Chiang Mai Journal Science. 2001; 28: 45-49.

- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A. Ruminant and intestinal digestibility of *Leucaena foliage* (*Leucaena leucocephala*) and kenaf foliage (*Hibiscus cannabinas*) in cattle. *Suranaree Journal Science and Technology*. 2001; 8: 154-159.
- Paengkoum, P., Wanapat, M and Wachirapakorn, C. Supplementation of cassava chip and cottonseed meal on feed intake, rumen fermentation and microbial protein synthesis in dairy cattle. *PWPA Journal-Thailand*. 2002; 4(1):9-15.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A. Nitrogen and phosphorus balance in Saanen goats fed different levels of nitrogen and energy rations containing oil palm fronds as roughage sources. *Suranaree Journal Science and Technology*. 2003; 9: 293-300.
- Paengkoum, P. and Liang, J.B. Intestinal digestibility of rumen undegraded protein of protein foliages measured by mobile bags incubated with and without pepsin-HCl and a three-step in vitro technique. *Malaysian Journal of Animal Science*. 2003; 8 (1): 93-98.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A. Effects of ruminally undegradable protein levels on nitrogen and phosphorus balance and their excretion in Saanen goats fed oil palm fronds. *Songklanakarin Journal Science and Technology*. 2004; 26 (1): 15-22.
- ปราโมทย์ แพงคำ, Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A. 2544. ความสามารถในการย่อยได้ในรูเมนและลำไส้เล็กของกระดิ่งในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ว. วิทยาศาสตร์ มศว. 17 (1): 48-55.
- ปราโมทย์ แพงคำ, ศาติสรณ์ พรหมจันทร์ และ วิโรจ สีนตะละ. ผลของความสมดุล แร่ธาตุประจุบวกและประจุลบ ในอาหาร โคนมช่วงแรกของการรีดนม. ว. ธุรกิจอาหารสัตว์. 2543; 17 (70): 51-59.
- ปราโมทย์ แพงคำ, Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A.. ความสามารถในการย่อยได้ในรูเมนและลำไส้เล็กของใบกระดิ่ง (*Leucaena leucocephala*) และใบปอ (*Hibiscus cannabinas*) โดยใช้เทคนิค nylon bag และ mobile bag. ว. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2543; 8 (2): 29-35.
- ปราโมทย์ แพงคำ, ศาติสรณ์ พรหมจันทร์, ศุภัส นุชนารถ และ วิโรจ สีนตะละ. ผลของ ระดับกากเบียร์แห้งในอาหารต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนมพันธุ์ ไฮลด์ไดน์ ฟรีเซียน. ว. เกษตร เชียงใหม่. 2543; 16 (1): 83-91.
- ปราโมทย์ แพงคำ, J.B. Liang, M. Basery and Z.A. Jelani. 2543. ความสามารถในการย่อยได้ของใบปอ (*Hibiscus cannabinas*) โดยใช้เทคนิค nylon bag และ mobile bag ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ตอนที่1) . ว. สัตว์เศรษฐกิจ. 18 (404):60-61.
- ปราโมทย์ แพงคำ, J.B. Liang, M. Basery and Z.A. Jelani. 2543. ความสามารถในการย่อยได้ของใบปอ (*Hibiscus cannabinas*) โดยใช้เทคนิค nylon bag และ mobile bag ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ตอนที่ 2). ว. สัตว์เศรษฐกิจ. 18 (405):59-60.
- ปราโมทย์ แพงคำ, J.B. Liang, M. Basery and Z.A. Jelani. 2543. ความสามารถในการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง โดยใช้เทคนิค nylon bag และ mobile bag ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ว. ธุรกิจอาหารสัตว์. 17 (74):42-48.
- ปราโมทย์ แพงคำ, เมธา วรณพัฒน์ และฉลอง วชิราภกร. ผลของอาหารหยาดน้ำตามีคต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ และกระบวนการหมักในรูเมน ในโคเนื้อลูกผสมบราห์มันและพื้นเมือง. ว. สัตวบาล. 2542; 9 (48): 37-41.

ปราโมทย์ แพงคำ, เมธา วรรณพัฒน์ และฉลอง วชิราภากร. ผลของการเสริมอาหารโปรตีนไหลผ่านและ/หรือ อาหารพลังงาน ต่อปริมาณการกินได้ กระบวนการหมัก และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในรูเมน. ว. สัตวแพทยศาสตร์ มช. 2542; 9 (2):9-21.

ปราโมทย์ แพงคำ, สาทิสรัตน์ พรหมจันทร์, ศกร คุณวุฒิฤทธิธน, สหัฐ นุชนารถ, วิโรจ สีนตะละ, ประนอม แสตนรินทร์, ชำนาญวิทย์ พรหมโคตร และ พัทธกัญ พรเอนก. ผลของระดับเมล็ดฝ้าย ต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม ในโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน. ว. เทคโนโลยีสุรนารี. 2542; 6 (3): 168-174.

1.4. ผลงานวิชาการอื่นๆ (เช่น Proceeding ตำรา ฯลฯ)

1.4.1 บทความทางวิชาการ

Paengkoum, P. and Liang, J.B. Strategical and Technological for Ruducing Methane Emissions from Ruminants – A review. Journal of Agriculture Chiang Mai University. 2002;162-171.

Paengkoum P. Estimation of Microbial Protein Synthesis Using Urinary Excretion of Purine Derivatives in Ruminants- a Review. KKU. VET. Journal. 2002; 12(2):54-70.

Paengkoum, P. Estimation of energy expenditure by heat production in ruminants- a review. KKU Science Journal. 2001; 29 (1-4): 1-12.

วลักษณ์มล รากยัง และ ปราโมทย์ แพงคำ. 2548. ความเป็นไปได้ในการใช้ยูเรีย-กากน้ำตาลอัดก้อนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ว. โคนม. 29-34.

สุปรีมา ศรีโสภา และ ปราโมทย์ แพงคำ. 2548. แนวทางในการใช้โมเนนซิน ต่อประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพน้ำนมในโคนม. ว. ธุรกิจอาหารสัตว์. 22 (104):51-69.

ปราโมทย์ แพงคำ. 2548. กลยุทธ์ในการจัดการด้านโภชนาต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียจากฟาร์มสัตว์เคี้ยวเอื้อง. 22 (1) 52-59.

ปราโมทย์ แพงคำ. 2548. การเลี้ยงโคเนื้อและการประกอบสูตรอาหาร โคเนื้อ-โคพื้นเมือง (ตอนที่ 1). ว. เพื่อนโคบาล. 2 (18): 15-20.

ปราโมทย์ แพงคำ. 2548. การเลี้ยงโคเนื้อและการประกอบสูตรอาหาร โคเนื้อ-โคพื้นเมือง (ตอนที่ 2). ว. เพื่อนโคบาล. 2 (20): 21-23.

ปราโมทย์ แพงคำ. 2547. เหลียวหน้า แลหลังเกษตรปศุสัตว์แบบยั่งยืนและสิ่งแวดล้อม. ว. สัตวบาล ปีที่ 13 (63): 2547.

ปราโมทย์ แพงคำ. โอกาสและความเป็นไปได้ในการเลี้ยงแพะ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแพะเพื่อการส่งออก สำหรับประเทศไทย. ว. สัตว์เศรษฐกิจ. 2547.

ปราโมทย์ แพงคำ. ความคุ้มค่าจากสารประกอบคอนเดนซ์แทนนินส์ในพืชโปรตีน อาหารสัตว์สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ว. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2545; 10(1): 20-25.

- ปราโมทย์ แพงคำ และโอภาส พิมพา. บทบาทของสารประกอบแทนนินในพืชโปรตีนอาหารสัตว์ สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง. จดหมายข่าวโคนม. 2545; 6(2):11-12.
- ปราโมทย์ แพงคำ. บทบาทของยูเรียในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องและความสัมพันธ์ กับสิ่งแวดล้อม. วารสารโคนม. 2545; 19(1):7-11.
- ปราโมทย์ แพงคำ. การปศุสัตว์แบบยั่งยืนและสิ่งแวดล้อม: ตอนที่ 1 - 4. วารสารสัตว์เศรษฐกิจ. 2545; 19-20 (438-442).
- ปราโมทย์ แพงคำ. ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมและการย่อยได้ของเยื่อใย ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. วารสารสัตวบาล. 2545; 12(58): 15-19.
- โอภาส พิมพา และปราโมทย์ แพงคำ. แนวทางแก้วิกฤตการณ์กระบือไทยใกล้ สูญพันธุ์. วารสารสัตวบาล. 2545; 15(58): 20-23.
- ปราโมทย์ แพงคำ. ความสำคัญของค่า P/E ratio ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. วารสารสัตวบาล. 2542; 9 (49): 23-25.

1.4.2 Conferences/Proceeding

- Han Yong, W. Suksombat and Pramote Paengkoum. 2006. Supplementation of vegetable by-pass fat under high concentrate on performances of early lactation Holstein cows. การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 2 เรื่อง ก้าวทันสมัยกับปศุสัตว์ไทย, 24 มกราคม 2549. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 78-83.
- คณิน บรรณกิจ, ศิริจันทร์ทิพย์ ไตรยพันธ์, วันวิสา หาระโคตร และปราโมทย์ แพงคำ. 2549. ผลของแคลเซียม ต่อปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อยได้ และอัตราการเจริญเติบโตของแพะที่ได้รับหญ้าสดเป็นอาหารหยาบ. การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 2 เรื่อง ก้าวทันสมัยกับปศุสัตว์ไทย, 24 มกราคม 2549. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 84-92.
- วลักษณ์มล รากยิ่ง และปราโมทย์ แพงคำ. 2549. การศึกษาความสามารถในการย่อยได้ในรูเมนของกากปาล์มที่หีบทดด้วยการอบที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ในโคนม. การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 2 เรื่อง ก้าวทันสมัยกับปศุสัตว์ไทย, 24 มกราคม 2549. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 93-96.
- ไพบูลย์ แดงท่าขาม และปราโมทย์ แพงคำ. 2549. การใช้มันสำปะหลังและยูเรียในการทดแทนอาหารสำเร็จรูป ในอาหาร โคนมเพศผู้ตอน. การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 2 เรื่อง ก้าวทันสมัยกับปศุสัตว์ไทย, 24 มกราคม 2549. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 549-551.
- Srisaikhram, S. and Pramote Paengkoum. 2006. Ruminant degradability and a three-step in vitro procedure for Typha, Acacia auriculaeformis, Acacia mangium foliages and coconut meal in cannulae dairy cattle. การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 2 เรื่อง ก้าวทันสมัยกับปศุสัตว์ไทย, 24 มกราคม 2549. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 565-571.

- Srisaikhram, S. K. Chudmaroeng and **Pramote Paengkoum**. 2005. Supplementation of Neem leaf on amount of ruminal bacteria and nematodes eggs excretion of Thai native goats. Proc. Integrating Livestock-Crop Systems to Meet the Challenges of Globalisation. AHAT/BSAS International Conf. Nov 14-18, 2005, Khon Kaen, Thailand. p. T26.
- Pramote Paengkoum** and Kaewwongsa, W. 2005. Ruminal degradability of starea treated with high temperature in ruminants. Proc. Integrating Livestock-Crop Systems to Meet the Challenges of Globalisation. AHAT/BSAS International Conf. Nov 14-18, 2005, Khon Kaen, Thailand. p. P9.
- Bunnakit, K., S. Sornnok and **Pramote Paengkoum**. 2005. Crude protein degradability in the rumen and intestine of Cascorea using nylon bag and three step techniques. Proc. Integrating Livestock-Crop Systems to Meet the Challenges of Globalisation. AHAT/BSAS International Conf. Nov 14-18, 2005, Khon Kaen, Thailand. p. P18.
- Pramote Paengkoum** and M. Wanapat. 2005. Determination the degradability of local protein foliages and cereal grains of ruminants in tropical countries. Proc. Integrating Livestock-Crop Systems to Meet the Challenges of Globalisation. AHAT/BSAS International Conf. Nov 14-18, 2005, Khon Kaen, Thailand. p. P25.
- Rakaying, W. and **Pramote Paengkoum**. 2005. Effects of protein and energy on amount of ruminal bacteria and protozoa of goats fed urea treated rice straw as roughage. Proc. Integrating Livestock-Crop Systems to Meet the Challenges of Globalisation. AHAT/BSAS International Conf. Nov 14-18, 2005, Khon Kaen, Thailand. p. P66.
- Pramote Paengkoum**, P. Dangtakam, W. Harakod, S. Trikhan and H. Yong. 2005. Effect of supplementation of by-pass fat and Megalac on performances of goat fed corn silage as roughage. Proc. Integrating Livestock-Crop Systems to Meet the Challenges of Globalisation. AHAT/BSAS International Conf. Nov 14-18, 2005, Khon Kaen, Thailand. p. P67.
- Srisaikhram, S., **Pramote Paengkoum** and M. Wanapat. 2005. Ruminal and intestinal degradability of Cassod, Manila tamarind, Orchid and Gagnep fodders in cattle. Proc. Integrating Livestock-Crop Systems to Meet the Challenges of Globalisation. AHAT/BSAS International Conf. Nov 14-18, 2005, Khon Kaen, Thailand. p. P84.
- Pramote Paengkoum** . 2005. Effect of different temperature treated of CASMEREA on ruminal degradability of goats. Proc. of the British Society of Animal Sci. 2005. p. 152.
- Pramote Paengkoum** and M. Wanapat. 2005. Ruminal digestibility of leucaena and mulberry foliages in cattle. ประชุมวิชาการนักวิจัยรุ่นใหม่พบเมธีวิจัยอาวุโส สกว. ระหว่างวันที่ 13-15 ตุลาคม 2548, ชะอำ, เพชรบุรี. หน้า 60.
- Pramote Paengkoum**. 2004. Using Rumen Degradation Model to Evaluated Microbial Protein Yield and Intestinal Digestion of Grains in Cattle. 6th International Workshop on Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals. 6-8 Sep 2004, Wageningen University, the Netherlands.

- Pramote Paengkoum, Somnuk Sornnok and Wisitiporn Suksombat.** Effect of high temperature treated of sunflowers seed on intestinal digestibility using in vitro technique. 11th AAAP Congress. 5-9 Sep 2004, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Pramote Paengkoum and Somnuk Sornnok.** Various Time and Temperature Treatments of full-fat soybeans on Intestinal digestibility in Ruminants. International Symposium on Animal and Plant Production for Food and Environmental Security. 9-11 Aug 2004, Bangkok, Thailand. 2004: p 65-67.
- Pramote Paengkoum and Somnuk Sornnok.** 2004. Ruminant Digestibility of *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) and Mulberry (*Morus alba*) Foliages Using In Sacco Technique in Dairy Cattle. **ประชุมวิชาการสัตวศาสตร์/สัตว์บาล ประจำปี 2547, 27-28 มกราคม 2547, ขอนแก่น**
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A.** Heat production and ruminal fermentation of dairy goats fed carbohydrate and nitrogen supplementation. In: Proc. 10th AAAP Conference, New Delhi, India. 2002; 179.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A.** Ruminant and hind-gut digestibility of oil palm fronds in cattle. In: Proc. The 12th Veterinary Association Malaysia Scientific Congress, 1-4 Sept 2000, Kuantan, Malaysia. 2000; 169-170.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A.** Ruminant and intestinal digestibility of some tropical protein foliages in cattle. In : Proc. KKU Annual Agricultural Seminar for Year 2001, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand. 2001; 389-397.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A.** Effects of urea levels on heat production of dairy goats fed steamed oil palm fronds. In: Proc. 23rd MSAP Ann. Conf., 27-29 May, 2001, Langkawi, Malaysia. 2001; 168-169.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A.** Effects of supplementation of non-protein nitrogen on feed intake, digestibility and microbial protein synthesis in dairy goats fed steamed oil palm fronds. In: Proc. The 2nd Symposium on Sustainable Utilization of Agricultural By-products for Animal Production. 26-27 July 2001, Institute Building 3, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand. 2001; 50-55.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A.** Effects of urea levels on intake and digestibility of steamed oil palm fronds in dairy goats. In: Proc. 23rd MSAP Ann. Conf., 27-29 May, 2001, Langkawi, Malaysia. 2001; 144-145.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A.** Effects of supplementation of rapidly fermentable protein and energy on ruminal fermentation and microbial protein synthesis of dairy goats fed steamed oil palm fronds. In: Proc. International Workshop Small Ruminants in the Humid Tropics of Asia, 16-17 Nov; 2001, Hat Yai, Thailand.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelani, Z.A.** Synchronization of dietary nitrogen, and energy of dairy goats fed steamed oil palm fronds. In: Proc. 4th Asian Science and Technology Conf. 2002. 25-27 April 2002, Kuala Lumpur, Malaysia. B-3.

- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelan, Z.A.** Effects of protein and energy on N-balance and N excretion by dairy goats. In: Global Perspective in Livestock Waste Management. In: Proc. of the 4th International Livestock Waste Management Symposium and Technology Expo, Penang, Malaysia, 19-23 May 2002. pp. 157-160.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelan, Z.A.** Substitution of protein foliages for soybean meal in lactating dairy goats fed steamed oil palm fronds. In: Proc. Malaysian Science and Technology Congress, 12-14 Dec, 2002. Kuching, Sarawak, Malaysia. pp BR12.
- Ching, L.H., Liang, J.B. and Paengkoum, P.** Effect of the various levels of kenaf foliage in growing goats fed oil palm fronds In: Proc. Malaysian Science and Technology Congress, 12-14 Dec, 2002. Kuching, Sarawak, Malaysia. pp P1.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelan, Z.A.** Effects of different proportions of rumen undegradable and degradable protein (RUP:RDP ratios) on urinary purine derivatives and microbial N supply in dairy goats. In: Annual Agricultural Seminar for Year 2003. 27-28 January, 2003. Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand. pp. 624-632.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelan, Z.A.** Effect of supplementation of dietary urea, urea plus energy and true protein on heat production of goats. In: International Conference on Animal Nutrition 2003. 3-5 March 2003. Putra Jaya, Malaysia.
- Liang, J.B., Paengkoum, P and Chantiratikul, A.** Potential of kenaf as protein foliage for ruminant livestock. In: International Conference on Animal Nutrition 2003. 3-5 March 2003. Putra Jaya, Malaysia.
- Paengkoum, P., Liang, J.B., Basery, M. and Jelan, Z.A.** Enhancing the utilization of tropical foliages in goats rations. In: Proc. of Seminar on SUT Research and Cooperation between Association of higher Education Institutes in Nakhon Ratchasima. 18 Aug 2003, Suranaree University of Technology, Thailand, p. 122-123.
- ปราโมทย์ แพงคำ, พิมลวรรณ ฤาแรง และ วิภาศิริ บาดี.** 2547. ผลของการทรีตเมนต์ลิกนินด้วยความร้อนสูงต่อการย่อยได้ในกระเพาะรูเมนของโคนม. การประชุมวิชาการกลุ่มงานวิจัยและเครือข่ายการวิจัยในภาคีอุดมศึกษานครราชสีมา. 23 กันยายน 2547. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ปราโมทย์ แพงคำ, ดวงใจ ไชยโคตร และ รตรินทร์ รัตนพันธ์.** 2457. ความสามารถในการย่อยได้ในรูเมนของกามะพร้าวที่ทรีตด้วยอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน. การประชุมวิชาการกลุ่มงานวิจัยและเครือข่ายการวิจัยในภาคีอุดมศึกษานครราชสีมา. 23 กันยายน 2547. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ปราโมทย์ แพงคำ, พิภูม ภูษณะ และ ศิริประภา กระจ่างโพธิ์.** 2547. การทดสอบการย่อยได้ในรูเมนของใบพืชโปรตีนอาหารสัตว์ในโคนม. การประชุมวิชาการกลุ่มงานวิจัยและเครือข่ายการวิจัยในภาคีอุดมศึกษานครราชสีมา. 23 กันยายน 2547. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ปราโมทย์ แพงคำ, สุปรินา ศรีคำใส และเกศินี ชูคมะเริง.** 2547. ผลของการเสริมใบเสเดาในอาหารแพะเนื้อต่อการขับออกของไข่พยาธิในมูล. การประชุมวิชาการกลุ่มงานวิจัยและเครือข่ายการวิจัยในภาคีอุดมศึกษานครราชสีมา. 23 กันยายน 2547. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วลักษณ์มล รากาขิง, ศิวพร วรอน, สมนึก สอนนอก และปราโมทย์ แพงคำ. 2547. ผลของการเสริมลูกตะโกต่อการ
ขับออกของไข่พยาธิในโคนมการประชุมวิชาการกลุ่มงานวิจัย และเครือข่ายการ วิจัยในภาคอุดมศึกษา
นครราชสีมา. 23 กันยายน 2547. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

1.4.3 หนังสือ/ เอกสารประกอบการสอน

Pramote Paengkoum. 2006. Using rumen degradation model to evaluate microbial protein yield and
intestinal digestion of grains in cattle. In: **Nutrient Digestion and Utilization in Farm
Animals: Modelling Approaches.** Eds, E. Kebreab, J. Dijkstra, A. Bannink, W.J.J. Gerrits
and J. France. CAB International. p. 28-32.

ปราโมทย์ แพงคำ. 2549. การใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ในท้องดินและผลพลอยได้ทางการเกษตรในการ
เลี้ยงโคเนื้อ. เกษตรสุรนารี'49. หน้า 48-58.

ปราโมทย์ แพงคำ. 2549. เทคนิคการเลี้ยงและการจัดการฟาร์มแพะ-แกะ. เกษตรสุรนารี'49. หน้า 59-74.

1.5 รางวัลที่เคยได้รับ (ด้านวิชาการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวกับงานวิจัย):

1. รางวัลชนะเลิศ การนำเสนอผลงานวิชาการนานาชาติ เรื่อง

“**Pramote Paengkoum and Somnuk Somnok.** Various Time and Temperature Treatments of full-fat
soybeans on Intestinal digestibility in Ruminants. International Symposium on Animal and Plant
Production for Food and Environmental Security. 9-11 Aug 2004, Bangkok, Thailand. 2004: p 65-67.”

2. รางวัลรองชนะเลิศอันดับที่สอง การนำเสนอผลงานวิชาการระดับชาติ เรื่อง “Effect of high temperature treated of cassarea
on ruminal degradability of dairy cattle” ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรสกลนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ระหว่างวันที่ 17-19 ก.พ.2548.

ภาคผนวก

APPENDIX A

Determination of Volatile Fatty Acids (VFAs)

Principle is sample were injected into high temperature of column, to be cover evaporation. Detection and separated the flame by mutual reaction into column packing material. Analysis total VFA and molar proportion of acetic, propionic, butyric, iso-butyric and valeric acids of rumen fluid were determined by gas chromatography (GC). The GC was fitted with a Flame Ionization Detector (FID) and packed column 5% Thermon-3000, Shincarbon A 60/80. Nitrogen was used as the carrier gas at 40 ml/min and the oven temperature was maintained at 220°C.

Preparation of rumen fluid sample: There ml of rumen fluid were added with 0.6 ml of 24% (wt/vol.) meta-phosphoric acid in 3 N H₂SO₄. Leave overnights at room temperature and were thawed and centrifuged at 3,500 rpm for 15 minutes. The supernatant was taken 0.5 ml and added 0.5 ml of 20 mM 2-methyl-n-valeric acid as an internal standard. The concentration of VFA was determined by in sucked 1 µL of the solution into the GC.

Preparation of VFA standard mixture: The preparation was describes by Minato and Kudo (pers. Comm.). Take each of acetic (11.45 g) propionic (7.46 g), butyric (9.19 g), iso-butyric (9.27 g) were transferred to different 100 ml volumetric flasks, add distilled water and bring up to 100 ml. Taken each iso-valeric (1.097 g), valeric (1.088 g) and 2-methyl-n-valeric (1.262 g) were transferred to in different 100 ml volumetric flasks. Added 1 drop of phenolptalein and naturalize with NaOH by pH meter or stirrer. Distilled water added to 100 ml. Take 1 ml of each 1, 2, 3 and 4 in a 100 ml of volumetric flask, then a 10 ml of each of 5, 6 and 7 were added. Distilled water were added to 10 ml final can centralizing are 20 mM for acetic acid and added 10 mM for the other acids.

Calculation of VFA concentration: The results were compared by the following equation as:

$$\text{Acetic acid (C2)} = \frac{(a)}{2mv} \times \frac{(\text{Conc. of C2 in VFA std. Mixture} \times 1.2^* \times 2^{**})}{A/2MV}$$

$$\text{Propionic (C3)} = \frac{(p)}{2mv} \times \frac{(\text{Conc. of C3 in VFA std. Mixture} \times 1.2^* \times 2^{**})}{P/2MV}$$

1.2^* = correlation due to the dilution by 25% meta-phosphoric acid in 3 N H_2SO_4 ,

2^{**} = correlation due to the addition of internal standard,

A, P, 2MV = the areas of acetic, propionic and 2-methy valeric acids in VFA
standard mixture,

a, p, 2mv = the areas of acetic, propionic and 2-methy valeric acids in the sample.

APPENDIX B

Estimated Microbial N Supply from Purine Derivatives (PD)

PD absorption and PD excretion

Different equations are used for sheep and cattle to describe the quantitative relationship between absorption and microbial purines (X mmol/d), and excretion of PD in urine (Y mmol/d) (Chen and Gomest, 1992):

$$\text{Goats/sheep} \quad Y = 0.84 X + (0.150 W^{0.75} e^{-0.25}) \quad (1)$$

$$\text{Cattle} \quad Y = 0.85 X + (0.385 W^{0.75}) \quad (2)$$

Where $W^{0.75}$ represents the metabolic body weight (kg) of the animal. In sheep, when we take into account the amount of exogenous purines utilized by the animal, the net endogenous contribution is practically reduced. Therefore, as the amount of exogenous microbial available to the animal increases, the net endogenous contribution decreases to practically zero. In cattle, since the exogenous purines are not available for utilization by the animal, the purine loss must be replaced by synthesis from amino acids.

The slopes of 0.84 and 0.85 in equation (1) and (2) respectively, represent the recovery of absorbed purines as PD in urine. The component within parenthesis represents the net endogenous contribution of PD to the total excretion after correction for the utilization of microbial purines by the animal. In cattle, the endogenous contribution is taken as a constant at 0.385 mmol/kg $W^{0.75}$ per day. In sheep, this reduces to zero as exogenous purines are utilized and de novo synthesis of purines is phased out.

Calculation of daily purine absorption

Based on equations (1) and (2) for goats/sheep and cattle, respectively, the amount of exogenous purines absorbed can then be estimated from the dairy excretion of PD (Chen and Gomest, 1992):

Goats/sheep: the calculation of X and Y based on equation (1) can be performed by means of the Newton-Raphson iteration process, as shown below (Chen and Gomest (1992):

$$X_{(n+1)} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \quad (3)$$