รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ NAT530116S

เรื่อง

การผลิตและการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเพิ่มโปรตีนโดยกระบวนการหมักด้วยเชื้อยีสต์เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Production and Utilization of Protein-Enriched Palm Kernel Cake by Yeast Fermented Process for Ruminant Feeds

โดย

รศ.ดร. ปิ่น จันจุฬา[1] และ รศ.ดร. อัจฉรา เพ็งหนู[2]

ภาควิชาสัตวศาสตร์[1] และภาควิชาธรณีศาสตร์[2]

พยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ุนการวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2553

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่โครงการวิจัยเรื่อง **"การผลิตและการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเพิ่มโปรตีนโดยกระบวนการหมักด้วยเชื้อยีสต์เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง"** ซึ่งดำเนินการวิจัยโดยได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2553 โดยเริ่มโครงการวิจัยเมื่อเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ตลอดจน ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้ความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในด้านสถานที่ อุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ และรวมทั้งคณาจารย์ นักศึกษาบัณฑิตศึกษาและบุคลากรทุกท่าน ที่มีส่วนที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดียิ่ง

คณะผู้วิจัย
สิงหาคม 2554

รายงานการวิจัยเล่มนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2553

บทคัดย่อ

งานทดลองที่ 1 ทำการศึกษากระบวนการหมักกากปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq) ด้วยยีสต์เป็นเวลา 132 ชั่วโมง โดยศึกษาถึงกระบวนการหมักจากเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ต่อการเพิ่มคุณภาพของโภชนะในกากปาล์ม และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน โดยศึกษาถึงผลของกระบวนการหมักต่อองค์ประกอบทางเคมีในกากปาล์ม และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน พบว่ากระบวนการหมักของเชื้อยีสต์สามารถเพิ่มโปรตีนในกาก-ปาล์ม 32.08 เป็น 33.62 และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันได้ถึง 40.54 เป็น 41.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใช้กระบวนการหมัก ขณะที่กระบวนการหมักจากเชื้อยีสต์ไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง (DM) เถ้ารวม อินทรียวัตถุ (OM) ไขมัน (EE) ผนังเซลล์ (NDF) และเซลยูโลลิกนิน (ADF) มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น การใช้เชื้อยีสต์หมักกับกากปาล์ม หรือกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันจึงเป็นแนวทางในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป

งานทดลองที่ 2 ศึกษาถึงการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์เพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองต่อปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจน โดยศึกษาในแพะจำนวน 5 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 27±2 กิโลกรัม ใช้แผนการทดลองแบบ 5x5 จัตุรัสลาติน เพื่อให้ได้รับอาหารข้นที่มีระดับของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนกากถั่วเหลืองระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100% ในสูตรอาหารที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 สูตร ตามลำดับ ให้แพะได้รับหญ้าพลิแคททูลั่มแห้งอย่างเต็มที่ ผลการทดลอง พบว่าปริมาณการกินได้ทั้งหมดของวัตถุแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน ผนังเซลล์ และเซลยูโลลิก-นินแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) โดยสูตรที่ 5 มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่น ขณะที่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด มีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05)

ประชากรจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย และเชื้อรา) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ขณะที่ ประชากรโปรโตซัวทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) และสมดุลไนโตรเจนมีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) แต่การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01) โดยสูตรที่ 5 ที่มีการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่มอื่น จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า สามารถใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองได้ระดับ 25-75% หรือใช้ได้ 5-15% ในสูตรอาหารแพะ

คำสำคัญ: กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ กระบวนการหมักด้วยเชื้อยีสต์ สมดุลไนโตรเจน แพะ

Abstract

Experiment I. Investigation was conducted to study on fermenting oil palm meal (*Elaeis guineensis* Jacq) with yeast for 132 hour in an attempt to enhance the nutritional quality of oil palm products (palm kernel with coat and palm kernel cake) using *Saccharomyces cerevisiae* in the fermentation of palm kernel with coat and palm kernel cake. These products were analyzed with regards to proximate composition of oil palm products. The results revealed that there were significant increases ($P<0.01$) in protein (palm kernel with coat, 33.62 % and palm kernel cake, 41.67 %) as compared with unfermented oil palm products. While, *S. cerevisiae* fermentation oil palm did not result in any significant changes in DM, ash, OM, NDF and ADF contents of oil palm products. Therefore, fermentation of palm kernel with coat or palm kernel cake with yeast could potentially be used in enhancing nutritive value and be used in animal diets.

Experiment II. Digestion trail was conducted to determine the replacement of soybean meal (SBM) by yeast fermented palm kernel cake protein (YFPKC) in concentrate diets on dry matter intake, nutrient digestibilities, rumen fermentation and nitrogen balance. Five goats with average liveweight 27±2 kg were randomly assigned according to a 5x5 Latin square design to receive five diets (0, 25, 50, 75 and 100% YFPKC substitution for soybean meal (SBM), respectively). Plicatulum hay was offered on *ad libitum* basis. Based on this experiment, there were no significant differences ($P>0.05$) among treatments regarding DM intake, whereas apparent digestibilities of DM, OM, CP, NDF and ADF were affected ($P<0.05$) by inclusion of YFPKC in diets and tended to be slightly lower for goats fed the diet T_5 containing 100% YFPKC as compared with other treatments. The ruminal pH, NH_3-N and volatile fatty acids were similar among treatments ($P>0.05$). Rumen microorganism populations (bacteria and fungi counts) were significantly and linearly increased with increasing percentages of YFPKC, whereas population of rumen protozoa was similar among treatments ($P>0.05$). The amount of N absorption and retention were similar among treatments, except for T_5 which tended to be slightly lower than other treatments. Based on this experiment, it could be concluded that the level of YFPKC in concentrate replacement of SBM should be 25-75% or 5-15 % for goat fed with plicatulum hay.

Key words: Yeast fermented palm kernel cake, yeast fermented process, nitrogen balance, goat

สารบาญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(ก)
บทคัดย่อภาษาไทย	(ข)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ค)
สารบาญ	(1)
สารบาญตาราง	(2)
สารบาญภาพ	(3)
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	3
หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	4
การตรวจเอกสาร	5
สถานการณ์การผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทย	5
ผลผลิตและผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	6
แนวทางการพัฒนาและการเพิ่มคุณภาพในโภชนะของอาหารสัตว์โดยกระบวนการหมัก	14
บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	15
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	19
ผลการทดลองและวิจารณ์	26
สรุปผลการทดลอง	37
เอกสารอ้างอิง	39

สารบาญตาราง

Table		Page
2.1	Distribution of beef, dairy cattle, buffalo, goat and sheep numbers in Thailand (heads) 1997-2007	5
2.2	Imported quantities of soybean meal and price, 1997-2005	6
2.3	Chemical composition of oil palm by products (% dry matter basis)	8
2.4	Fatty acid compositions of palm oil products, soy oil and coconut oil	10
2.5	Chemical composition of oil palm by products (% dry matter basis) by methods of extraction process	11
3.1	Ingredient and chemical composition of goat rations (% DM basis)	22
4.1	Chemical composition of fermented palm kernel cake (% DM basis)	26
4.2	Chemical composition of the experimental diets and plicatulum hay (% DM basis)	27
4.3	Effects of fermented palm kernel cake on feed intake (kg/d) and apparent digestibility in goats fed on plicatulum hay as roughage	28
4.4	Effects of fermented palm kernel cake on rumen fermentation characteristics in goats fed on plicatulum hay as roughage	30
4.5	Effects of fermented palm kernel cake on volatile fatty acid profiles in goats fed on plicatulum hay as roughage	32
4.6	Effects of fermented palm kernel cake on rumen microbs in goats fed on plicatulum hay as roughage	33
4.7	Effects of fermented palm kernel cake on blood metabolized characteristics in goats fed on plicatulum hay as roughage	34
4.8	Effects of fermented palm kernel cake on nitrogen utilization in goats fed on plicatulum hay as roughage	35

สารบาญภาพ

Figure		Page
2.1	General characteristis of oil palm and utilization of oil palm Products	7
2.2	Approximate amounts of principal products and by-products from the oil palm at maturity	8
2.3	Approximate amounts of principal products and by-products from the oil palm	9
2.4	Utilization of protein and carbohydrates by rumen bacteria	16
2.5	Outline of the pathways of carbohydrate in the rumen	17

การผลิตและการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเพิ่มโปรตีนโดยกระบวนการหมักด้วยเชื้อยีสต์เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Production and Utilization of Protein-Enriched Palm Kernel Cake by Yeast Fermented Process for Ruminant Feeds

บทนำ

การผลิตปศุสัตว์ในประเทศไทยในปัจจุบันที่เกษตรกรระดับรายย่อย (smallholder farmers) สามารถดำเนินกิจการอยู่ได้อย่างต่อเนื่องคือ การเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้แก่ โคเนื้อ โคนม กระบือ แพะ และแกะ ซึ่งมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้น การเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง ยังมีความเป็นไปได้ในการขยายขอบเขตการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องให้มากยิ่งขึ้น หรือเพิ่มศักยภาพการผลิตเนื้อ และน้ำนมของสัตว์ต่อตัวให้มากยิ่งขึ้นก็เป็นอีกหนทางหนึ่ง ซึ่งปัจจัยที่มีส่วนอย่างยิ่งต่อการเพิ่มศักยภาพการผลิตสัตว์คือ ปัจจัยทางด้านอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ที่ประเทศไทยมีวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีโปรตีน และพลังงานคุณภาพสูงค่อนข้างจำกัด และมีไม่เพียงพอ จำเป็นต้องอาศัยการนำเข้าวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งโปรตีนและพลังงานที่มีราคาแพง โดยเฉพาะปลาป่น กากถั่วเหลือง และข้าวโพด เป็นต้น โดยในปี พ.ศ. 2550 มีปริมาณนำเข้า 13,322, 2,104,512 และ 150,356 ล้านตัน ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) ทำให้ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตรา 360.6, 21,463.6 และ 495.07 ล้านบาท ตามลำดับ ในการนำเข้าวัตถุดิบอาหารสัตว์ ดังนั้น การศึกษาวิจัย และพัฒนาใช้ทรัพยากรอาหารในระบบเกษตรกรรมที่มีศักยภาพในท้องถิ่น (potential local feed resources) ภายในประเทศจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพการนำใช้ผลผลิต และผลพลอยได้ทั้งระบบให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเฉพาะปาล์มและผลพลอยได้จากปาล์มน้ำมันที่มีมากในภาคใต้ และในอนาคตมีแนวโน้มการขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มมากขึ้นทุกปี เพื่อผลิตเนื้อ และน้ำนมจากปาล์มและผลพลอยได้จากปาล์มน้ำมันให้มีคุณภาพสูง ต่อไป

ปาล์มน้ำมัน (oil palm) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจัดอยู่ในวงศ์ Arecaceae มี 3 สปีชีส์ (*Elaeis guineensis*, *E. oleifera* และ *E. odora*) แต่สปีชีส์ *Elaeis guineensis* Jacq. เป็นสายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมสูงสุด เป็นพืชยืนต้นที่มีการปลูกได้เฉพาะในพื้นที่เขตร้อนชื้นของโลก (เส้นรุ้ง 10° N-S) สภาพภูมิประเทศที่เหมาะสมควรเป็นพื้นที่ราบมีความลาดชันไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำไม่ขัง อากาศถ่ายเทสะดวก อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 22-32 องศาเซลเซียส (ธีระ และคณะ, 2548) ปัจจุบันมีประเทศที่ปลูกพืชชนิดนี้จำนวน 42 ประเทศ การขยายตัวของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 30 ปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะในประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซีย สำหรับประเทศไทยยังมีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันน้อยอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศดังกล่าว (1.4 ล้านไร่ หรือ 0.02% ของพื้นที่เก็บเกี่ยวทั้งโลก) ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้คิดเป็น 95% (ธีระ และคณะ, 2548) ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ แต่ปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคตได้มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากปัญหาความต้องการใช้น้ำมัน และพลังงานในประเทศที่สูงเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันในอนาคต ตลอดจนการได้รับการสนับสนุนจากนโยบายของรัฐบาลเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก ซึ่งในกระบวนเพาะปลูก การผลิตและการแปรรูปในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ทำให้

เกิดวัสดุเศษเหลือ หรือผลพลอยได้จากปาล์มและอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม (oil palm by-products) และเศษเหลืออื่นๆ (ทลายปาล์ม กากปาล์ม กะลาปาล์มและกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม) ประมาณ 75% ของผลผลิต หรือปริมาณ 2.93 ล้านตันต่อปี (ธีระ และคณะ, 2548) ซึ่งในประเทศไทยยังมีการวิจัย และพัฒนาการใช้ประโยชน์ด้านนี้น้อยมาก โดยเฉพาะการนำวัสดุผลพลอยได้มาเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค กระบือ แพะ และแกะ เป็นต้น

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีวิวัฒนาการ และพัฒนาการที่มีความเฉพาะตัว สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารคุณภาพต่ำ ซึ่งอาหารเหล่านี้ทั้งมนุษย์ และสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ มาเปลี่ยนเป็นแหล่งอาหารโปรตีนคุณภาพสูง (เนื้อ และนม) และจากการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในสัตว์เคี้ยวเอื้องพบว่า โค แพะ และแกะ สามารถย่อยวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน รวม ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลสในกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันได้ 60-70%, 67-72%, 53-71% และ 52-66% ตามลำดับ (Miyashige et al., 1987; Suparjo and Rahman, 1987) นอกจากนี้ ผลพลอยได้ เช่น ทางใบปาล์ม (oil palm fronds, OPF) สด และหมักสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบได้ดี (Abu Hassan and Azizan, 1992) ซึ่งมีศักยภาพสูง และมีจำนวนมากสามารถนำมาพัฒนาเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องทดแทนพืชอาหารสัตว์ได้ในอนาคต

ในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องยังจำเป็นต้องเสริมอาหารข้น ซึ่งแหล่งของโปรตีนหลักที่สำคัญ และมีการใช้อยู่คือ โปรตีนจากพืช เช่น กากถั่วเหลือง ที่มีโปรตีนหยาบ 44 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง (NRC, 1984) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนราคาต่อหน่วยของกากถั่วเหลืองนับว่าสูงมาก (ราคาประมาณ 18-20 บาทต่อกิโลกรัม) ดังนั้น จึงส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้นด้วย จากปัญหาดังกล่าวนำมาสู่แนวทางในการวิจัยของการใช้โปรตีนทางเลือกอื่นๆ โดยคงความสามารถในการเพิ่มผลผลิตให้ได้สูงที่สุด และสามารถปรับปรุงนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยแหล่งของโปรตีนดังกล่าว เกิดจากกระบวนการหมักเพื่อเพิ่มโปรตีนโดยเชื้อยีสต์ *Saccharomyce cerevisiae* (Tewe, 1991) ซึ่งยีสต์ในสกุล *Saccharomyces* และ *Candida* สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีน และปัจจุบันได้มีการผลิตยีสต์ *S. cerevisiae* ในรูปการค้าเพื่อใช้เป็นอาหารเสริม โดยการผลิตยีสต์ที่มี L-lysine ในระดับสูง และมีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของตัวสัตว์ (ปาริชาติ และงามนิจ, 2548) Daimon (1994) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากยีสต์ในสกุล *Saccharomyces* และ *Candida* ใช้เป็นเป็นแหล่งอาหารโปรตีนในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องโดยผลิตได้จากการหมักสิ่งเหลือทิ้งทางการเกษตร แต่ในปัจจุบันได้มีการผลิตยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ในรูปการค้าเพื่อใช้เป็นอาหารเสริมในสุกร โดยใช้ทดแทนข้าวโพด หรือข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ พบว่าสุกรมีการเจริญเติบโตดี จากการรายงานเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ในสัตว์เคี้ยวเอื้องพบว่า มีผลต่อนิเวศวิทยาของกระเพาะรูเมนในลักษณะความสัมพันธ์เชิงบวก โดยไปกระตุ้นประชากรแบคทีเรียจำพวกย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic bacteria) ย่อยสลายโปรตีน (proteolytic bacteria) ย่อยสลายแป้ง (amylolytic bacteria) และแบคทีเรียทั้งหมด (total viable bacteria) ให้ใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใย และปรับปรุงกระบวนการหมักให้ดีขึ้น ซึ่งดูจากปริมาณการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนที่เพิ่มขึ้น (Wallace and Newbold, 1993)

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งที่จะศึกษา การเพิ่มโภชนะโปรตีนในกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน โดยอาศัยกระบวนการหมักจากเชื้อยีสต์ *Saccharomyce cerevisiae* เพื่อใช้เป็นแหล่งของโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารข้นบางส่วน และ/ หรือทั้งหมดสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง นับได้ว่าเป็นแนวทางการพัฒนาการนำใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์สูงสุด และน่าศึกษาอย่างยิ่ง เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องร่วมกับอุตสาหกรรมการผลิตปาล์มน้ำมัน และผลพลอยได้อย่างเป็นระบบ เพื่อเพิ่มมูลค่า (value added) ของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น ตลอดจนเผยแพร่ผลงานวิจัย และถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากโครงการวิจัย เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการเรียนการสอน และการผลิตของเกษตรกรทั้งระดับรายย่อย และอุตสาหกรรม ต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงกระบวนการผลิตกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์เพื่อใช้เป็นแหล่งของอาหารโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง
2. เพื่อศึกษาถึงผลของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์เพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนจากกาก-ถั่วเหลืองต่อนิเวศวิทยาภายในกระเพาะรูเมน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) กรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย (volatile fatty acid, VFA) และประชากรของจุลินทรีย์
3. เพื่อศึกษาถึงผลของโปรตีนจากกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ต่อความสมดุลของไนโตรเจนของสัตว์

ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษาถึงกระบวนการผลิตกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือก เพื่อทดแทนกากถั่วเหลืองต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน องค์ประกอบของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ความสมดุลของไนโตรเจน และเมแทบอไลท์ในกระแสเลือดในแพะลูกผสมเพศผู้

ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ได้องค์ความรู้กระบวนการผลิตกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์เพื่อเพิ่มโปรตีน ซึ่งเป็นวัตถุดิบในท้องถิ่นมาใช้เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกในการทดแทนกากถั่วเหลือง และเผยแพร่แก่นักวิชาการและบุคคลทั่วไป
2. ทราบผลของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์เพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองต่อนิเวศวิทยาภายในกระเพาะรูเมน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) กรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย (volatile fatty acid, VFA) และประชากรของจุลินทรีย์

3. สามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการ วารสารทางวิชาการทั้งระดับประเทศและนานาชาติ

หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

เกษตรกร เจ้าหน้าที่ปศุสัตว์ นักการศึกษาและนักบริหารชุมชน (อบต) อื่นๆ เช่น กองส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์ กรมส่งเสริมการเกษตร ภาควิชาสัตวบาลต่างๆ ของมหาวิทยาลัย และสถาบันเกษตรกรต่างๆ เป็นต้น

การตรวจเอกสาร

2.1 สถานการณ์การผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทย

ปัจจุบันการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องในเมืองไทยมีการขยายเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะมีความต้องการบริโภคทั้งเนื้อ และนมเพิ่มขึ้นทุกปี อีกทั้งนโยบายของรัฐบาลได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการเลี้ยงสัตว์เพิ่มมากขึ้น โดยได้มีการบรรจุไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 อย่างเด่นชัดโดยมียุทธศาสตร์ ดังนี้ 1) ถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยการส่งเสริม และพัฒนาอาชีพ 2) ปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานทางการเกษตรโดยพัฒนาแหล่งน้ำ และ 3) ระบบสนับสนุนและช่วยเหลือโดยการจัดการหาแหล่งเงินทุนให้เกษตรกรและหาอาชีพเสริมในครัวเรือน ดังนั้น เมื่อมาดูถึงขีดความสามารถในสัตว์เคี้ยวเอื้องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541-2550 (Table 2.1) พบว่า ประชากรโคเนื้อ โคนม แพะ และแกะ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541-2550 ยกเว้น กระบือที่ประชากรลดลง

Table 2.1 Distribution of beef, dairy cattle, buffalo, goat and sheep numbers in Thailand (heads) 1998-2007.

ปี พ.ศ.	โคเนื้อ	โคนม	กระบือ	แพะ	แกะ
2541	5,159,237	323,254	2,286,417	130,904	40,404
2542	4,755,792	339,265	1,911,518	132,845	39,385
2543	4,601,697	352,010	1,711,573	144,227	37,312
2544	4,640,355	365,209	1,523,627	188,497	42,720
2545	4,819,713	377,263	1,612,534	177,944	39,326
2546	5,048,170	392,625	1,689,642	213,917	41,174
2547	5,296,639	444,510	1,737,698	250,076	41,662
2548	5,609,790	496,508	1,770,625	338,355	42,149
2549	6,003,883	521,605	1,772,214	324,150	51,151
2550	6,381,042	541,812	1,856,684	444,774	-

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2550)

เมื่อมาดูศักยภาพต่อการผลิตของสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็กภายในประเทศ และเป็นสินค้าส่งออกไปยังต่างประเทศ พบว่าแพะ และแกะในปี พ.ศ. 2541–2550 มีประชากรเพิ่มขึ้นจาก 130,904 ตัว เป็น 444,774 ตัว และ 40,404 ตัว เป็น 51,151 ตัว ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) ดังนั้น เพื่อจะส่งเสริมธุรกิจการผลิตเนื้อที่มีคุณภาพดีจากแพะ แกะ โคเนื้อ และนมคุณภาพดีจากโคนมและลดการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาองค์ความรู้ในด้านอาหารสัตว์ให้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากอาหารนับได้ว่าเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตตลอดจนผลตอบแทนความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ในขณะที่ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งของโปรตีนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ กากถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้น โดยกากถั่วเหลืองเป็นสินค้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่นำเข้ามาเพื่อผลิตเป็นน้ำมันสำหรับบริโภค และใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ โดยตั้งแต่เดือน มกราคมถึงตุลาคม พ.ศ.

2542-2548 ประเทศไทยนำเข้ากากถั่วเหลือง ปริมาณ 1,331,099-1,881,419 ตัน มูลค่าเฉลี่ย 10,532.32 ล้านบาท เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมาตามลำดับ (Table 2.2)

Table 2.2 Imported quantities of soybean meal and price, 1997-2005.

ปี พ.ศ.	ปริมาณการนำเข้า[1]	ราคา[2]
2542	1,331,099	7.67
2543	1,312,234	9.32
2544	1,561,630	10.45
2545	1,755,550	9.66
2546	1,917,874	10.82
2547	1,262,261	12.75
2548	1,881,419	11.37

ที่มา: กรมการค้าภายใน (2550)

[1]หน่วย: ตัน, [2]ราคาขายส่ง กากถั่วเหลืองผลิตในประเทศจากเมล็ดนำเข้าโปรตีน 42–45 เปอร์เซ็นต์ ณ หน้าโรงงานสกัดน้ำมัน ตลาด กทม, หน่วยเป็น บาท.

ระดับราคา ราคากากถั่วเหลืองที่ขายได้โดยเฉลี่ย ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2542-2548 กิโลกรัมละ 7.67–12.75 บาท แ ละราคากากถั่วเหลืองในประเทศจะขึ้นอยู่กับราคาถั่วเหลืองในตลาดโลก เนื่องจากไทยนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่คือ มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (กรมการค้าภายใน, 2550) เหตุผลดังกล่าว จึงเป็นจุดประสงค์หลักของการพัฒนาการผลิตโปรตีนทางเลือกอื่นๆ เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตในประเทศไทย โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นที่หาซื้อได้ง่าย และมีราคาถูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่น ตัวอย่างเช่น มันสำปะหลัง และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน ซึ่งนับได้ว่าเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทั่วไป และสามารถที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน และยังจัดได้ว่าเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของพลังงานที่ดี และมีราคาถูก

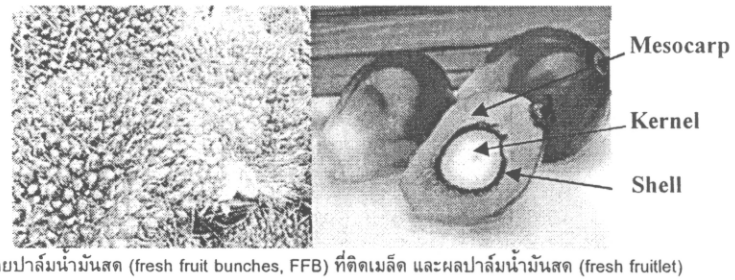
2.2 ผลผลิตและผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

2.2.1 ศักยภาพของวัตถุดิบในท้องถิ่น

ประเทศไทยผลิตน้ำมันปาล์มได้มากเป็นอันดับสามของโลก รองจากประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย โดยในปี 2550 ผลิตได้ 950,000 ตัน คิดเป็นร้อยละ 2.46 ของการผลิตโลก เพิ่มขึ้นจากปี 2549 ซึ่งมีปริมาณการผลิต 850,000 ตัน ร้อยละ 11.76 จากข้อมูลพบว่า ปริมาณการผลิตของไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) ประกอบกับรัฐบาลได้กำหนดนโยบายโดยใช้น้ำมันปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ได้จากแหล่งธรรมชาติเป็นวาระแห่งชาติ โดยตั้งเป้าขยายพื้นที่ปลูกให้ได้ 10 ล้านไร่ ภายในปี พ.ศ. 2572 โดยปลูกเพิ่มปีละ 400,000 ไร่ แบ่งดำเนินการเป็น 5 ระยะๆ ละ 5 ปี ในช่วง 5 ปีแรก (พ.ศ. 2547-2552) ตั้งเป้าพื้นที่ปลูกทั่วประเทศเพิ่มขึ้นจาก 2.04 เป็น 3.67 ล้านไร่ (พรชัย, 2549)

ปาล์มน้ำมัน (oil palm) จัดอยู่ในสกุล *Elaeis* มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis sp.* สามารถแบ่งได้ 3 ชนิด คือ 1) *Elaeis guineensis* ห รือปาล์มน้ำมันแอฟริกัน (African counterpart) 2) *Elaeis oleifera* (H.B.K) หรือปาล์มน้ำมันอเมริกัน (American oil palm) พบมากแถบอเมริกาใต้ และอเมริกากลาง และ 3) *Elaeis odora* (Morad and Mustafa, 1997) อยู่ในตระกูล Palmae เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ยืนต้นเดี่ยว ไม่แตกกิ่งแขนง มีใบ เป็นใบประกอบขนาดใหญ่ ก้านใบใหญ่และยาวเป็นกาบหุ้มลำต้นมีลักษณะคล้ายใบมะพร้าว ออกดอกเป็นช่อ เป็นจั่นแยกสาขาเป็นทลาย ช่อดอกมีดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียอยู่แยกกันคนละดอก แต่อยู่ในต้นเดียวกัน (monoecious) เป็นพืชผสมข้ามตัวเอง (cross-pollinated) ในแต่ละต้นจะเกิดช่อดอกได้ประมาณ 10-15 ช่อดอก มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 24-30 เดือนหลังจากปลูก แต่ละต้นให้ทลายปาล์มสด 15 ทลาย แต่ละทลายมีน้ำหนักประมาณ 15-20 กิโลกรัมต่อทลาย ขึ้นกับวิธีการปลูกและอายุของปาล์ม ส่วนผล มีผลเป็นทะลายประกอบด้วยก้านทะลาย ช่อทะลาย และผล (fruitlets) มีประมาณ 1000-1300 ผลต่อทลาย แต่ละผลประกอบด้วยชั้นเปลือก (meoscarp layer) และชั้นกะลา (endocarp หรือ shell) ภายในมีเนื้อขาวๆ (kernel) (Figure 2.1) ปาล์มน้ำมันมีระบบรากแบบ fibrous root system โดยรากเกือบทั้งหมดเจริญตามแนวนอนระดับใกล้ผิวดิน ความลึกประมาณ 2 เมตร การปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อการค้าจะต้องการทะลายปาล์ม เปลือกนอก กะลา และเนื้อในเมล็ดปาล์มเป็นหลัก

(ก) ต้นปาล์มน้ำมัน (oil palm tree) และทลายปาล์มน้ำมัน (fruit bunches) ที่ติดเมล็ดปาล์มน้ำมัน



(ข) ทลายปาล์มน้ำมันสด (fresh fruit bunches, FFB) ที่ติดเมล็ด และผลปาล์มน้ำมันสด (fresh fruitlet)

(ค) กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่หีบด้วยเกลียวอัด (PKC) (ง) กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่สกัดด้วยสารเคมี (PKM)

Figure 2.1 General characteristis of oil palm and utilization of oil palm products.
ที่มา: ธีระ และคณะ (2546); สำนักงานส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร (2548)

ผลปาล์มน้ำมันประกอบด้วยชั้นนอกสุดคือ ชั้น exocarp มีลักษณะบางและมีสีแตกต่างตามพันธุ์ ชั้นถัดมาคือ ชั้น mesocarp เป็นชั้นเปลือกที่นำมาสกัดน้ำมันปาล์มที่เรียกว่า palm oil ถัดมาคือ ชั้นกะลา (shell) และชั้นในสุดคือ ชั้น endocarp หรือที่เรียกว่า เมล็ดใน (kernel) ที่นำมาสกัดน้ำมันที่

เรียกว่า palm kernel oil และผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันจากส่วนนี้คือ กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันซึ่งมีปริมาณ 45-56 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อเมล็ดในปาล์ม (Devendra, 1977) (Figure 2.2) ซึ่งใกล้เคียงกับที่ Ahmad (1986) รายงานว่ามีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันน้ำมัน 2-2.2 เปอร์เซ็นต์ของผลปาล์มน้ำมันทั้งทลาย หรือประมาณ 50-55 เปอร์เซ็นต์

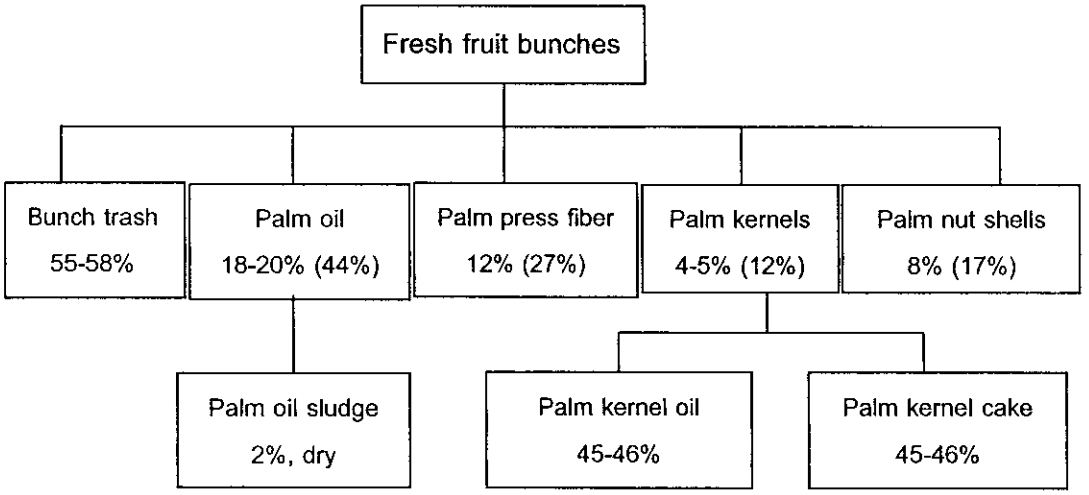


Figure 2.2 Approximate amounts of principal products and by-products from the oil palm at maturity.
ที่มา: Devendra (1977)

2.2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

การสกัดน้ำมันซึ่งมีอยู่ 2 แบบคือ แบบที่ 1) การหีบเมล็ดปาล์มทั้งผล วิธีนี้ผลพลอยได้คือ กากปาล์มน้ำมันที่ได้จะมีส่วนประกอบของเยื่อใยสูงมาก (Table 2.3) มีคุณค่าทางอาหารต่ำไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เลี้ยงสัตว์กระเพาะเดี่ยว และแบบที่ 2) เป็นการหีบโดยแยกเอาส่วนเปลือกไปหีบเอาน้ำมันส่วนหนึ่ง ในขณะเดียวกัน ส่วนเนื้อในเมล็ดก็นำมาหีบได้อีกส่วนหนึ่ง ซึ่งกากปาล์มน้ำมันที่ได้จากการหีบน้ำมันจากส่วนเนื้อในรวมกะลา หรือเนื้อล้วนๆ นี้ เราสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยวได้ดี (วินัย และคณะ, 2526) รวมทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Table 2.3 Chemical composition of oil palm by products (% dry matter basis)

ส่วนประกอบ (%)	กากผลปาล์ม	กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน
ความชื้น	12.82	9.67
โปรตีน	7.08	10.18
ไขมัน	6.91	10.22
เยื่อใย	30.51	21.14
เถ้า	4.55	4.25
แคลเซียม	-	0.25
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	-	0.58

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2544)

ขั้นตอนในการผลิตน้ำมัน และกากที่ได้จากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม แสดงดัง Figure 2.3 (Babjee, 1988) กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน มีประมาณ 45-46 % (Devendra, 1977)

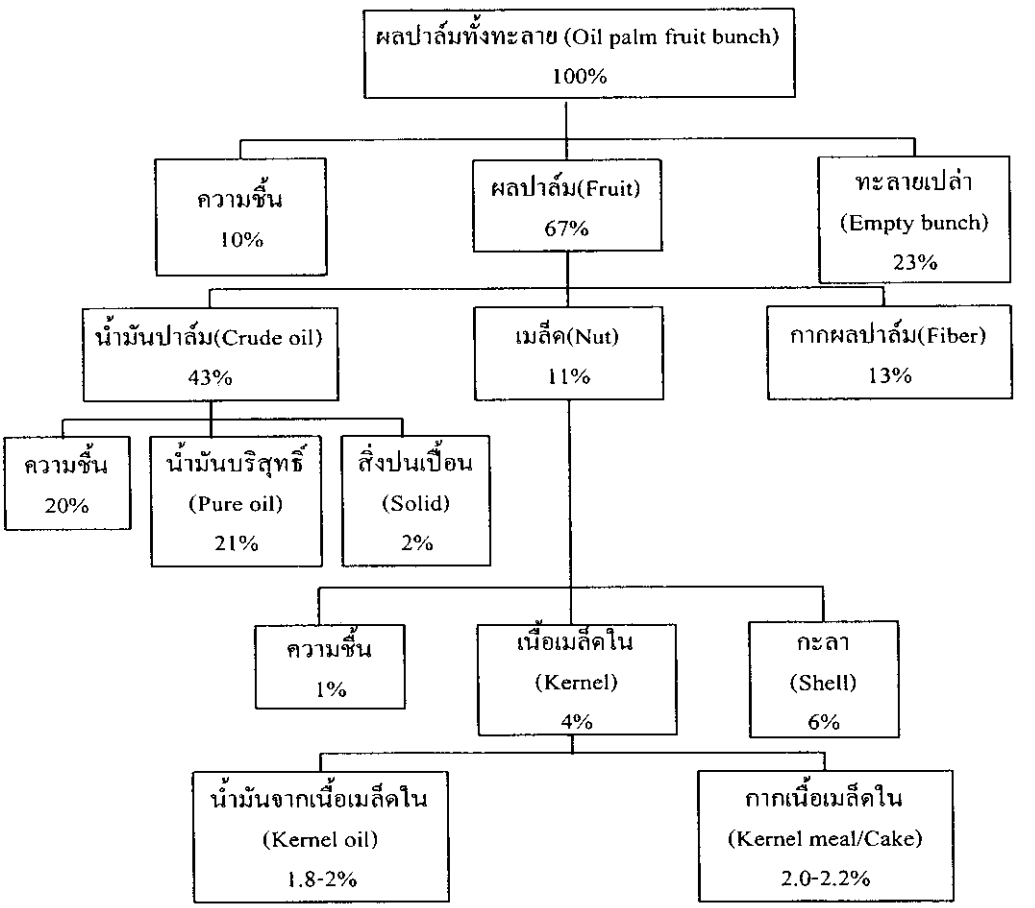


Figure 2.3 Approximate amounts of principal products and by-products from the oil palm.
ที่มา: ดัดแปลงจาก Babjee (1988)

2.2.3 ผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จินดา (2548) กล่าวว่า ในกระบวนการหีบน้ำมันปาล์มจะได้ผลผลิต 2 ประเภท คือ

1. ผลผลิตโดยตรง คือ น้ำมันปาล์มมีประมาณ 18-20 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2.3) ซึ่งมี 2 ชนิดคือ ชนิดที่ได้จากเปลือก เรียกว่า palm oil (PO) มีสีเข้ม และมีความหนืดตั้งแต่ระดับปานกลางจนถึงหนืดมาก และชนิดที่ได้จากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (palm kernel oil) มีสีจางกว่าชนิดแรก อาจมีสีเหลืองอมน้ำตาล และมีความหนืดระดับปานกลาง องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลือง (Table 2.4)

จากข้อมูลการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันปาล์ม พบว่ามีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว แสดงดัง Table 2.4 ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ของปราณี (2540) ซึ่งพบว่าในน้ำมันปาล์มประกอบด้วย กรดพาล์มิติก ปริมาณสูงสุดร้อยละ 38-52 ของ

กรดไขมันทั้งหมด รองลงมาคือ กรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดโอลีอิก (oleic acid) ร้อยละ 34-46 และกรดไลโนลีอิก (linoleic acid) ร้อยละ 8-17 ของกรดไขมันทั้งหมด และพบกรดไขมันชนิดอิ่มตัวพวกกรดสเตียริก (stearic acid, C18:0) กรดไมริสติก (myristic acid C14:0) กรดอราชิดิก (arachidic acid, C20:0) และกรดลอริก (lauric acid) กับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพวกกรดพาล์มิโตลีอิก (palmitoleic acid, C16:1) และไลโนลีอิก อีกในปริมาณเล็กน้อยรวมกันประมาณ ร้อยละ 10 ของกรดไขมันทั้งหมด

Table 2.4 Fatty acid compositions of palm oil products, soy oil and coconut oil.

Fatty acids	Weight percentage						
	Palm oil	Palm olein	Palm stearin	Palm kernel oil	Palm kernel olein	Coconut oil	Soy oil
C6:0	-	-	-	0.3	0.4	0.2	-
C8:0	-	-	-	4.4	5.4	8.0	-
C10:0	-	-	-	3.7	3.9	7.0	-
C12:0	0.2	0.2	0.3	48.3	49.5	48.2	-
C14:0	1.1	1.0	1.3	15.6	11.8	18.0	-
C16:0	44.0	39.8	55.0	7.8	8.4	8.5	6.5
C18:0	4.5	4.4	5.1	2.0	2.4	2.3	4.2
C18:1	39.2	42.5	29.5	15.1	22.8	5.7	28.0
C18:2	10.1	11.2	7.4	2.7	3.3	2.1	52.6
Others	0.8	0.9	0.7	0.1	0.1	-	8.0

ที่มา: Salmiah (2000)

2. ผลพลอยได้ ได้แก่

2.1 ทะลายปาล์ม (bunch trash) มีประมาณ 55-58 เปอร์เซ็นต์ของปาล์มทั้งทะลายที่แยกจากผลปาล์มหลังจากอบแล้ว และจะถูกนำเข้าเตาเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง ออกมาเป็นขี้เถ้า และใช้เป็นปุ๋ย

2.2 กากเยื่อใยปาล์ม (palm press fiber, PPF และ palm empty fruit bunch, PEFB) เป็นส่วนเปลือกของผลปาล์มที่หีบน้ำมันออกแล้วมีประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ของปาล์มทั้งทะลาย ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงของโรงงาน

2.3 เนื้อในเมล็ดปาล์ม (palm kernel) เป็นส่วนที่แยกเอาเปลือก และกะลาออกแล้วมีประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ (มีปริมาณน้อยสุดเมื่อเทียบกับผลพลอยได้อื่นๆ) เมื่อนำมาหีบน้ำมันออก กากที่เหลือมีลักษณะแห้ง และแข็งอาจเป็นแผ่น หรือเป็นผงละเอียด มี 2 ชนิด 1) palm kernel cake/ expeller (PKC/E, screw pressing) และ 2) palm kernel meal (PKM, solvent extraction) มีคุณค่าทางอาหารสูง ความแตกต่างของผลพลอยได้ทั้ง 2 ชนิด คือปริมาณสารเยื่อใย และไขมันในผลพลอยได้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน

2.4 กะลาปาล์ม (palm nut shell, PNS) มีลักษณะคล้ายกะลามะพร้าว ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานมีประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ของผลปาล์มทั้งทะลาย ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงาน

2.5 กากตะกอนปาล์มน้ำมัน (palm oil sludge, POS หรือ palm oil meal effluent, POME) เป็นของเหลือที่เป็นของเหลวจากโรงงานปาล์ม มีประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ (เมื่ออยู่ในสภาพแห้ง)

2.2.4 คุณค่าทางโภชนะของกากปาล์มน้ำมัน

กากปาล์มที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ 1) กากผลปาล์มทั้งผล หรือกากปาล์มน้ำมัน และ 2) กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน

กากปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากการนำปาล์มทั้งผลมาสกัดน้ำมัน ส่วนกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากการนำเมล็ดปาล์ม ซึ่งแยกเอาส่วนของเปลือกนอกออกแล้วมาสกัดน้ำมัน ซึ่งคุณค่าทางโภชนะของกากผลปาล์ม และกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน แสดงดัง Table 2.3 พบว่ากากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันมีโปรตีนสูงกว่าแต่มีเยื่อใยต่ำกว่ากากปาล์มน้ำมัน

อย่างไรก็ตาม ส่วนประกอบทางโภชนะของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิด และพันธุ์ของปาล์มน้ำมัน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การจัดการ และกรรมวิธีในการสกัดไขมัน เป็นต้น เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบส่วนประกอบทางโภชนะของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันโดยวิธีกล และวิธีสกัดโดยตัวทำละลายอินทรีย์ แสดงดัง Table 2.5

Table 2.5 Chemical composition of oil palm by products (% dry matter basis) by methods of extraction process.

วิธีสกัดน้ำมัน	ปริมาณโภชนะ(%)								ที่มา
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	Ca	P	พลังงาน (kcal/g)	
วิธีกล	5.5	13.3	22.5	15.3	3.0	0.20	0.53	5.16 (GE)	ทวีศักดิ์ (2529)
	7.1	12.7	10.8	15.2	3.3	0.24	0.58	4.83 (GE)	นิวัต (2531)
	8.1	14.4	10.2	14.8	3.3	0.24	0.58	4.42 (GE)	นิวัต (2531)
	6.1	12.9	15.7	14.1	2.9	0.18	0.65	5.15 (GE)	วินัย และคณะ (2528)
	10	18.5	14.3	14.2	3.6	0.26	0.20	2.11(ME)	อุทัย (2529)
	8.69	17.6	10.1	14.2	2.8	0.26	0.63	-	Panigrahi and Powell (1991)
	-	13.4	22.6	15.4		0.26	0.18	3.9 (ME)	กรมปศุสัตว์ (2544)
	7.0	14.8	9.8	15.7	4.2	0.20	0.32	11.66(ME)[4]	MARDI[2]
วิธีสกัดโดยตัวทำละลายอินทรีย์	-	18.5	1.5	14.2	-	0.26	0.2	2.62(ME)	กรมปศุสัตว์ (2544)
	-	20	8.0	15.0	5	0.3	0.5	1.9(ME)	Ravidran and Blair (1992)
	10.6	20	2	16.5	6.8	-	-	2.15(ME)	Nwokolo (1977)
	-	18.7	6.4	12.9	4.8	0.18	0.74	4.46(GE)	Oluyemi et al. (1976)
	8.7	19.2	7.9	11.2	5.1	-	-	2.64(ME)	Onwudike (1986a)
	10.2	14.5	0.7	14.2	3.6	0.26	0.71	3.72(GE)	Yeong (1982)
	9.0	15.0	0.9	15.6	3.5			13.05(ME)[4]	UPM[1]
	8.0	15.2	1.8	16.0	3.8	0.26	0.52	12.18(ME)[4]	MARDI[2]

ที่มา: [1] University Pertanian Malysia, Serdang, Selangor cited in Babjee (1988)

[2] Malaysia Agriculture Research and Development Institute, Serdang, Selangor cited in Babjee (1988)

[3] Department of Veterinaty Services, Ministry of Agriculture, Kualalumpur cited in Babjee (1988)

[4] MJ/kg

จาก Table 2.5 พบว่ากากเนื้อเมล็ดในปาล์มที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันโดยวิธีกล และวิธีสกัดโดยตัวทำละลายอินทรีย์จะมีผลต่อคุณค่าทางโภชนะของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน โดยพบว่ากากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ได้จากการสกัดน้ำมัน โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์จะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่า และมีไขมันต่ำกว่าการสกัดน้ำมันโดยวิธีกล ปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่จะมีผลต่อคุณภาพของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในการเก็บรักษา ความน่ากิน และการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ Hair-Bejo et al. (1995) กล่าวว่าในกรณีที่ปริมาณน้ำมันตกค้างมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดกลิ่นหืน (rancidity) ทำให้มีรสชาติไม่น่ากิน สัตว์จะปฏิเสธการกิน และระดับของทองแดงที่สูงสามารถก่อให้เกิดพิษต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็กโดยเฉพาะแกะ

จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันพบว่า มีความสมดุลของแคลเซียม และฟอสฟอรัส โดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสมกว่าผลพลอยได้จากเมล็ดพืชน้ำมันอื่นๆ มีโปรตีนรวมอยู่ต่ำ และมีกรดแอมิโนเมทไธโอนีน (methionine, Met) และกรดไขมันลิโนเลอิค (linoleic acid, C18:2) อยู่ในปริมาณจำกัด และเนื่องจากมีปัญหาเกี่ยวกับความน่ากินเพราะมีลักษณะแห้ง และอาจมีสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น กะลา ตลอดจนมีปริมาณเยื่อใยอยู่ในปริมาณสูงประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การย่อยได้ของสัตว์ลดลง จึงไม่นิยมใช้เป็นอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว (อุทัย, 2529; Ahmad, 1985) นอกจากนี้ ปัญหาสำคัญ 2 ประการในการนำใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (Hair-Bejo et al., 1995) คือ

1) มีน้ำมันตกค้างอยู่ในกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันสูง และปริมาณของทองแดง (cupper, Cu) ในกรณีที่ปริมาณน้ำมันตกค้างมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดกลิ่นหืน (rancidity) ทำให้มีรสชาติไม่น่ากิน สัตว์จะปฏิเสธการกิน และ 2) ระดับของทองแดงที่สูงสามารถก่อให้เกิดพิษต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็กโดยเฉพาะแกะ อย่างไรก็ตาม ความเป็นพิษของทองแดงในสัตว์ใหญ่ (large ruminants) เช่น โค และกระบือยังไม่ชัดเจน

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า โค และกระบือที่ได้รับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นอาหารเสริม หรืออาหารหลักช่วยเพิ่มสมรรถภาพการเจริญเติบโต (Hutagalung and Mahyuddin, 1985) สอดคล้องกับ Hair-Bejo et al. (1995) รายงานว่า กระบือที่ได้รับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเต็มที่ (100% PKC) มีระดับของ Cu และ Zn สะสมในตับ และ adrenal cortex มากกว่ากระบือกลุ่มที่ได้รับอาหารปกติ 2 เท่า แต่ไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต หรืออัตราการตายของสัตว์

2.2.5 บทบาทของปาล์มน้ำมันและผลพลอยได้เป็นอาหารสัตว์

การผลิตปศุสัตว์ในประเทศไทย โดยเฉพาะ การเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้แก่ โคเนื้อโคนม กระบือแพะ และแกะซึ่งมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งปัจจัยที่มีส่วนอย่างยิ่งต่อการเพิ่มศักยภาพการผลิตคือ ปัจจัยทางด้านอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยมีวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีโปรตีนสูง และคุณภาพดีค่อนข้างจำกัด และมีไม่เพียงพอ ดังนั้น การศึกษาวิจัยและพัฒนาใช้ทรัพยากรอาหารในระบบเกษตรกรรมที่มีศักยภาพในท้องถิ่น (potential local feed resources) ภายในประเทศจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เช่น กากปาล์ม และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพการนำใช้ผลผลิตและผลพลอยได้ทั้งระบบให้เกิดประโยชน์สูงสุด

พิชัย (2534) ศึกษาการใช้อาหารข้นที่มีส่วนประกอบของกากปาล์มน้ำมันระดับ 0, 15, 30 และ 45 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ในแพะลูกผสมเพศผู้ตอนหลังหย่านม โดยได้รับฟางข้าวหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นอาหารพื้นฐาน พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งลดลง เมื่อมีการเพิ่มระดับของกากปาล์มน้ำมันในอาหารข้นสูงขึ้น ส่วนอัตราการเจริญเติบโต และเปอร์เซ็นต์ซากของแพะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่เมื่อพิจารณาต้นทุนค่าอาหารพบว่า แพะที่ได้รับฟางหมักเสริมด้วยอาหารข้นที่ไม่ผสมกากปาล์มน้ำมันใช้ต้นทุนสูงที่สุดคือ 12.57 บาทต่อน้ำหนักเพิ่ม 1 กิโลกรัม ส่วนแพะที่ได้รับฟางหมักเสริมด้วยอาหารข้นที่มีส่วนประกอบของกากปาล์มน้ำมัน 15, 30 และ 45 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุน 9.08, 10.00 และ 8.76 บาทต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้น ในการเลี้ยงแพะลูกผสมหลังหย่านมโดยใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นอาหารหยาบหลัก จึงแนะนำให้ใช้อาหารข้นที่มีกากปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารเนื่องจากมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าการเสริมกากปาล์มน้ำมันระดับอื่นๆ ในอาหารข้น ซึ่งสอดคล้องกับ สุมิตรา (2543) ศึกษาการใช้เศษเหลือจากรวงข้าวเสริมกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันที่ระดับ 0, 15, 30 และ 45 เปอร์เซ็นต์ หมักยูเรียเลี้ยงแพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน พบว่าแพะที่ได้รับเศษเหลือจากรวงข้าวเสริมกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์หมักด้วยยูเรียมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมน สูงสุด (62.02 เปอร์เซ็นต์)

สายันต์ (2547) ศึกษาการใช้อาหารข้นที่ประกอบด้วยกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันระดับ ต่างๆ ร่วมกับเศษเหลือจากรวงข้าวหมักยูเรียเสริมกากน้ำตาลในอาหารแพะเพศผู้ลูกผสม (พันธุ์พื้นเมืองไทย x พันธุ์แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์) โดยให้แพะได้รับเศษเหลือจากรวงข้าวหมักยูเรีย 6 เปอร์เซ็นต์ เสริมกากน้ำตาล แบบเต็มที่ (*ad libitum*) เสริมด้วยอาหารข้นที่ประกอบด้วยกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว พบว่าปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอาหารที่กินได้ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว พบว่าแพะกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันมีปริมาณอาหารที่กินได้เฉลี่ย 2.86 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว สูงกว่าที่ได้รับอาหารข้นที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตของแพะที่ได้รับอาหารข้นที่ประกอบด้วยกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน 0 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 29.78 และ 27.56 กรัมต่อตัวต่อวัน สูงกว่าแพะที่ได้รับอาหารข้นที่ประกอบด้วยกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (24.00, 19.72 และ 18.00 กรัมต่อวัน ตามลำดับ) ดังนั้น การนำเศษเหลือจากรวงข้าวหมักยูเรีย 6 เปอร์เซ็นต์เสริมกากน้ำตาล มาใช้เป็นอาหารหยาบพื้นฐานในการเลี้ยงแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้หลังหย่านมเสริมด้วยอาหารข้นที่ประกอบด้วยกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันนั้น ควรใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร

2.3 แนวทางการพัฒนาและการเพิ่มคุณภาพในโภชนะของอาหารสัตว์โดยกระบวนการหมัก

เนื่องจากจุลชีววิทยาอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยอาศัยกระบวนการหมักซึ่งเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ดังนั้น จึงควรรู้จักที่มาและความหมายของคำว่า "การหมัก" substrate+microorganism = product ในอุตสาหกรรมซึ่งใช้จุลินทรีย์เป็นตัวจักรกลในการผลิต ใช้วัตถุดิบ และเปลี่ยนวัตถุดิบไปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยที่ผลิตภัณฑ์นั้นอาจเป็นผลิตภัณฑ์ที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นใหม่ (Vlavon, 1988) ในรูปแบบการผลิตเซลล์จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญทางการค้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์คือ จุลินทรีย์ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนสำหรับมนุษย์และสัตว์ (single cell protein, SCP) และจุลินทรีย์ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นเชื้อเริ่มต้น (microbial inoculant) ในกระบวนการหมักอาหารหรือใช้ในด้านการเกษตร การบำบัดน้ำเสียและอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำ ยีสต์ที่ใช้ในการทำ เบียร์หรือยีสต์ขนมปังไปใช้เป็นแหล่งวิตามิน และเกลือแร่ในทางการแพทย์ แ ละการผลิตสารสกัดจากยีสต์ขนมปังเพื่อใช้เป็นสารให้กลิ่นรสและเป็นแหล่งของวิตามินอีกด้วย single cell protein หมายถึงจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารมนุษย์หรือสัตว์ ซึ่งอาจอยู่ในรูปโปรตีนที่สกัดออกมาจากเซลล์แล้ว หรืออาจอยู่ในรูปเซลล์จุลินทรีย์ทั้งเซลล์ก็ได้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเริ่มมีการใช้คำว่า microbial biomass protein (MBP) เข้ามาแทน ที่ SCP เพื่อให้ครอบคลุมฟังไจซึ่งเป็นจุลินทรีย์หลายเซลล์ด้วย (ดุษณี, 2537) สำหรับในประเทศไทยได้มีการศึกษาวิจัยกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำเพื่อนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตาม กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมีองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนที่มีคุณภาพค่อนข้างต่ำ และมีเยื่อใยอยู่สูง จึงได้มีแนวคิดการพัฒนาวิธีการใช้ประโยชน์จากกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำโดยกรรมวิธีการหมักเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนจากเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญระหว่างการหมักซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้มากขึ้น และมีต้นทุนการผลิตที่ไม่สูง แต่ข้อมูลมีจำกัด

มีการรายงานถึงกระบวนการหมักของคาร์โบไฮเดรต โดยอาศัยจุลินทรีย์สามารถเพิ่มโปรตีนและกำจัดพิษของกรดไฮโดรไซยานิกในมันสำปะหลัง (Tewe, 1991) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Reade and Gregory (1975) ที่มีการเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังโดยอาศัยเทคนิคการหมักในสภาพอาหารเหลว (submerged fermentation) โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ดังต่อไปนี้ *Cladosporium eladosporoids*, *Candida utilis* และ *Cephalosporium eichhorniac* ในการหมักมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มโปรตีนโดยใช้เชื้อรา *Trichoderma harzianum* เนื่องจากมีเอนไซม์ที่สามารถย่อยแป้งได้ดี นอกจากนี้ สภาวะของระบบการหมักในสภาพอาหารเหลวยังเอื้ออำนวยต่อการเจริญของจุลินทรีย์ประเภทเชื้อรา ซึ่งสามารถเพิ่มโปรตีนได้ถึง 30 % (Muindi and Hanssen, 1981) หลังจากนั้นได้มี การพัฒนาการหมักกรรมวิธีการหมักแบบแห้ง (solid-state fermentation) โดยในสภาวะของระบบการหมักแบบแห้งที่มีความชื้นจากสารอาหารในกระบวนการหมักที่ต่ำยังเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยแสดงให้เห็นถึงกระบวนการหมักแบบแห้งในเปลือกมันสำปะหลังภายในระยะเวลา 7 วัน สามารถเพิ่มโปรตีนได้ถึง 14.1 % (Antai and Mbongo, 1994)

2.4 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.4.1 นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีวิวัฒนาการและพัฒนาการที่มีความเฉพาะตัว โดยมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใย (dietary fiber) ซึ่งสัตว์ทั่วไปโดยเฉพาะสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน ซึ่งได้แก่แบคทีเรีย (bacteria) โปรโตซัว (protozoa) และเชื้อรา (fungi) ซึ่งในกระเพาะรูเมน ประกอบไปด้วยชนิดของแบคทีเรียที่สำคัญหลักอย่างน้อย 30 ชนิด (species) และมีความเข้มข้น 10^{10}-10^{12} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ของของเหลวในรูเมน มีโปรโตซัว 40 ชนิด (species) มีความเข้มข้น 10^{5}-10^{7} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ของของเหลวรูเมน และมีเชื้อรา 5 ชนิด (species) และมีเชื้อรา 5 ชนิด (species) และมีความเข้นข้นน้อยกว่า 10^{5} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ของเหลวในกระเพาะรูเมน ซึ่งพบว่าแบคทีเรียมีบทบาทและความสำคัญมากกว่าโปรโตซัวและเชื้อราต่ออัตราและขอบเขตของการย่อยสลายอาหารเยื่อใย การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดและจุลินทรีย์โปรตีน กรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดจะถูกดูดซึมผ่านพนังของรูเมนเป็นส่วนใหญ่ 85 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้เป็นแหล่งหลักของพลังงานส่วนจุลินทรีย์โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรทของจุลินทรีย์ตลอดจนส่วนของโภชนะของอาหารที่เหลือ จะไหลผ่านออกจากรูเมนเข้าสู่กระเพาะอาหารส่วนล่าง โดยเฉพาะที่ลำไส้เล็ก เพื่อการย่อยสลายและการดูดซึมใช้ในตัวสัตว์ต่อไป (Ghorbani et al., 2002)

นอกจากนี้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนยังสามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งโปรตีนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถใช้ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (non–protein nitrogen, NPN) โดยจุลินทรีย์จะทำงานได้ดีถ้าสภาพภายในกระเพาะรูเมนมีความเป็นกรด–ด่าง (rumen pH) ที่เหมาะสม คือ อยู่ในช่วง 6.5–7.0 และมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 39-40 องศาเซลเซียส ทำให้ทั้งแบคทีเรีย โปรโตซัวและเชื้อรา สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสมต่อการย่อยอาหาร (เมธา, 2533) จากการรายงานของ Satter and Slyter (1974) พบว่า นอกจากความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสมแล้ว ระดับแอมโมเนีย–ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนก็มีความสำคัญต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งระดับที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4–5 mg% ส่วน Song and Kennelly (1990) พบว่าระดับแอมโมเนีย–ไนโตรเจนที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 15–20 mg% ที่จะก่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายและกระบวนการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนที่เหมาะสม

2.4.2 เมแทบอลิซึมของโปรตีนในกระเพาะรูเมน

โปรตีนในอาหารมักประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) โปรตีนแท้ (true protein) เช่น insulin, globulin, albumin และ keratins เป็นต้น และ 2) ไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ (non protein nitrogen, NPN) มีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น กรดแอมิโนอิสระ กรดนิวคลิอิก เอไมด์ (amide) เอมีน (amine) และยูเรีย และเป็นสารอนิน-ทรีย์ เช่น แอมโมเนียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นต้น (เมธา, 2533) ซึ่งมีอัตราการย่อยสลายแตกต่างกัน พบว่าสาร NPN มีอัตราการสลายเร็วที่สุด

ซึ่งการย่อยและการเมทธาโบลิซึมของสารประกอบไนโตรเจนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Figure 2.4) ได้เป็น peptide กรดแอมิโน และแอมโมเนีย ต่อจากนั้นจะมีการสลายตัวกรดแอมิโนส่วนหนึ่งโดย

กระบวนการ deamination โดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ได้เป็นแอมโมเนีย และ α- keto acid (เมธา, 2533) แล้วจุลินทรีย์ หรือตัวสัตว์เองจะนำไปใช้ประโยชน์สังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน เมธา (2533) กล่าวว่า 80% ของไนโตรเจนของจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์โดยการใช้แอมโมเนีย ส่วนอีก 20% ใช้กรดแอมิโนโดยตรง ส่วน α-keto acid อาจถูกสลายตัวต่อไปเพื่อใช้ในการสร้างสารประกอบอื่นๆ หรือเป็นแหล่งพลังงาน เช่น acetic, propionic, butyric, iso-butyric และ iso-valeric เป็นต้น

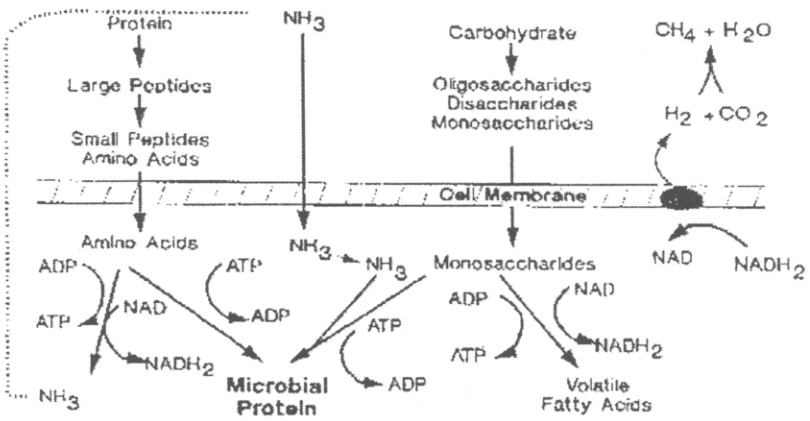


Figure 2.4 Utilization of protein and carbohydrates by rumen bacteria.
ที่มา: Nocek and Russell (1988)

2.4.3 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในรูปของโพลิแซ็กคาร์ไรด์ จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดียว เช่น กลูโคส หรือเพนโตส โดยผ่านวิถีต่างๆ จากนั้นกลูโคส หรือเพนโตสจะถูกหมักในกระเพาะรูเมนอย่างรวดเร็ว และถูกสังเคราะห์ไปเป็นกรดไพรูวิค (pyruvic acid) หรือไพรูเวท (pyruvate) ซึ่งเป็นตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดไขมันที่ระเหยได้ ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acids, VFAs) ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้าย (end-products) ที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซิติค (acetic acid, C_2) กรดบิวทีริค (butyric acid, C_4) กรดโพรพิออนิค (propionic acid, C_3) เป็นหลัก (Figure 2.5) และกรดวาลาริค (valeric acid, C_5) ไอโซวาลาริค (isovaleric acid) และไอโซบิวทีริก (isobutyric acid) อาจพบบ้างแต่ในปริมาณน้อย ซึ่งสัตว์จะดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป จากการศึกษาพบว่า น้ำตาลจะถูกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว รองลงมา คือแป้ง และพวกที่เป็นโครงสร้างของเซลพืช (เซลยูโลส และเฮมไมเซลยูโลส) ถูกเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด

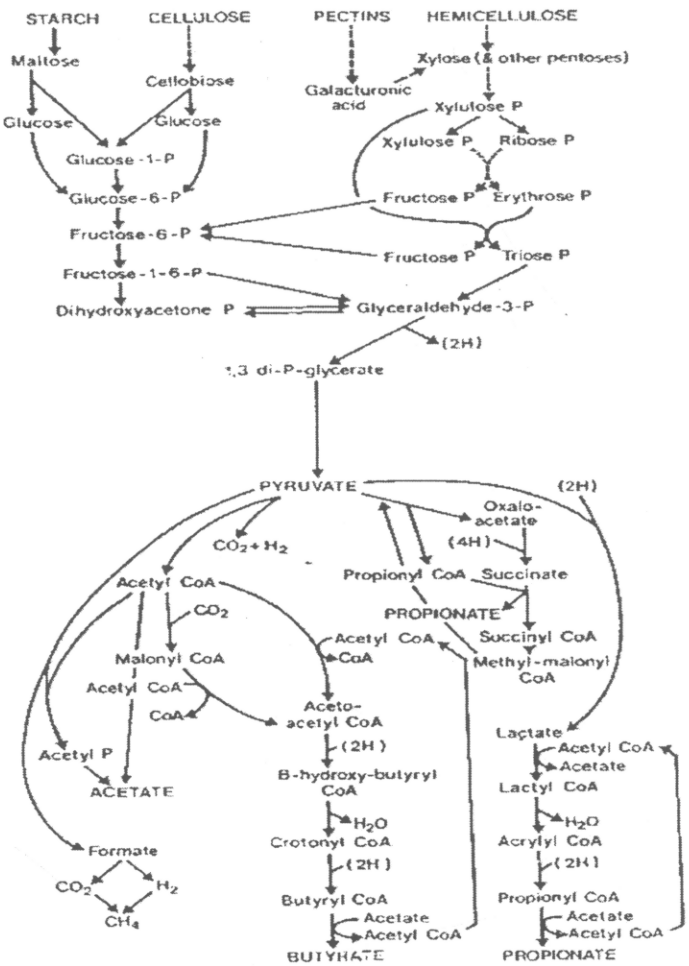


Figure 2.5 Outline of the pathways of carbohydrate in the rumen.
ที่มา: Preston and Leng (1987)

นอกจากนี้ยังมีแก๊ซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊ซเมทเธน (CH_4) และความร้อนมีประมาณ 20% (ME) ส่วนพลังงานที่ผลิตได้ในรูป ATP จากกระบวนการหมักในรูเมนถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ 1) ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ และ 2) ใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อการดำรงชีพ Nocek and Russell (1988) กล่าวว่า ตัวที่จำกัดการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ที่สำคัญคือพลังงาน ดังนั้นอาหารโคนมจึงต้องมีโภชนะพลังงานแก่จุลินทรีย์อย่างเพียงพอ และในสัดส่วนที่เหมาะสมกันจึงจะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.4.4 การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะรูเมนสังเคราะห์จากกรดแอมมิโน และเปปไทด์ที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีน หรือพวกที่อยู่ในรูปอิสระ อย่างไรก็ตาม พบว่าแอมโมเนียที่หมุนเวียนอยู่ภายในกระเพาะรูเมนเป็นแหล่งไนโตรเจนหลักในการสังเคราะห์โปรตีนเช่นกัน (Aharoni et al., 1991) และ Al-Rabbat et al. (1971) รายงานว่า 61 เปอร์เซ็นต์ ของจุลินทรีย์โปรตีนมาจากแอมโมเนีย และ 39 เปอร์เซ็นต์ มาจากกรดแอมมิโน และเปปไทด์ อย่างไรก็ตาม Maeng et al. (1976) รายงานว่า สัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแอมโมเนีย และกรดแอมิโนในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนคือ 75 เปอร์เซ็นต์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

และ 25 เปอร์เซ็นต์กรดแอมิโน-ไนโตรเจน นอกจากนี้ พลังงาน ATP ที่สัตว์ได้รับ ซึ่งได้จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมนก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน จุลินทรีย์โปรตีนเมื่อถูกย่อยสลายที่กระเพาะจริง และลำไส้เล็ก จะมีผลต่อองค์ประกอบของกรดแอมมิโนที่ได้ เนื่องจากจุลินทรีย์มีความสามารถในการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนในเซลล์ ฉลอง (2541) รายงานว่าปริมาณไนโตรเจนในจุลินทรีย์เท่ากับ 36-49 เปอร์เซ็นต์โปรตีน ซึ่ง 85 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดจะอยู่ในรูปของโปรตีนแท้ โปรตีนในตัวจุลินทรีย์เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง โดยโปรโตซัวมีการย่อยได้ดีกว่าแบคทีเรีย แม้ว่าค่า biological value (BV) ของโปรตีนของโปรโตซัว และแบคทีเรียจะไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อคิดเป็นค่า net protein utilization (NPU) พบว่าโปรโตซัวมีค่าสูงกว่าแบคทีเรีย

จากรายงานการวิจัยที่กล่าวมา ข้อมูลการผลิต และการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเพิ่มโปรตีนโดยกระบวนการหมักด้วยเชื้อยีสต์เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยเฉพาะในประเทศไทยยังมีจำกัด เหตุผลดังกล่าวจึงเป็นจุดประสงค์หลักของการพัฒนาการผลิตในด้านอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตในประเทศไทย โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นที่หาซื้อได้ง่าย และมีราคาถูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่น ตัวอย่างเช่น กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน ซึ่งนับได้ว่าเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทั่วไปในภาคใต้ และสามารถที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน และยังจัดได้ว่าเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของพลังงานที่ดี และมีราคาถูก

วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 การศึกษาการใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* หมักกากปาล์มและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นอาหารเสริมโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

1) กระบวนการผลิตกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์

กากปาล์มและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันที่ใช้ในงานทดลองนี้ได้มาจากโรงงานหีบปาล์มน้ำมันในภาคใต้ เชื้อที่ใช้ในการศึกษาครั้งใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* (บริษัท เบอร์ลี่สเปเชียลตี้ส์ จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย) การเพิ่มคุณภาพของโปรตีนเมล็ดปาล์มน้ำมันจากงานทดลองนี้เริ่มตั้งแต่ การนำกากปาล์มและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันจากโรงงาน มาทำการหมักร่วมกับยีสต์ *S. cerevisiae* โดยนำเชื้อยีสต์นี้ไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (liquid media) เป็นเวลา 60 ชั่วโมง และนำเชื้อยีสต์ที่เจริญเติบโตในอาหารเหลวในอัตราที่เหมาะสมไปหมักแบบกึ่งแห้ง (solid media) ร่วมกับกากปาล์มและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อดำเนินกระบวนการหมักเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ไปตากแดดเป็น 3 วัน เพื่อเก็บไว้ใช้เป็นแหล่งของโปรตีนต่อไป

2) กระบวนการหมัก (ดัดแปลงจาก Antai, 1990; Oboh and Akindahunsi, 2003)

2.1 การเตรียมเชื้อยีสต์

กระตุ้นหัวเชื้อยีสต์ โดยใช้ผงยีสต์ : น้ำ : น้ำตาล อัตรา 20:100:20 ผสมให้เข้ากันและวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ทำการปรับ pH 4.5-5 จากนั้นนำไปผสมอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งประกอบด้วย กากน้ำตาล : ยูเรีย : น้ำ อัตรา 24:72:100 ในอัตรา 1:1 (อาหารเลี้ยงเชื้อ : หัวเชื้อยีสต์) แล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 ชั่วโมง

2.2 กระบวนการหมัก

นำเชื้อที่เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อ มาหมักร่วมกับกากปาล์มและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันโดยใช้กระบวนการหมักแบบกึ่งแห้งเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

3) แผนการทดลองและกลุ่มการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 2 x 2 factorial experiment in a completely randomized design (CRD) โดยศึกษาถึงปัจจัยหลัก 2 ชนิด 1. แหล่งของวัตถุดิบ จะแบ่งเป็น 2 ปัจจัยย่อย 1) กากปาล์ม 2) กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน และ 2. กระบวนการเพิ่มคุณค่าของโภชนะ ซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัยย่อย 1) เติมเชื้อที่เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อ และ 2) เติมอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปราศจากเชื้อยีสต์ โดยแต่ละปัจจัยการทดลองมี 4 ซ้ำ

4) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ ดังนี้ วัตถุแห้ง (dry matter, DM) เถ้า (Ash) ไขมัน (ether extract, EE) โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) โดยวิธีของ AOAC (1990) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกละลายที่เป็นกรด (acid detergent fiber,

ADF) โดยวิธีของ Van Soest et al. (1991) และวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมและฟอสฟอรัสโดยใช้เครื่อง Spectrophotometric (model 372)

5) วิเคราะห์ผลข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน ทางสถิติโดย General Linear Model (GLM) ตามแผนการทดลอง 2 x 2 factorial experiment in a completely randomized design โดยใช้ Proc GLM และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีของ Steel and Torrie (1980) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

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

Y_{ij} = ค่าสังเกตจากทรีทเมนต์ (combination) ที่ i, j ซ้ำที่ k เมื่อ k =1, ...,r

μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมด

α_i = อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยจากแหล่งของวัตถุดิบ (A) ที่ i เมื่อ i = 1,...., a

β_j = อิทธิพลเนื่องจากกระบวนการเพิ่มคุณค่าของโภชนะ (B) ที่ j เมื่อ j = 1,...., b

$\alpha\beta_{ij}$= อิทธิพลร่วมเนื่องจากแหล่งของวัตถุดิบ (A) และกระบวนการเพิ่มคุณค่าของโภชนะ (B) ที่ระดับ ij

ε_{ij}= Error

6) สถานที่ทำการวิจัย

6.1 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

6.2 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์จุลินทรีย์ ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

6.3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การทดลองที่ 2 ผลของการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารข้นต่อกระบวนการหมัก และความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะในแพะ

สัตว์ทดลอง และการจัดการ

สัตว์ทดลอง ใช้แพะลูกผสมพื้นเมืองไทยเพศผู้ (พื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 5 ตัว แพะเหล่านี้มีอายุเฉลี่ยประมาณ 15-16 เดือน และมีน้ำหนักเฉลี่ย 25±1 กิโลกรัม โดยเลี้ยงในคอกขังเดี่ยวยกพื้น จำนวน 5 คอก ภายในคอกมีรางน้ำ รางอาหารข้น และอาหารหยาบแยกจากกัน ในช่วงปรับสัตว์ก่อนเข้างานทดลองได้ทำการฉีดยาถ่ายพยาธิภายนอก และภายใน โดยใช้ยาถ่ายพยาธิไอเวอร์เมกติน ((Ivermectin, IDECTIN®, The British Dispensary, Co., Ltd.) อัตราการใช้ยา 2 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว 50 กิโลกรัม และฉีดไวตามิน เอดีอี (AD$_3$E) อัตราการใช้ยา 2 มิลลิลิตร ต่อตัวทุกตัว นอกจากนี้ ได้ทำการฉีดวัคซีนเพื่อป้องกันโรคติดต่อที่สำคัญ ได้แก่ วัคซีนโรคคอบวม โรคปากและเท้าเปื่อย และโรคอื่นๆ อย่างใกล้ชิดในระหว่างการทดลอง

แผนการทดลอง และกลุ่มทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 5x5 Latin square design โดยให้ช่วงเวลาการทดลอง (period) เป็นแถว (row) และสัตว์ทดลองเป็นคอลัมน์ (column) ซึ่งมีทรีทเมนต์ (treatment) ที่ใช้ในศึกษาถึงการทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองด้วยกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้น จำนวน 5 ทรีทเมนต์ และใช้หญ้าพลิแคททูลั่มแห้งเป็นอาหารหยาบหลัก ดังนี้

ทรีทเมนต์ที่ 1) อาหารข้นที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ 0% ของกากถั่วเหลือง (T1)

ทรีทเมนต์ที่ 2) อาหารข้นที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ 25% ของกากถั่วเหลือง (T2)

ทรีทเมนต์ที่ 3) อาหารข้นที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ 50% ของกากถั่วเหลือง (T3)

ทรีทเมนต์ที่ 4) อาหารข้นที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ 75% ของกากถั่วเหลือง (T4)

ทรีทเมนต์ที่ 5) อาหารข้นที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ 100% ของกากถั่วเหลือง (T5)

โดยสุ่มให้แพะแต่ละตัวได้รับอาหารตามที่กำหนดในการทดลอง ได้แบ่งระยะเวลาการทดลองออกเป็น 5 ช่วงการทดลอง (periods) แต่ละช่วงใช้เวลา 21 วัน ประกอบด้วยระยะปรับตัวสัตว์ 14 วัน และระยะเก็บข้อมูล 7 วัน รวมระยะเวลาทั้งหมด 105 วัน แพะทดลองทุกตัวได้รับปัจจัยในการทดลองจนครบทุกกลุ่มอาหารทดลอง

อาหาร และการเตรียมอาหารทดลอง

1. อาหารหยาบ

ใช้หญ้าพลิแคททูลั่มแห้งของสถานีพัฒนาอาหารสัตว์จังหวัดสตูลเป็นอาหารหยาบหลัก โดยให้สัตว์ได้กินอาหารหยาบอย่างเต็มที่ (*ad litibum*)

2. อาหารข้น

อาหารข้นที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอาหาร 5 สูตร โดยใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์เป็นแหล่งของโปรตีนทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารในระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100 % (Table 3.1) อาหารข้นทั้ง 5 สูตรมีระดับโภชนะต่างๆ ตามความต้องการของแพะตามคำแนะนำของ NRC (1981) แพะทุกตัวถูกขังในคอกขังเดี่ยวได้รับอาหารข้น 2% ของน้ำหนักตัว (% DM basis) แบ่งให้กิน 2 ครั้ง เวลา 8.00 และ 16.00 น. สัตว์จะได้รับการปรับกับอาหารทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ก่อนที่สุ่มเก็บตัวอย่างตลอดการทดลองมีน้ำสะอาดและแร่ธาตุก้อนให้แพะกินอย่างอิสระ

วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

1. ระยะปรับตัว (adaptation period) เป็นช่วงที่ฝึกให้สัตว์มีความคุ้นเคยกับสภาพการทดลองและอาหารก่อนเข้าสู่การทดลองจริง ใช้ระยะเวลา 14 วัน ทำการสุ่มสัตว์ทดลองตามแผนการทดลองแบบ 5x5 ลาตินสแควร์ โดยแพะแต่ละตัวอยู่ในคอกเดี่ยว มีรางอาหาร และที่ให้น้ำอยู่ด้านหน้าให้ดื่มน้ำได้ตลอดเวลา ให้แพะได้รับอาหารวันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 08.00 นาฬิกา และ 16.00 นาฬิกา โดยให้อาหาร

แบบเต็มที่ (*ad libitum*) ทำการวัดปริมาณอาหารที่กินได้ในแต่ละวัน (voluntary feed intake) โดยชั่งอาหารที่ให้ และอาหารที่เหลือทั้งในช่วงเช้าและช่วงเย็นของวันถัดไป

Table 3.1 Ingredient and chemical composition of goat rations (% DM basis).

Composition	Dietary treatment (% YFPKC levels in concentrate)[1]				
Replaced soybean meal, %DM basis	T1(0)	T2(25)	T3(50)	T4(75)	T5(100)
Fermented palm cake kernel levels, %DM basis	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00
Ingredients, %					
Ground corn, GC	60.00	50.00	50.00	52.87	50.00
Broken rice bran, BR	13.00	23.00	22.95	20.00	22.81
Soybean meal, SM	20.00	15.00	10.00	5.00	0.00
Yeast fermented palm cake kernel, YFPCK	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00
Urea	-	-	0.05	0.11	0.19
Molasses	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Salt	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dicalcium phosphate	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mineral and vitamin mix [2]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	100	100	100	100	100
Estimated values (total diet)					
CP (%)	15.09	15.06	15.00	15.00	15.00
TDN (%)	80.88	80.21	80.81	80.45	80.11
ME Mcal/kg DM[3]	2.92	2.90	2.92	2.91	2.90

[1] T_1 = Level of YFPKC 0%, T_2 = Level of YFPKC 5%, T_3 = Level of YFPKC 10%, T_4 = Level of YFPKC 15%, T_5 = Level of YFPKC 20%.

[2] Minerals and vitamins (each kg contains): Vitamin A: 10,000,000 IU; Vitamin E: 70,000 IU; Vitamin D: 1,600,000 IU; Fe: 50 g; Zn: 40 g; Mn: 40 g; Co: 0.1 g; Cu: 10 g; Se: 0.1 g; I: 0.5 g.

[3] Estimated: metabolizable energy (ME) = TDN*0.04409*0.82. (NRC, 1996)

2. ระยะทดลอง (experimental period) เป็นระยะเก็บข้อมูลใช้ระยะเวลา 7 วัน โดยในระยะนี้สัตว์อยู่บนกรงเมแทบอลิซึม (metabolism crate) ทำการปรับสัตว์ให้มีความคุ้นเคยกับกรงเป็นเวลา 2 วันแรก และในช่วง 5 วันหลัง ทำการเก็บตัวอย่างอาหาร มูลและปัสสาวะติดต่อกันในช่วง 5 วันของแต่ละช่วงการทดลอง ตามวิธีการเก็บแบบทั้งหมด (total collection) (Schnieder and Flatt, 1975) และทำการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักและเลือด ในช่วงวันที่ 21 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง ในการให้อาหารให้ตามกลุ่มทดลองเหมือนช่วงปรับสัตว์ แต่ให้เพียง 90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการกินได้ทั้งหมดในช่วงระยะปรับสัตว์ เพื่อให้สัตว์ทดลองกินอาหารหมดตามสัดส่วนที่กำหนดในกลุ่มทดลอง

การเก็บตัวอย่างและการเก็บข้อมูล

1. การเก็บตัวอย่างอาหาร และการหาปริมาณการกินได้

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารหยาบ อาหารข้นอาหารที่เหลือ เก็บในปริมาณอย่างละ 500 กรัม ทุกวันที่ 1, 14 และ 21 ของแต่ละช่วงการทดลอง หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง โดยนำมาปรับการกินได้ของสัตว์และอีกส่วนหนึ่งจะสุ่มเก็บจากแต่ละช่วงการทดลอง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48-72 ชั่วโมง และนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เช่น วัตถุแห้ง (Dry matter, DM) โปรตีนหยาบ (Crude Protein, CP) เถ้า (Ash) ตามวิธีการของ AOAC (1990) และวิเคราะห์ neutral detergent fiber (NDF) และ acid detergent fiber (ADF) ตามวิธีการของ Van Soest et al. (1991)

2. การชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลอง

ทำการชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองเป็นจำนวน 3 ครั้งในแต่ละช่วงการทดลองคือครั้งที่ 1 ชั่งก่อนเข้างานทดลอง เป็นช่วงก่อนเข้าระยะปรับสัตว์ทดลองช่วงการทดลองที่ 1 ชั่งครั้งที่ 2 หลังจากปรับสัตว์และจะนำสัตว์ขึ้นกรงเมทธาโบลิซึม และครั้งที่ 3 หลังจากเสร็จการทดลองในแต่ละช่วงการทดลอง คือ หลังจากเก็บตัวอย่างบนกรงเมทธาโบลิซึม ทำการจดบันทึก ตลอดจนกระทั่งเสร็จการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของสัตว์ทดลอง

3. การสุ่มเก็บตัวอย่างมูล

ชั่งและบันทึกน้ำหนักมูลที่ขับออกมาทั้งหมดในแต่ละวัน ในช่วงเช้าก่อนให้อาหาร ทำการคลุกมูลทุกส่วนให้เข้ากันและแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 สุ่มเก็บประมาณ 100 กรัม นำไปอบในตู้อบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งของมูลที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวัน

ส่วนที่ 2 สุ่มเก็บไว้ประมาณ 5% ของน้ำหนักมูลทั้งหมดในแต่ละวัน นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง หรืออบจนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักและเก็บใส่ถุงไว้ ทำเช่นนี้จนครบ 6 วัน นำมูลทั้งหมดมาคลุกให้เข้ากัน ทำการสุ่มเก็บอีกครั้งประมาณ 5% นำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี และคำนวณหาค่าการย่อยได้ตามวิธีการของ Schnieder and Flatt (1975)

4. การสุ่มเก็บตัวอย่างปัสสาวะ

ทำการเก็บในช่วงสัตว์อยู่บนกรงเมทธาโบลิซึม โดยทำการเก็บติดต่อกัน 5 วันในช่วงสุดท้ายของระยะเก็บตัวอย่างใช้วิธีการเก็บแบบทั้งหมด โดยใช้ถังพลาสติกขนาดความจุ 1 ลิตร ซึ่งมีถาดรูปกรวยวางไว้บนถังพลาสติกคอยรองรับปัสสาวะตลอดเวลา ในถังเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10% (10% H_2SO_4) ประมาณ 80-100 มิลลิลิตร เพื่อปรับให้ pH ของปัสสาวะมีค่าอยู่ระหว่าง 2-3 (หรือเติมซัลฟูริคเข้มข้น 1:10 ส่วน) ทั้งนี้เพื่อหยุดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่จะเข้าไปย่อยสลายไนโตรเจนในปัสสาวะ ทำการวัดปริมาตรทั้งหมดที่ได้ในแต่ละวันและทำการสุ่มเก็บไว้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของปัสสาวะทั้งหมด เพื่อนำไปรวมกับวันที่ 2, 3, 4 และ 5 แล้วทำการสุ่มอีกครั้งประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที เก็บเฉพาะส่วนใสนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในปัสสาวะ

5. การวัด และการสุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมน

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะหมัก (rumen fluid) ของสัตว์ทดลองแต่ละกลุ่มทดลอง โดยสัตว์จะอยู่บนกรงเมทธาโบลิซึมที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงของการให้อาหาร โดยวิธีการใช้ stomach tube ร่วมกับ vacuum pump ของวันสุดท้ายของแต่ละระยะทดลองปริมาณ 100 มล. นำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่างทันที โดยใช้ pH meter (HANNA instruments HI 98153 microcomputer pH meter) และหลังจากนั้นแบ่งของเหลวจากกระเพาะหมักออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 สุ่มเก็บประมาณ 20 มิลลิลิตร เติม 1 M H_2SO_4 ปริมาตร 1 มิลลิลิตรต่อของเหลวจากรูเมน 10 มิลลิลิตร เพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาเฉพาะส่วนที่ใส (supernatant) เก็บไว้ประมาณ 10-15 มิลลิลิตร นำไปเก็บในตู้แช่แข็งอุณหภูมิประมาณ –20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen, NH_3-N) วิธีการกลั่น (Bremner and Keeney, 1965) โดยใช้เครื่อง KJELTEC AUTO 1030 Analyzer และของเหลวอีกส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์หากรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid, TVFA) และกรดไขมันที่ระเหยได้ที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซีติก (acetic acid, C_2) กรดโพรพิออนิก (propionic acid, C_3) และกรดบิวทีริก (butyric acid, C_4) โดยใช้เครื่อง HPLC (Hewlett Packard) ประกอบด้วย water 510 pump (Millipore), UV Detector 210nm., ODS reverse phase column (5μ, 40x250mm) ดัดแปลงตามวิธีการของ Samuel et al. (1997)

ส่วนที่ 2 ทำการสุ่มเก็บ 1 มิลลิลิตร เติม 10% formaldehyde 9 มิลลิลิตร เพื่อนำไปตรวจนับประชากรจุลินทรีย์ (total direct count) ได้แก่ แบคทีเรีย (bacteria) โปรโตซัว (protozoa) และเชื้อรา (fungi) โดยใช้ Haemacytometer ขนาด 400 ช่อง (haemacytometer มีขนาด ก x ย x ล = 1x1x0.1 mm) โดยทำการนับแบคทีเรีย 20 ช่องเล็กในแนวทะแยงมุม โดยนับ 2 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ยตามวิธีการของ Galyean (1989) ส่วนโปรโตซัวและเชื้อราทำการนับ 1 ช่องใหญ่ โดยทำการนับทั้งหมด 25 ช่องกลาง โดยทำการนับโปรโตซัวและ zoospores ในการนับใช้กล้องจุลทรรศน์ (Olympus BX51TRF, No. 2B04492, Olympus optical Co. Ltd., Japan) ใช้กำลังขยายดังนี้ แบคทีเรีย และเชื้อราใช้กำลังขยาย 400 เท่า (40x) โปรโตซัวใช้กำลังขยาย 100 เท่า (10x) ทำการนับ 2 ซ้ำ เช่นเดียวกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยของประชากร

6. การเก็บตัวอย่างเลือด

เก็บตัวอย่างเลือดก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังให้อาหาร 4 ชั่วโมง ในวันสุดท้ายของการเก็บข้อมูล โดยเก็บตัวอย่างเลือดจากเส้นเลือดดำใหญ่บริเวณคอ (jugular vein) ประมาณ 3 มิลลิลิตร เพื่อนำมาวิเคราะห์หาระดับยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen, BUN) เป็นต้น

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าแห้ง อาหารข้น และมูล ได้แก่ วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม และเถ้า โดยวิธี Proximate analysis (AOAC, 1990) สำหรับการวิเคราะห์ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส โดยวิธี Detergent method ของ Van Soest et al. (1991) การ

วิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในของเหลวในกระเพาะรูเมน โดยวิธีการกลั่น ตามวิธีการของ Bremner and Keeney (1965) การวิเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ เช่น กรดแอซิติก กรดโพรพิออนิค และบิวทีริก โดยใช้เครื่อง HPLC ตามวิธีการของ Samuel et al. (1997) การวิเคราะห์หาระดับยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสม่า โดยวิธีการ Urea two steps enzymatic colorimetric test โดยใช้น้ำยาสำเร็จรูป Urea liquicolor

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) ตามแผนการทดลอง 5x5 Latin square design โดยใช้ Proc GLM (SAS, 1990) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan' s Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980) ดังสมการต่อไปนี้

$Y_{ijk} = \mu + M_i + A_j + P_k + \varepsilon_{ijk}$

M_k = Treatments

A_j = animals

P_j = Periods

ε_{ijk} = Errror

สถานที่ทำการทดลอง และเก็บข้อมูล

1. หมวดแพะ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
3. โรงผสมอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
4. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ระยะเวลาทำการวิจัย

ใช้เวลาทดลอง 1 ปี ตั้งแต่เดือน มีนาคม 2553 - เดือนมิถุนายน 2554

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลจากการทดลองที่ 1 การศึกษาการใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* หมักกากปาล์มและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นอาหารเสริมโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากปาล์มและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์

จากผลขององค์ประกอบทางเคมีจากกระบวนการผลิตกากปาล์ม (palm kernel with coat) และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (palm kernel cake) หมักยีสต์ แสดงให้เห็นดัง Table 4.1 พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมของกระบวนการหมักและชนิดกากปาล์ม แต่ชนิด และกระบวนการหมักมีผลโดยตรงต่อปริมาณโปรตีนในกากปาล์มและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ดังนั้น การหมักด้วยเชื้อยีสต์สามารถเพิ่มโปรตีนหยาบได้ถึง 33.62 และ 41.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบกับกลุ่มกากปาล์มและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่ไม่ใช้กระบวนการหมัก ขณะที่ ค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง (DM) เถ้ารวม อินทรียวัตถุ (OM) ไขมัน (EE) ผนังเซลล์ (NDF) และเซลยูโลลิกนิน (ADF) มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งโปรตีนหยาบที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากเซลล์จุลินทรีย์ (single cell protein, SCP) โดยแหล่งของโปรตีนดังกล่าว เกิดจากกระบวนการหมักเพื่อเพิ่มโปรตีนโดยเชื้อยีสต์ *Saccharomyce cerevisiae* (Tewe, 1991) ซึ่งในงานทดลองนี้มาจากเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae*

Table 4.1 Chemical composition of fermented palm kernel cake, oil palm meal, palm kernel cake and Yeast powder (% DM basis).

Chemical composition	Palm kernel with coat		Palm kernel cake		SEM	P-value[3]			Palm kernel with coat	Palm kernel cake	Yeast powder
	UF[1]	F[2]	UF[1]	F[2]		PM	F	PMxF			
DM[4]	88.36	88.17	88.45	88.61	0.67	NS	NS	NS	94.30	93.88	95.90
OM	95.30	96.22	96.01	96.12	0.54	NS	NS	NS	93.00	95.48	93.44
Ash	4.70	3.78	3.99	3.88	0.72	NS	NS	NS	7.00	4.52	6.56
CP	32.08^{d}	33.62^{c}	40.54^{b}	41.67^{a}	0.21	**	**	NS	10.10	17.32	46.97
EE	8.67^{a}	8.81^{a}	5.36^{b}	5.40^{b}	0.20	*	NS	NS	11.80	5.02	3.12
NDF	48.98	48.84	47.25	47.98	0.98	NS	NS	NS	67.20	67.20	-
ADF	32.65	31.62	32.21	32.50	0.76	NS	NS	NS	44.63	44.63	-
Ca	0.44	0.46	0.35	0.38	0.18	NS	NS	NS	0.47	0.37	-
P	0.35	0.37	0.58	0.56	0.25	NS	NS	NS	0.37	0.56	-

[1] UF = unfermentation with yeast, [2] F = fermentation with yeast

[a-d] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different ($P<0.05$).

* $P<0.05$; ** $P<0.01$., [3]PM= type of oil palm, F= fermentation, PMxF= Interaction of PM and F., [4]DM: dry matter; OM: organic matter; CP: crude protein; EE: ether extract; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber.

ทำนองเดียวกับการทดลองของ Akindahunsi et al. (1999) ที่ศึกษาถึงผลของเชื้อรา (*Rhizopus oryzae*) หมักกับมันสำปะหลัง พบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังจาก 2.1 เป็น 10.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใช้กระบวนการหมัก และ Oboh (2006) ศึกษาการนำเศษเหลือทางการเกษตรของมันสำปะหลังคือ ส่วนของเปลือกมันสำปะหลังมาหมักร่วมกับเชื้อ *S. cerevisiae* และ *Lactobacillus sp.*โดยศึกษาเปรียบเทียบร่วมกับไม่มีกระบวนการหมัก กระบวนการหมักจากเชื้อที่มาจากธรรมชาติและเชื้อที่มีการพัฒนาสายพันธุ์ พบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนในเปลือกมันสำปะหลังได้ 8.2, 11.1 และ 21.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ โปรตีนหยาบที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งอาจมาจากอาหารเลี้ยงเชื้อยีสต์ ซึ่ง

ประกอบด้วย กากน้ำตาล : ยูเรีย : น้ำ อัตรา 24:72:100 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* หมักกากปาล์ม และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นอาหารเสริมโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใหม่ ยังไม่มีรายงานขององค์ประกอบทางเคมีมาก่อน

4.2 ผลจากการทดลองที่ 2 ผลของการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารข้นต่อกระบวนการหมัก และความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะในแพะ

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีในอาหารทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของโภชนะต่างๆ ได้แสดงดัง Table 4.2 ผลจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาส่วนประกอบของอาหารข้นทั้ง 5 ทรีทเมนต์มีองค์ประกอบทางเคมีเฉลี่ยดังนี้ มีวัตถุแห้ง (DM) 85.23 เปอร์เซ็นต์ และมีอินทรียวัตถุ (OM) 93.58 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง เถ้า (ash) 6.41 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ (CP) 15.37 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ไขมัน (EE) 4.98 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ผนังเซลล์ (NDF) หรือเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกละลายที่เป็นกลาง 23.05 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และเซลยูโลลิกนิน (ADF) หรือเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกละลายที่เป็นกรด 7.82 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง เมื่อพิจารณาค่าไขมัน ผนังเซลล์ และเซลยูโลลิกนินพบว่า มีค่าแตกต่างกัน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ซึ่งความแตกต่างของสูตรอาหารอาจเนื่องมาจากความแตกต่างของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร

Table 4.2 Chemical composition of the experimental diets and plicatulum hay (% DM basis).

Chemical composition	Dietary treatment (% YFPKC levels in concentrate)[1]					Plicatulum hay
Replaced SBM	T1(0)	T2(25)	T3(50)	T4(75)	T5(100)	
FPKC levels,	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00	
DM [2]	85.92	84.17	85.81	84.58	85.67	92.35
Ash	6.45	6.55	6.13	6.43	6.53	8.37
OM	93.55	93.45	93.87	93.57	93.47	91.63
CP	15.56	15.20	15.42	15.36	15.33	3.42
EE	3.96	4.22	4.17	4.74	5.82	0.72
NDF	17.96	20.49	23.51	25.62	27.70	81.38
ADF	5.97	7.03	8.00	8.69	9.44	50.02

T_1 = Level of Yeast fermented palm cake kernel (YFPKC) 0%, T_2 = Level of YFPKC 5%, T_3 = Level of YFPKC 10%, T_4 = Level of YFPKC 15%, T_5 = Level of YFPKC 20%.

[2] DM: dry matter; OM: organic matter; CP: crude protein; EE: ether extract; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber.

องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าพลิแคททูลั่มแห้ง (plicatulum hay, PH) ซึ่งเป็นอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลองนี้คือ มีวัตถุแห้ง 92.35 เปอร์เซ็นต์ อินทรียวัตถุ 91.63 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง เถ้า 8.37 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ 3.42 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ไขมัน 0.72 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกละลายที่เป็นกลาง 81.38 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกละลายที่เป็นกรด 50.02 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมี

ใกล้เคียงกับรายงานของ วรวรรณา (2549); Chanjula and Ngampongsai (2009); Chanjula et al. (2010) โดยมีโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 3.36-3.62%

4.2.2 ปริมาณการกินได้ของอาหาร และความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะ

จากการทดลองการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารข้นต่อปริมาณการกินได้อย่างอิสระ (voluntary feed intake, VFI) (วัตถุแห้ง) ของอาหารข้น และอาหารหยาบในแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยแต่ละกลุ่มที่ได้รับหญ้าพลิแคททูลั่มแห้ง (Table 4.3) พบว่าปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมด (kg/d, %BW และ g/kg $W^{0.75}$) เฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) เมื่อพิจารณาปริมาณการกินได้ทั้งหมดเฉลี่ย (kg/d) หน่วยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) และหน่วยกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก (g/kg $W^{0.75}$) ของทุกกลุ่ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แม้ว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0% YFPKC) อาจเนื่องมาจาก ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบลดลงแต่ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ทำนองเดียวกับปริมาณการกินของโภชนะ (OMI, CPI และ NDFI) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05)

Table 4.3 Effects of fermented palm kernel cake on feed intake and apparent digestibility in goats fed on plicatulum hay as roughage.

Attribute	Dietary treatment (% YFPKC levels in concentrate)[1]						Contrast[2]	
Replaced SBM, %DM basis	T1(0)	T2(25)	T3(50)	T4(75)	T5(100)	SEM	L	Q
FPKC levels, %DM basis	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00			
DMI								
Plicatulum hay, kg/d	0.334	0.281	0.248	0.276	0.286	0.031	NS	NS
%BW	1.18	0.99	0.89	1.01	1.03	0.13	NS	NS
g/kg $W^{0.75}$	27.19	22.88	20.54	23.12	23.64	2.74	NS	NS
Concentrate, kg/d	0.518	0.517	0.499	0.502	0.513	0.038	NS	NS
%BW	1.83	1.82	1.78	1.83	1.83	0.22	NS	NS
g/kg $W^{0.75}$	42.25	42.09	40.83	41.88	42.12	0.09	NS	NS
Total DMI, kg/d	0.852	0.798	0.747	0.778	0.799	0.06	NS	NS
DMI, %BW	3.01	2.82	2.67	2.84	2.86	0.20	NS	NS
DMI, g/kg $W^{0.75}$	69.45	64.98	61.38	65.01	65.76	4.49	NS	NS
OMI, kg/d	0.794	0.747	0.710	0.706	0.742	0.05	NS	NS
CPI, kg/d	0.097	0.092	0.086	0.087	0.088	0.01	NS	NS
NDFI, kg/d	0.439	0.425	0.417	0.489	0.497	0.03	NS	NS
Apparent digestibility, %								
DM	73.15^{a}	73.02^{a}	74.29^{a}	74.78^{a}	67.35^{b}	1.56	0.07	*
OM	74.56^{a}	74.19^{a}	75.86^{a}	76.14^{a}	69.09^{b}	1.47	0.08	*
CP	68.52^{a}	70.18^{a}	72.71^{a}	69.63^{a}	61.01^{b}	1.97	*	NS
NDF	67.42^{b}	66.71^{b}	68.32^{b}	73.03^{a}	62.26^{c}	1.41	NS	*
ADF	59.92^{ab}	57.22^{ab}	61.26^{ab}	63.39^{a}	53.64^{b}	2.40	NS	0.12

T_1 = Level of Yeast fermented palm cake kernel (YFPKC) 0%, T_2 = Level of YFPKC 5%, T_3 = Level of YFPKC 10%, T_4 = Level of YFPKC 15%, T_5 = Level of YFPKC 20%.

[a-c] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

* P<0.05

[2]L = linear, Q = quadratic

SEM = Standard error of the mean (n = 5)

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DM) อินทรียวัตถุ (OM) โปรตีน (CP) การย่อยได้ของ NDF และ ADF ของแพะทุกกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร (Table 4.3) ปรากฏว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้

(DM, OM, CP, NDF และ ADF) ของแพะกลุ่มที่ 1-4 (0-75% YFPKC) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกลุ่มที่ 5 (100% YFPKC) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) อาจเนื่องจาก ระดับเยื่อใย และไขมันที่เพิ่มสูงขึ้นตามกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (Table 4.2) ทำให้การย่อยได้ลดลง โดยเฉพาะผนังเซลล์ และเซลยูโลลิกนินมีสหสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของอาหาร (Hart and Wanapat, 1992) มากกว่านั้น ปริมาณไขมันที่มากกว่า 5% ในสูตรอาหาร อาจส่งผลต่อปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อยได้ กระบวนการหมัก และการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (bacterial growth) ในกระเพาะรูเมน (Allen, 2000; NRC, 2001) โดยเฉพาะสัดส่วนของกรดไขมันพบว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดที่มีพันธะคู่มากกว่า 2 พันธะ (polyunsaturated fatty acid, PUFA) โดยทั่วไปมีผลในทางลบต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการย่อยได้ของเยื่อใยมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid, SFA) หรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดที่มีจำนวนพันธะคู่เพียงหนึ่งพันธะ (monounsaturated fatty acid, MUFA) เนื่องจาก มีผลในทางลบต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมากกว่า (Allen, 2000) สอดคล้องกับ Palmquist and Jenkins (1980) รายงานว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และลดการย่อยได้ของเยื่อใยส่งผลให้ปริมาณการกินได้ลดลง ซึ่ง Devendra and Lewis (1974) สรุปว่า อาจเกิดเนื่องจาก 1) ไขมันเข้าไปหุ้ม หรือเคลือบผิวของเยื่อใยทำให้จุลินทรีย์เข้าย่อยได้ยาก หรือไม่สามารถเข้าย่อยเยื่อใยได้ 2) ไขมันอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์บางชนิด เป็นผลทำให้ประชากรจุลินทรีย์ชนิดนั้นลดลงเกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน 3) กรดไขมันอาจไปมีผลต่อผนังเซลล์ (cell membrane) ของจุลินทรีย์ทำให้การทำงานลดลง และ 4) กรดไขมันสายยาวอาจไปทำปฏิกิริยากับ cation เกิดเป็น insoluble complex ซึ่งมีผลโดยตรงต่อจำนวน cation ที่จุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ หรือมีผลทางอ้อมต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนทำให้การย่อยได้ลดลง ทำนองเดียวกับ Cheng et al. (1991) รายงานว่าไขมันจะเข้าไปเคลือบชิ้นอาหารทำให้ยับยั้งการย่อยอาหาร โดยไปยับยั้งการเข้าจับของเซลล์จุลินทรีย์ หรือเอนไซม์ของจุลินทรีย์ที่พื้นที่ผิวอาหาร จึงทำให้กลุ่มที่ 5 มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ

จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า อาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารสามารถใช้ได้ในระดับ 5-15% (25-75% YFPKC) โดยไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมดเฉลี่ย สัมประสิทธิ์การย่อยได้ ปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ หรือสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง อย่างไรก็ตาม พบว่าความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะเฉลี่ยสูงสุดในกลุ่มที่ 4 ที่ระดับการทดแทน 75% YFPKC เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ อาจเนื่องมาจากยีสต์ที่เสริมเข้าไปบางส่วนไปกระตุ้นให้นิเวศวิทยาในรูเมนให้เหมาะสมและสามารถเพิ่มประชากรในกลุ่มที่ย่อยสลายเยื่อใยได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยไปลดระยะเวลาในการเจริญเติบโตในช่วง lag phase และตัวเซลล์ยีสต์ที่ตายแล้วจะเป็นของแหล่งวิตามินบี ซึ่งจะไปช่วยในการเจริญเติบโตต่อไป (Girard and Dawson, 1995) และการศึกษาของ Callaway and Martin (1997); Chaucheyras-Durand and Fonty, (2001) ศึกษาในลูกแกะที่กระเพาะรูเมนกำลังพัฒนา และพัฒนาแล้วร่วมกับการเสริมเซลล์ยีสต์มีชีวิต พบว่ากลุ่มที่ได้รับยีสต์สามารถกระตุ้นให้กระเพาะรูเมนที่กำลังพัฒนาพัฒนาได้เร็วขึ้น โดยดู

ความสัมพันธ์ของแบคทีเรียที่ย่อยสลายเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบกับไม่เสริม และมาดูถึงการศึกษาต่อเนื่องในตัวสัตว์ที่กระเพาะรูเมนพัฒนาเต็มที่แล้วพบว่า การเสริมยีสต์สามารถเพิ่มเอนไซม์ดังต่อไปนี้ เช่น Xylanase, β-galactosidase, β–glucosidase, β -xylosidase, β- cellobiohydrolase เพื่อไปย่อยสลายเซลยูโลส และเฮไมเซลยูโลสให้สูงขึ้น จึงมีส่วนที่ช่วยให้ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะ NDF และ ADF เพิ่มขึ้น

4.2.3 ผลผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนและยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด

4.2.3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิจากของเหลวในกระเพาะรูเมน

ผลของการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารข้นต่อต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกระเพาะรูเมนของแพะในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร (Table 4.4) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของอุณหภูมิในกระเพาะรูเมนค่อนข้างคงที่ (39.3-39.4 ^{0}C) ซึ่งเป็นระดับที่ปกติ และเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (38-40 ^{0}C) (Van Soest, 1994) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือ pH ภายในกระเพาะรูเมนของแพะในแต่ละช่วงเวลาก็ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มเช่นกัน (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของความเป็นกรด-ด่าง ค่อนข้างคงที่ (6.53-6.61) ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic bacteria) และการย่อยของโปรตีน (6.0-7.0) (Hoover, 1986) สอดคล้องกับรายงานของเมธา (2533) ที่รายงานว่า ระดับ pH ที่เหมาะสมในกระเพาะรูเมนอยู่ในช่วง 6.5-7.0 และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่า pH ตามช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร พบว่า ค่า rumen pH ลดต่ำลง (6.18-6.31) ในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร ซึ่งอาจเนื่องมาจากเป็นช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการหมักสูงสุด

Table 4.4 Effects of fermented palm kernel cake on rumen fermentation characteristics in goats fed on plicatulum hay as roughage

Attribute	Dietary treatment (% YFPKC levels in concentrate)[1]						Contrast[2]	
Replaced SBM, %DM basis	T1(0)	T2(25)	T3(50)	T4(75)	T5(100)	SEM	L	Q
FPKC levels, %DM basis	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00			
Temperature, °C								
0 h-post feeding	39.1	39.3	39.4	39.2	39.2	0.33	NS	NS
4	39.8	39.6	39.2	39.4	39.7	0.23	NS	NS
Mean	39.4	39.4	39.3	39.3	39.4	0.16	NS	NS
Ruminal pH								
0 h-post feeding	6.86	6.84	6.93	6.88	6.87	0.06	NS	NS
4	6.36	6.22	6.22	6.23	6.31	0.05	NS	NS
Mean	6.61	6.53	6.57	6.55	6.59	0.06	NS	NS
NH_3-N, mg/dl								
0 h-post feeding	18.57	17.43	14.86	17.43	16.29	1.18	NS	NS
4	14.86	16.00	14.00	14.29	12.00	1.48	NS	NS
Mean	16.71	16.71	14.43	15.86	14.14	1.13	NS	NS
BUN, mg/dl								
0 h-post feeding	20.35^{a}	21.20^{a}	18.41^{b}	19.94^{a}	20.22^{a}	0.45	NS	NS
4	20.93	20.95	19.94	22.15	21.50	1.62	NS	NS
Mean	20.64^{ab}	21.08^{a}	19.18^{b}	21.05^{a}	20.85^{a}	1.10	NS	NS

T_1 = Level of Yeast fermented palm cake kernel (YFPKC) 0%, T_2 = Level of YFPKC 5%, T_3 = Level of YFPKC 10%, T_4 = Level of YFPKC 15%, T_5 = Level of YFPKC 20%.

[a-b] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

[2]L = linear, Q = quadratic, SEM = Standard error of the mean (n = 5)

4.2.3.2 ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen, NH_3-N) และระดับยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (blood urea nitrogen, BUN)

ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) ในกระเพาะรูเมนที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 14.14-16.71 mg/dL (Table 4.4) แ ละค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม 10-30 mg/dL (Ferguson et al., 1993) สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ทำนองเดียวกับ Preston and Leng (1987) ที่รายงานว่า ระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนคือ 5-25 mg/dL ขณะที่ Windschitl (1991) รายงานว่าเป็นค่า 11.8-18.3 mg/dL และ Mehrez et al. (1977) รายงานว่าเป็นค่า 15-20 mg/dL อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสัตว์ ชนิดของอาหาร โดยเฉพาะแหล่งคาร์โบไฮเดรต ปริมาณโปรตีนที่กินได้ (Lewis, 1975) ศักยภาพในการเกิดกระบวนการหมักของอาหาร ความสามารถในการย่อยสลายได้ของโปรตีน และสภาพนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสม (เมธา, 2533; Erdmen et al., 1986)

ส่วนค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (BUN) ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ยกเว้น กลุ่มที่ 3 (50% YFPKC) มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) อย่างไรก็ตาม มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ สอดคล้องกับ Lloyd (1982) ที่รายงานว่า ระดับปกติของ BUN ในแพะอยู่ในช่วง 11.2-27.7 mg/dL และในแกะ 8-20 mg/dL (Kaneko, 1989) ซึ่งค่าความเข้มข้นของ BUN ปกติจะผันแปรตามหลายปัจจัย เช่น อายุ สูตรอาหาร ปริมาณโปรตีนที่กินได้ และระดับของ NH_3-N ในกระเพาะรูเมน สอดคล้องกับ Preston et al. (1965) ที่รายงานว่า ค่าของ BUN มีสหสัมพันธ์สูง (highly correlation) กับปริมาณโปรตีนที่กินได้ และสัมพันธ์กับระดับการผลิตแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน (Lewis, 1975)

4.2.3.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ในกระเพาะรูเมน

ผลจากการศึกษาของการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองต่อความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ (Table 4.5) จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริค และสัดส่วนของของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิออนิก ในการทดลองนี้มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 75.0-79.2 มิลลิโมลต่อลิตร 61.7-62.6, 26.2-27.1, 10.7-11.5 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด และ 2.3-2.4 ตามลำดับ พบว่าทุกค่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) จากผลการทดลองครั้งนี้ ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดเฉลี่ยของของเหลวในกระเพาะรูเมนอยู่ในช่วง 70.73-77.35 mmol/L ใกล้เคียงกับรายงานของ Chanjula et al. (2007a, b) รายงานว่า ค่า TVFA ของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยเพศผู้ (พื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.00-79.20 และ 80.87-86.57% ตามลำดับ ซึ่ง France and Siddons (1993) รายงานว่า ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดในกระเพาะรูเมนปกติมีค่าระหว่าง 70-130 mmol/L ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้ และสัมประสิทธิ์การย่อย

ได้ของอินทรียวัตถุที่ได้ (Forbes and France, 1993) สอดคล้องกับ Sutton (1985) รายงานว่า การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ โดยถ้าหากความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

Table 4.5 Effects of fermented palm kernel cake on volatile fatty acid profiles in goats fed on plicatulum hay as roughage.

Attribute	Dietary treatment (% YFPKC levels in concentrate)[1]						Contrast[2]	
Replaced SBM, %DM basis	T1(0)	T2(25)	T3(50)	T4(75)	T5(100)	SEM	L	Q
FPKC levels, %DM basis	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00			
Total VFA, mmol/ L								
0 h-post feeding	73.0	73.9	69.6	79.2	76.3	4.47	NS	NS
4	78.0	82.3	80.3	79.2	76.3	4.23	NS	NS
Mean	75.5	78.1	75.0	79.2	76.3	4.58	NS	NS
Molar proportion of VFA, mol/ 100mol								
Acetate (C_2)								
0 h-post feeding	60.2	60.6	61.1	62.1	60.4	0.44	NS	NS
4	64.3	64	63.4	63.1	63.0	1.57	NS	NS
Mean	62.3	62.3	62.3	62.6	61.7	0.84	NS	NS
Propionate (C_3)								
0 h-post feeding	29.5	29.8	28.5	28	29.3	0.47	NS	NS
4	24.6	23.9	23.9	24.4	24.5	0.67	NS	NS
Mean	27.1	26.9	26.2	26.2	26.9	0.41	NS	NS
Butyrate (C_4)								
0 h-post feeding	10.4	9.5	10.4	10	10.3	0.62	NS	NS
4	11	11.9	12.6	12.5	12.5	0.40	NS	NS
Mean	10.7	10.7	11.5	11.3	11.4	0.32	NS	NS
C2:C3 ratio								
0 h-post feeding	2.0	2.0	2.1	2.2	2.1	0.12	NS	NS
4	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6	0.14	NS	NS
Mean	2.3	2.3	2.4	2.4	2.3	0.10	NS	NS

T_1 = Level of Yeast fermented palm cake kernel (YFPKC) 0%, T_2 = Level of YFPKC 5%, T_3 = Level of YFPKC 10%, T_4 = Level of YFPKC 15%, T_5 = Level of YFPKC 20%.

[a-b] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different ($P<0.05$)

[2] L = linear, Q = quadratic

SEM = Standard error of the mean (n = 5)

4.2.3.4 จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน

จำนวนประชากรของแบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อรา ที่ศึกษาโดยวิธีนับตรง (Table 4.6) จากผลการทดลอง พบว่าการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสัดส่วน 0:100, 25:75, 50: 50, 75:25 และ 100:0 ตามลำดับ มีผลทำให้จำนวนประชากรของทั้งแบคทีเรีย และเชื้อราเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ตามระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ที่เพิ่มขึ้น โดยกลุ่มที่ 4 และ 5 (75 และ 100% YFPKC) มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 (0 และ 25% YFPKC) โดยมีการตอบสนองในลักษณะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง และสอดคล้องกับรายงานการทดลองของ Kumar et al. (1997); Koul et al. (1998) ที่ศึกษาผลจากการเสริมเซลล์ยีสต์มีชีวิตต่อการใช้ประโยชน์จากอาหารหยาบ พบว่าสามารถเพิ่มประชากรของแบคทีเรียได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบกับได้รับอาหารหยาบเพียงอย่างเดียว ทำนองเดียวกับรายงานของ Newbold and Rode (2006) พบว่าการ

เสริมเซลล์ยีสต์มีชีวิตสามารถเพิ่มประชากรแบคทีเรียได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของแบคทีเรียทั้งหมด และ Chaucheyras et al. (1995) ทำการศึกษาภายในหลอดทดลอง พบว่าการเสริมเซลล์ยีสต์ร่วมกับวิตามินสามารถเพิ่มประชากรของเชื้อราได้อย่างมีนัยสำคัญ

ขณะที่ ประชากรโปรโตซัวทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.3-3.0x10^6 cell/ ml แต่มีแนวโน้มค่อนข้างต่ำ (L, P= 0.09, 0.10 และ 0.06 ตามลำดับ) ในกลุ่มที่ได้รับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสัดส่วนมากกว่า 50% YFPKC ทั้งนี้อาจเนื่องจากระดับไขมันที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหาร และการเป็นพิษของกรดไขมันในน้ำมันในกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน Galbraith and Miller (1973) รายงานว่ากรดไขมันสายยาวมีความเป็นพิษต่อเซลล์จุลินทรีย์มากกว่ากรดไขมันสายสั้น สอดคล้องกับ Abdullah and Hutagalung (1988); Abdullah et al. (1995) รายงานว่าโค และแกะที่ได้รับ PKC เป็นอาหารหลัก พบว่าประชากรโปรโตซัวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ แต่เหตุผลยังไม่ชัดเจน อาจมีบางปัจจัยในอาหารทำให้ลด หรือกำจัดประชากรโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน ขณะที่การศึกษาของ Corona et al. (1999); Garcia et al. (2000); Arcos-Garcia et al. (2000) พบว่าการเสริมเซลล์ยีสต์มีชีวิตในสูตรอาหารข้นที่แหล่งพลังงานหลักมาจากข้าวโพด และการได้รับสูตรอาหารข้นในระดับที่สูง สามารถลดประชากรโปรโตซัว *Entodinidae*, *Holotrichidae* ในแพะได้อย่างมีนัยสำคัญ จากงานทดลองนี้ อาจเป็นไปได้ว่า กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์มียีสต์ที่มีชีวิตติดที่กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันด้วย จึงส่งผลดังกล่าวข้างต้น

Table 4.6 Effects of fermented palm kernel cake on rumen microbs in goats fed on plicatulum hay as roughage.

Attribute	Dietary treatment (% YFPKC levels in concentrate)[1]						Contrast[2]	
Replaced SBM, %DM basis	T1(0)	T2(25)	T3(50)	T4(75)	T5(100)	SEM	L	Q
FPKC levels, %DM basis	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00			
Total direct count								
Bacteria (x10^{10}cell/ml)								
0 h-post feeding	1.8^{b}	2.6^{ab}	3.0^{a}	3.2^{a}	3.5^{a}	0.30	*	NS
4	2.8^{b}	3.2^{b}	3.7^{ab}	4.4^{a}	4.5^{a}	0.34	*	NS
Mean	2.3^{b}	2.9^{b}	3.4^{ab}	3.8^{a}	4.4^{a}	0.38	*	NS
Total Protozoa(x10^6 cell/ml)								
0 h-post feeding	2.8	2.5	2.4	2.2	2.2	0.26	0.09	NS
4	3.1	3.4	3.1	2.6	2.6	0.32	0.10	NS
Mean	3.0	2.9	2.7	2.4	2.3	0.26	0.07	NS
Fungal zoospores (x10^5 cell/ ml)								
0 h-post feeding	2.3^{b}	2.5^{b}	3.1^{ab}	3.7^{b}	3.9^{b}	0.28	*	NS
4	2.7^{b}	2.5^{b}	3.5^{ab}	4.8^{a}	4.9^{a}	0.44	*	NS
Mean	2.5^{b}	2.5^{b}	3.3^{ab}	4.3^{a}	4.4^{a}	0.36	*	NS

T_1 = Level of Yeast fermented palm cake kernel (YFPKC) 0%, T_2 = Level of YFPKC 5%, T_3 = Level of YFPKC 10%, T_4 = Level of YFPKC 15%, T_5 = Level of YFPKC 20%.

[a-b] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<.05)

* P<0.05

[2]L = linear, Q = quadratic

SEM = Standard error of the mean (n = 5)

ประชากรโปรโตซัวที่ลดลงมีผลดีทำให้ประชากรแบคทีเรียเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการสังเคราะห์จุลินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยปกติภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมโปรโตซัวจะเจริญได้ดี และแย่งอาหารจาก

แบคทีเรีย และใช้แบคทีเรียเป็นอาหารก็จะเพิ่มขึ้น Russell (2002) รายงานว่า จำนวนโปรโตซัวที่เพิ่มขึ้นทำให้แบคทีเรียลดลง เนื่องจากโปรโตซัวจับกิน (enguf) แบคทีเรียเป็นอาหาร โดยทั่วไปโปรโตซัวสามารถใช้แบคทีเรียเป็นอาหารได้สูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่มีอยู่ อย่างไรก็ตาม ถ้าในสูตรอาหารมีเมล็ดธัญพืชเป็นหลัก โปรโตซัวจะกินเมล็ดแป้งสามารถช่วยปรับระดับความเป็นกรดเป็นด่างและป้องกันสภาวะความเป็นกรดในกระเพาะหมักได้ (Russell and Hespell, 1981; McAllister et al., 1993)

4.2.4 ค่าความเข้มข้นของกลูโคสและปริมาตรเม็ดโลหิตแดงอัดแน่นในกระแสเลือด

ผลของระดับการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้นของแพะต่อการเปลี่ยนแปลงระดับกลูโคสในกระแสเลือดที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแพะทั้ง 5 กลุ่ม (Table 4.7) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 63.92-65.00 mg/dl และมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติในแพะคือ 50-75 mg/dL (2.77 to 4.16 mmol/L) (Kaneko, 1980) แต่ต่ำกว่า รายงานของ Chanjula et al. (2007a) ที่ศึกษาผลยูเรีย 4 ระดับ (0, 1, 2 และ 3%) ต่อการเปลี่ยนแปลงกลูโคสในกระแสเลือดที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 69.4-73.8 mg/dL (3.8-4.1 mmol/L) เฉลี่ย 71.51 mg/dL (3.9 mmol/L) และมีค่าอยู่ในช่วง 69.40-72.90 mg/dL เฉลี่ย 70.74 mg/dL (3.9 mmol/L) ในแพะที่ได้รับอาหารข้นที่ทดแทนข้าวโพดบดด้วยมันเส้นในสูตรอาหารสัตว์ (Chanjula et al., 2007b) ซึ่งความผันแปรของค่ากลูโคสในกระแสเลือดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สถานะภาพทางสรีระ (physiological status) ของสัตว์ (Firat and Ozpinar, 1996) หรือโรค (disease conditions) (Ford et al., 1990) ระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่าง (Hove and Halse, 1983) จากการศึกษาของ Mahardika et al. (2000) รายงานว่า ปริมาณกลูโคสในกระแสเลือดลดลงในชั่วโมงที่ 2 และเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 3-4 หลังการให้อาหาร เพราะปริมาณกรดโพรพิออนิก (propionic acid, C_3) ในกระเพาะรูเมนซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลูโคสเพิ่มสูงสุดในชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหาร

Table 4.7 Effects of fermented palm kernel cake on blood metabolized characteristics in goats fed on plicatulum hay as roughage.

Attribute	Dietary treatment (% YFPKC levels in concentrate)[1]						Contrast[2]	
Replaced SBM, %DM basis	T1(0)	T2(25)	T3(50)	T4(75)	T5(100)	SEM	L	Q
FPKC levels, %DM basis	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00			
Glu, mg/dl								
0 h-post feeding	64.74	61.84	64.00	64.00	62.74	1.41	NS	NS
4	64.60	66.00	66.00	67.72	65.80	1.06	NS	NS
Mean	64.67	63.92	65.00	65.00	64.27	1.07	NS	NS
PCV, %								
0 h-post feeding	28.60	26.80	27.80	28.80	28.70	0.72	NS	NS
4	29.56	30.55	28.75	29.50	29.52	0.55	NS	NS
Mean	29.08	28.67	28.27	29.15	29.11	0.53	NS	NS

T_1 = Level of Yeast fermented palm cake kernel (YFPKC) 0%, T_2 = Level of YFPKC 5%, T_3 = Level of YFPKC 10%, T_4 = Level of YFPKC 15%, T_5 = Level of YFPKC 20%.

[a-b] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

[2] L = linear, Q = quadratic

SEM = Standard error of the mean (n = 5)

ส่วนค่าปริมาตรเม็ดโลหิตแดงอัดแน่นในกระแสเลือด pack cell volume (PCV) ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในช่วง 28.27-29.15% ใกล้เคียงกับรายงานของ Chanjula et al. (2007a, b) รายงานว่า ค่า PCV ของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยเพศผู้ (พื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.00-29.87 และ 27.90-28.95% ตามลำดับ และอยู่ในเกณฑ์ปกติที่รายงานโดย Jain (1993); Schipper (1992); Plumb (1999) คือ 22-38, 24-48% และ 30-40% ตามลำดับ ซึ่งค่า PCV สามารถประเมินความสมบูรณ์ของร่างกายแพะและสุขภาพสัตว์เบื้องต้น (Jain, 1993) อย่างไรก็ตาม ค่า PCV ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ระดับโภชนาการที่สัตว์ได้รับและพันธุ์สัตว์ สอดคล้องกับ Rasedee et al. (1982) รายงานว่า ค่า PCV เปลี่ยนแปลงได้ตามระดับโภชนาการที่สัตว์ได้รับ โดยโคนมที่ได้รับอาหารข้น 1.75% ของน้ำหนักตัว มีค่า PCV มากกว่าโคนมที่ได้รับอาหารข้น 1% ของน้ำหนักตัว นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ โดยพบว่าค่า PCV ในโคนม (35.91%) และกระบือ (38.37%) มีค่าสูงกว่าโคเนื้อ (30.37%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ทวีพร, 2544) ขณะที่แม่โคพันธุ์บราห์มันมีค่า PCV เฉลี่ย 35% (มณเฑียร และคณะ, 2540)

4.2.5 สมดุลของไนโตรเจน และปริมาณของไนโตรเจนที่กักเก็บไว้ได้

ผลของการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองต่อสมดุลของไนโตรเจน และปริมาณของไนโตรเจนที่กักเก็บไว้ได้ (Table 4.8) ปรากฏว่า ปริมาณการกินได้ของไนโตรเจนทั้งหมด (Total N intake) ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ขณะที่ ปริมาณการขับไนโตรเจน (N excretion) พบว่าปริมาณการขับไนโตรเจนในมูล (Fecal N) และปริมาณการขับไนโตรเจนทางปัสสาวะ (Urinary N) มีความแตกต่างกัน (P<0.01) โดยกลุ่มที่ 1 (0% YFPKC) และ 5 (100% YFPKC) มีค่าปริมาณการขับไนโตรเจนในมูลสูงกว่ากลุ่มที่ 3 (50% YFPKC) ขณะที่ ปริมาณการขับไนโตรเจนทางปัสสาวะกลุ่มที่ 1 (0% YFPKC) มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) โดยมีการตอบสนองในลักษณะรูปแบบเป็นเส้นตรง (L, P<0.001) ตามระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ขณะที่ กลุ่มอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) อาจเนื่องจากมีสัดส่วนของโปรตีนที่ไม่ถูกย่อย (indigestible protein) อยู่สูง และมีความสัมพันธ์กับโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (rumen undegradable protein, RUP) (Tamminga, 1996) ซึ่งปริมาณการขับไนโตรเจนทั้งหมดที่ต่ำจะช่วยเพิ่มการกักเก็บไนโตรเจนในร่างกาย

ผลของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้นระดับต่างๆ ต่อค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (Absorbed N) และปริมาณการกักเก็บไนโตรเจนในร่างกาย (Retained N) พบว่าระดับการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้นไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แต่มีแนวโน้มลดลงตามระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ที่เพิ่มขึ้น (มากกว่า 75%) ในสูตรอาหาร ทำนองเดียวกับค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (% of N intake) และค่ากักเก็บไนโตรเจน (% of N intake) พบว่าระดับของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้น มีผลต่อค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (61.02-72.72%) และค่ากักเก็บไนโตรเจน (51.59-62.17%) ตามลำดับ โดยลดลงเมื่อมีระดับของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้นมากกว่า 75% ขณะที่ กลุ่มที่ได้รับกากเนื้อในเมล็ด

ปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้น 0-75% ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) อาจเนื่องจากความสามารถในการย่อยได้ และปริมาณการกินได้ของโภชนะโปรตีนในอาหาร และที่สำคัญคือ ลดสัดส่วนการขับไนโตรเจนในมูลทำให้การกักเก็บไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

Table 4.8 Effects of fermented palm kernel cake on nitrogen utilization in goats fed on plicatulum hay as roughage.

Attribute	Dietary treatment (% YFPKC levels in concentrate)[1]						Contrast[2]	
Replaced SBM, %DM basis	T1(0)	T2(25)	T3(50)	T4(75)	T5(100)	SEM	L	Q
FPKC levels, %DM basis	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00			
N balance, g/d								
Total N intake	15.55	14.72	13.92	13.92	14.16	1.09	NS	NS
N excretion, g/d								
Fecal N	4.80^{ab}	4.33^{bc}	3.74^{c}	4.15^{bc}	5.50^{a}	0.25	NS	**
Urinary N	2.01^{a}	1.41^{b}	1.49^{b}	1.06^{b}	1.33^{b}	0.14	**	0.10
Absorbed N	10.70	10.38	10.18	9.80	8.66	0.96	NS	NS
Retained N	8.69	8.97	8.69	8.74	7.32	0.86	NS	NS
N output (% of N intake)								
Absorbed	68.51^{a}	70.18^{a}	72.72^{a}	69.14^{a}	61.02^{b}	1.96	*	**
Retained	55.49^{ab}	60.11^{a}	62.08^{a}	62.17^{a}	51.59^{b}	2.01	NS	**

T_1 = Level of Yeast fermented palm cake kernel (YFPKC) 0%, T_2 = Level of YFPKC 5%, T_3 = Level of YFPKC 10%, T_4 = Level of YFPKC 15%, T_5 = Level of YFPKC 20%.

[a-c] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

* P<0.05; ** P<0.01

[2]L = linear, Q = quadratic

SEM = Standard error of the mean (n = 5)

จากผลจากการทดลองของการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลือง 25-75% YFPKC ในสูตรอาหารข้น พบว่าสามารถลดการสูญเสียไนโตรเจนทางมูลและสามารถเพิ่มการสะสมไนโตรเจนในตัวสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ตามลำดับ โดยที่ในกลุ่มที่ได้รับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารข้นนั้นมีความสามารถในการสะสมไนโตรเจนในร่างกายต่ำที่สุด

อย่างไรก็ตาม จากการทดลองครั้งนี้พบว่า สมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนมีค่าเป็นบวกในแพะทุกกลุ่ม อาจเนื่องจาก แพะได้รับไนโตรเจนสูงกว่าความต้องการของร่างกาย ซึ่งสูตรอาหารที่ให้ทุกสูตรมีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) เกินระดับที่แนะนำสำหรับการเจริญที่เหมาะสมของจุลินทรีย์ (5-8 mg/dL; Satter and Slyter, 1974 หรือ 3.3-8.5 mg/100 mL; Kang-Meznarich and Broderick, 1981) สำหรับการเจิญเติบโต และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสูงสุด แสดงให้เห็นว่าอาหารที่ใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในอาหารระดับต่างๆ กัน ใช้เป็นแหล่งพลังงาน และโปรตีนในสูตรอาหาร สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี และเพียงพอต่อการดำรงชีพ ในทางตรงกันข้าม ถ้าสัตว์ได้รับไนโตรเจนจากอาหารน้อยสัตว์จะเพิ่มการกักเก็บไนโตรเจนไว้ในร่างกาย ไนโตรเจนจะถูกขับออกมาทางมูล และปัสสาวะน้อยลง เพื่อเป็นการรักษาสมดุลไนโตรเจนในร่างกาย เนื่องจากสัตว์มีกลไกควบคุมความสมดุลของไนโตรเจนในร่างกาย เมื่อได้รับไนโตรเจนจากอาหารในปริมาณที่ต่ำ โดยไตจะลดการขับยูเรียออกทางปัสสาวะทำให้ยูเรียหมุนกลับเข้าสู่กระเพาะหมักได้อีก (Church, 1979)

สรุปผลการทดลอง

จากการวิจัยในครั้งนี้ สามารถสรุปการดำเนินการทดลองโดยรวมได้ ดังนี้

จากการทดลองการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารข้นในแพะ พบว่าปริมาณการกินได้ทั้งหมด (kg/d, %BW และ g/kg $W^{0.75}$) ของอาหารหยาบ อาหารข้น และปริมาณการกินได้ทั้งหมดเฉลี่ย พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$)

สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DM) อินทรียวัตถุ (OM) โปรตีน (CP) การย่อยได้ของ NDF และ ADF ของแพะทุกกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ (DM, OM, CP, NDF และ ADF) ของแพะกลุ่มที่ 1-4 (0-75% YFPKC) ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกลุ่มที่ 5 (100% YFPKC) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ผลของระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารแพะต่ออุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเข้มข้นของระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N และค่าเฉลี่ยรวม ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด กรดอะซีติค กรดโพรพิออนิคและกรดบิวทีริคในกระเพาะรูเมนของแพะ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร และมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ ทำนองเดียวกับผลของระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารแพะต่อการเปลี่ยนแปลงระดับกลูโคสในกระแสเลือด และค่าปริมาตรเม็ดโลหิตแดงอัดแน่นในกระแสเลือด (PCV) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร และมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ ขณะที่การศึกษาประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน จากการตรวจนับปริมาณแบคทีเรีย (bacteria) และเชื้อรา (fungal zoospores) โดยวิธีการนับตรง ในของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่าจำนวนประชากรของทั้งแบคทีเรีย และเชื้อราเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ ประชากรโปรโตซัวทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ผลของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารข้นระดับต่างๆ ต่อความสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนของแพะทั้ง 5 กลุ่ม พบว่าปริมาณการกินได้ของไนโตรเจนทั้งหมด (Total N intake) ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ขณะที่ ปริมาณการขับไนโตรเจน (N excretion) พบว่าปริมาณการขับไนโตรเจนในมูล (Fecal N) และปริมาณการขับไนโตรเจนทางปัสสาวะ (Urinary N) มีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) ผลของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้นระดับต่างๆ ต่อค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (Absorbed N) และปริมาณการกักเก็บไนโตรเจนในร่างกาย (Retained N) พบว่าระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้นไม่มีความ

แตกต่างกัน (P>0.05) แต่มีแนวโน้มลดลงตามระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ทำนองเดียวกับค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (% of N intake) และค่ากักเก็บไนโตรเจน (% of N intake) พบว่า ระดับของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้น มีผลต่อค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (61.02-72.72%) และค่ากักเก็บไนโตรเจน (51.59-62.17%) ตามลำดับ โดยลดลงเมื่อมีระดับของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้นมากกว่า 75%

จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองได้ระดับ 25-75% หรือใช้ได้ 5-15% ในสูตรอาหารแพะ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ประชากรจุลินทรีย์ และสมดุลไนโตรเจน หรือสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง ซึ่งจะเป็นลู่ทางในการใช้วัตถุดิบอาหารในท้องถิ่นการลดต้นทุนการผลิต และการเพิ่มผลผลิตกำไร อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาในแพะขุน หรือแพะรีดนมในระยะต่างๆ ในสภาวะการเลี้ยงของเกษตรกร ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการศึกษาจริง โดยการนำใช้ในแพะขุน หรือแพะรีดนมในระยะต่างๆ ในสภาวะการเลี้ยงของเกษตรกร เพื่อทำให้การตรวจสอบผลของระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในสูตรอาหารข้นให้ผลชัดเจนมากขึ้นและ/ หรือศึกษาในสภาพการเลี้ยงระดับอุตสาหกรรม ต่อไป
- ควรมีการศึกษาถึงชนิดของแบคทีเรียในแต่ละกลุ่ม เพื่อที่จะสามารถทราบถึงบทบาทที่ถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างจริงจัง ตลอดจนพัฒนาเทคนิคการตรวจนับ และเทคนิคการวัดชีวมวลของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของแพะ เพื่อให้มีการพัฒนาให้มีความแม่นยำในการวัด

เอกสารอ้างอิง

กรมการค้าภายใน. 2550. สำนักงานส่งเสริมสินค้าการเกษตร กรมการค้าภายใน 2550. กระทรวงพาณิชย์. http://www.dft.go.th (15 สิงหาคม 2552)

กรมปศุสัตว์. 2544. วัตถุดิบอาหารสัตว์. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.dld.go.th/inform/kplamoil.html. (15 สิงหาคม 2553).

ฉลอง วชิราภากร. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

ดุษณี ธนะบริพัฒน์. 2537. จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.

ทวีพร พูนดุสิต. 2544. การเปรียบเทียบประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและการเจริญเติบโตของโคนม โคเนื้อและกระบือเพศผู้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทวีศักดิ์ นิยมบัณฑิต. 2529. ผลการใช้กากปาล์มน้ำมันชนิดกะเทาะเปลือกในอาหารสุกรรุ่น-ขุน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และวรรณา เลี้ยววาริณ. 2546. คู่มือปาล์มน้ำมันและการจัดการสวน. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. จ. สงขลา.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สีสนอง. 2548. การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน. ใน เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. หน้า 51-62. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

นิวัติ เมืองแก้ว. 2531. ผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันระดับต่างๆ ในอาหารและการจำกัดอาหารหลังจากไก่ให้ไข่สูงสุดต่อการให้ผลผลิตในไก่ไข่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปราณี แซ่โค้ว. 2540. การศึกษาส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม. กลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการ กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

ปาริชาติ จิระกุล และงามนิจ นนทโส. 2548. การผลิตมันเส้นเพิ่มโปรตีนโดยการหมักด้วยยีสต์. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ สาขาจุลชีววิทยา "เปิดโลกกลุ่มงานวิจัยทางจุลชีววิทยาเพื่อการพัฒนาแบบยั่งยืน" วันที่ 18 มีนาคม 2548 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 9.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2549. คัมภีร์ปาล์มน้ำมันพืชเศรษฐกิจเพื่อการบริโภคและอุปโภค. กรุงเทพฯ: มติชน. 352 หน้า.

พิชัย แซ่ไหน. 2534. การใช้กากปาล์มน้ำมันร่วมกับฟางข้าวปรุงแต่งยูเรียในอาหารแพะหลังหย่านม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มณเฑียร บุญทวีส่ง, กฤษณ์ บุญพิทักษ์ และบรรจง จงรักษ์วัฒนา. 2540. ระดับ Pack cell Volume และโปรตีนในซีรั่มแม่โคบราห์มันภายใต้โครงการส่งเสริมการเลี้ยงโค 5 จังหวัดชายแดนภาคใต้. ใน การศึกษาโครงการส่งแสริมการเลี้ยงโคเนื้อแก่เกษตรกรยากจน 5 จังหวัดชายแดนภาคใต้. ศูนย์อำนวยการบริหารจังหวัดชายแดนภาคใต้ สำนักงานปศุสัตว์เขต 9 กรมปศุสัตว์ กรกฎาคม 2540. หน้า 61-71.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี่พลับบลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

วรวรรณา แสงคง. 2549. ผลการเสริมผลพลอยได้ที่มีโซเดียมคลอไรด์และกรดนิวคลีอิกต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมดุลไนโตรเจน และการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ในโคพื้นเมืองภาคใต้เพศผู้. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

วินัย ประลมพ์กาญจน์, วรวิทย์ อณิชาภิชาติ, อุดสาห์ จันทร์อำไพ และบุญธรรม พฤกวานิช. 2526. การศึกษาระดับที่เหมาะสมของกากปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารไก่กระทง. ว. สงขลานครินทร์. 5: 331-336.

วินัย ประลมพ์กาญจน์, เสาวนิต คูประเสริฐ, สุรพล ชลดำรงกุล และสมเกียรติ ทองรักษ์. 2528. ผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันระดับต่างๆ ในอาหารสุกรขุน. ว. สงขลานครินทร์. 7:137-144.

สายันต์ ปานบุตร. 2547. การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันและเศษเหลือจากรวงข้าวหมักยูเรียเสริมกากน้ำตาล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุมิตรา สำเภาพล. 2543. การใช้เศษเหลือจากรวงข้าวผสมกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักด้วยยูเรียเป็นอาหารพื้นฐานสำหรับแพะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. สถิติการเกษตรประเทศไทย 2550. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. http://www.oae.go.th/statistic/yearbook48. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 กันยายน 2552).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสินค้าเกษตร. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.oae.go.th/oae_website/oae_imex.php (เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2552).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตรปาล์มน้ำมัน. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.oae.go.th/main.phpMfilename=agri production. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2553).

สำนักงานส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร. 2548. พืชเศรษฐกิจ ปาล์มน้ำมันภาคใต้. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://sdoae.doae.go.th/palm.php. (19 สิงหาคม 2552).

อุทัย คันโธ. 2529. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ, นครปฐม. 297 หน้า.

Abdullah, N. and R. I. Hutagalung. 1988. Rumen fermentation, urease activity and performance of cattle given palm kernel cake based diet. Anim. Feed Sci. Technol. 20: 79-86.

Abdullah, N., H. Hanita, Y. W. Ho, H. Kudo, S. Jalaludin and M. Ivan. 1995. The effects of bentonite on rumen protozoal population and rumen fluid characteristics of sheep fed palm kernel cake. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 8: 249-254.

Abu Hassan, O. and R. Azizan. 1992. Feed from oil palm, proposal for processing and utilization on oil palm frond and oil palm trunk for beef production in feedlot systems. Serdang, MARDI. pp. 21.

Aharoni, Y., H. Tagari and R. C. Bosston. 1991. A new approaches to the quantitative estimation of nitrogen metabolic pathway in the rumen. Br. J. Nutr. 66:407-416.

Ahmad, M. B. 1985. Utilization of agro-industrial by-products and non-conventional feed resource as animal feed. Asian Livestock. 10:176-179.

Ahmad, M. B. 1986. Palm kernel cake as a new feed for cattle. Asian Livestock. 11:49-56.

Akindahunsi, A. A., G. Oboh and A. A. Oshodi. 1999. Effect of fermenting cassava with *Rhizopus oryzae* on the chemical composition of its flour and gari. Riv. Ital. Sostanze Grasse. 76:437-448.

Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. J. Dairy Sci. 83:1598-1624.

Al-Rabbat, M.F., R.L. Baldwin and W.C. Weimer. 1971. Microbial growth dependence on ammonia nitrogen in the bovine rumen: a quantitative study. J. Dairy Sci. 54:1162-1171.

Antai, S. P. and P. N. Mbongo. 1994. Utilization of cassava peels as substrate for crude protein formation. Plant Foods Hum. Nutr. 46:345-353.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. The 14th ed., Washington, D. C.: Association of Official Analytical Chemists.

Arcos-Garcia, J. L., F. A. Castrejon, G. D. Mendoza and E. P. Perez-Gavilana. 2000. Effect of two commercial yeast cultures with *Saccharomyces cerevisiae* on ruminal fermentation and digestion in sheep fed sugar cane tops. Livest. Prod. Sci. 63:153-164.

Babjee, A. M. 1988. The use of palm kernel cake as animal feed (part 1). Asian Livestock. 13: 13-19.

Bremner, J. M. and D. R. Keeney. 1965. Steam distillation methods of determination of ammonium nitrate and nitrite. Anal. Chem. Acta. 32:485-493.

Callaway, T. S. and S. A. Martin. 1997. Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on ruminal bacteria that utilize lactate and digest cellulose. J. Dairy Sci. 80:2035.

Chanjula. P., W. Ngampongsai and M. Wanapat. 2007a. Effect of levels of urea and cassava chip in concentrate on dry matter intake, ruminal ecology and blood metabolites in growing goats. Songklanakarin J. Sci. and Technol. 29:37-48.

Chanjula. P., W. Ngampongsai and M. Wanapat. 2007b. Effects of Replacing Ground Corn with Cassava Chip in Concentrate on Feed Intake, Nutrient Utilization, Rumen Fermentation Characteristics and Microbial Populations in Goats. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 20:1557-1566.

Chanjula, P. and W. Ngampongsai. 2009. Effects of sago palm pith as replacement for corn grain on intake, rumen fermentation characteristics and microbial N supply of cattle fed *Paspalum plicatulum* hay. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 22:378-387.

Chanjula, P., A. Mesang and S. Pongprayoon. 2010. Effects of dietary inclusion of palm kernel cake on nutrient utilization, rumen fermentation characteristics and microbial populations of goats fed *Paspalum plicatulum* hay-based diet. Songklanakarin J. Sci. Technol. 32:527-536.

Chaucheyras-Durand, F., G. Fonty, G. Bertin and P. Gouet. 1995. Effects of live *Saccharomyces cerevisiae* cells on zoospore germination, growth, and cellulolytic activity of the rumen anaerobic fungus, *Neocallimastix frontalis* MCH3. Curr. Microbiol. 31:201-209.

Chaucheyras-Durand, F. and G. Fonty. 2001. Establishment of cellulolytic bacteria and development of fermentative activities in the rumen of gnotobiotically-reared lambs receiving the microbial additive *Saccharomyces cerevisiae* CNCM I-1077. Reprod. Nutr. Dev. 41:57-69.

Cheng, K. J., C. W. Forsberg, H. Mnato and J. W. Costerton. 1991. Microbial ecology and physiology of feed degradation without the rumen. In: Tsuda T., Y. Sasaki and R. Kawashima (eds.), Physiology Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants: Proceedings of the Seventh International Symposium on Ruminant Physiology, Academic Press, Inc., San Diego, CA. pp. 595.

Church, D. C. 1979. Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants. Vol. I. O&B Books Inc. Corvallis. Oregon.

Corona, L., G. D. Mendoza, F. A. Castrejon, M. M. Crosby and M. A. Cobos. 1999. Evaluation of two yeast cultures (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal fermentation and digestion in sheep fed a corn stover diet. Small Rumin. Res. 31:209-218.

Devendra, C. 1977. Utilization of feedingstuffs from the oil palm. In Feedingstuffs for Livestock in Southeast Asia. pp. 116-131. Kuala Lumpur: National University of Malaysia.

Devendra, C. and D. Lewis. 1974. The interaction between dietary lipids and fibre in the sheep. Anim. Prod. 19:67-75.

Diamond, V. M. 1994. Yeast culture benefits pigs throughout growth phases. Diamond V mills. Inc. doccument.

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.

Ferguson, J.D., D. T. Galligan, T. Blanchard and M. Reeves. 1993. Serum urea nitrogen and conception rate: the usefulness of test information. J. Dairy Sci. 76:3742-3746.

Fetuga, B. L., G. M. Babatunde and V. A. Oyenuga. 1977. The value of palm kernel meal in finishing diets for pigs. 1. The effect of varying the proportion of protein contribution from blood meal and palm kernel meal on the performance and carcass quality of finishing pigs. J. Agric. Sci. (Camb.) 88:655-661.

Firat, A. and A. Ozpinar. 1996. The study of changes in some blood parameters (glucose, urea, bilirubin AST) during and after pregnancy in association with nutritional conditions and litter size in ewes. Turk Veterinerlik ve Hayvncilik Dergisi. 20:387-393.

Forbes, J. M. and J. France. 1993. Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. Northampton. The University Press. Cambridge.

Ford, E. J., J. Evans and I. Robinson. 1990. Cortisol in pregnancy toxemia of sheep. Br. Vet. J. 146:539-542.

France, J. and R. C. Siddons. 1993. Volatile fatty acid production. In: Quantitative Aspects Ruminant Digestion and Metabolism. (Eds., J. M. Forbes and J. France). pp 107-122. C.A.B. International, Willingford.

Galbraith, H. and T. B. Miller. 1973. Effect of metal cations and pH on the antibacterial activity and uptake of long chain fatty acids. J. Appl. Bacteriol. 36:635-642.

Galyean, M. 1989. Laboratory Procedure in Animal Nutrition Research. New Mexico: Department of Animal and Life Science, New Mexico State University.

Garcia, C. C. G., M. G. D. Mendoza, M. S. Gonzalez, P. M. Cobos, C. M. E. Ortega and L. R. Ramirez. 2000. Effect of two commercial yeast cultures *with Saccharomyces cerevisiae* on ruminal fermentation and digestion in sheep fed sugar cane tops. Livest. Prod. Sci. 83:165-176.

Ghorbani, G.R., D.P. Morgavi, K.A. Beauchemin and J.A.Z. Leedle. 2002. Effects of bacterial direct-fed microbials on ruminal fermentation, blood variables, and the microbial populations of feedlot cattle. J. Anim. Sci. 80:1977.

Girard, I. D. and K. A. Dawson. 1995. Effect of a yeast culture on growth characteristics of representative ruminal bacteria. J. Anim. Sci. 73:264.

Hair-Bejo, M., J. B. Liang and A. R. Alimon. 1995. Copper tolerance in buffalo: The potential toxic effect of copper in buffalo fed palm kernel cake. In Proc. 17th Malaysian Society of Animal Production Ann. Conf. Penang, Malaysia. pp. 246-247.

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.

Hoover, W. H. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. J. Dairy Sci. 69:2755-2766.

Hove, K. and K. Halse. 1983. Energy metabolism in ruminants with special reference on ketosis and fertility. Proc. 5th Int. onf. Prod. Dis. Farm Anim. Uppsata, Sweden, pp. 115-123.

Hutagalung, R. I. 1985. Nutrient availability and utilisation of unconventional feedstuffs used in tropical regions. In Proc. Feeding Systems of Animals in Temperate Areas. Seoul, Korea. pp. 326-337.

Jain, N. C. 1993. Essential of Veterinary Hematology. Lea & Febiger. Philadelphia.

Kaneko, J. J. 1980. Appendixes. In: Clinical Biochemistry of Domestic Animals, 3rd ed. (Ed. J. J. Kaneko). New York, Academic Press.

Kaneko, J. J. 1989. Clinical Biochemistry of Domestic Animals. 4th ed. Academic Press, San Diego, California.

Kang-Meznarich, J. H. and G. A. Broderick. 1981. Effects of incremental urea supplementation on ruminal ammonia concentration and bacterial protein formation. J. Anim. Sci. 51:422–431.

Koul, V., U. Kumar, V.K. Sareen and S. Singh. 1998. Mode of action of yeast culture (YEA-SACC1026) for stimulation of rumen fermentation in buffalo calves. J. Sci. Food. Agric. 77:407-416.

Kumar, U., V. K. Sareen and S. Singh. 1997. Effect of yeast culture supplement on ruminal microbial populations and metabolism in buffalo calves fed a high roughage diet. J. Sci. Food. Agric. 73:231-243.

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

Lloyd, S. 1982. Blood characteristics and the nutrition of ruminants. British Veterinary J. 138:70-85.

Maeng, W. J., C. J. Van Nevel, R. L. Baldwin and J. G. Morris. 1976. Rumen microbial growth rates and yields: effect of amino acids and protein. J. Dairy Sci. 59:68-79.

Mahardika, I. G., D. Sastradipradja, T. Sutardi and I. K. Sumadi. 2000. Nutrient requirements of exercising Swamp Buffalo, *Bubalus bubalis* II. Details of work energy of cows and its relation to heart rate. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 13:1003-1009.

McAllister, T. A., R. C. Phillippe, L. M. Rode and K. L. Cheng. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. J. Anim. Sci. 71:205-212.

Mehrez, A. Z., E. R. Ørskov and I. McDonald. 1977. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. Br. J. Nutr. 38:437-443.

Miyashige, T., O. A. Hassan, D. M. Jaafar and H. K. Wong. 1987. Digestibility and nutritive value of PKC, POME, PPF and rice straw by Kedah-kelantan bulls. MSAP. 2-4 April 1987, Malaysia, pp. 226-229.

Morad, N. A. and A. A. K. Mustafe. 1997. Process design for palm oil refinery. Feed mix. 5:27-29.

Muindi, P. J. and J. F. Hanssen. 1981. Protein enrichment of cassava root meal by trichoderma harzianum for animal feed. J. Sci. Food Agri. 32:647-659.

Newbold, C. J. and L. M. Rode. 2006. Dietary additives to control methanogenesis in the rumen. International Congress Series. 1293:138-146.

Nocek, J. E. and J. B. Russell. 1988. Protein and energy as an integrated system, Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. J. Dairy Sci. 71:2070-2107.

NRC. 1981. Nutrient Requirements of Goats: Angora, dairy and meat goat in temperate and tropical countries. The National Academy Press, Washington, D.C.

NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. The National Academy Press, Washington, D.C.

NRC. 1996. Nutrients Requirements of Beef Cattle, 7th ed. National Academies Press, Washington, D.C.

NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th ed. National Academy Press, Washington, D.C.

Nwokolo, E. N., D. B. Bragg and H. S. Saben. 1977. A nutrition evaluation of palm kernel meal for use in poultry ration. Trop. Sci. 19:147-154.

Oboh, G., 2006. Nutrient enrichment of cassava peels using a mixed culture of *Saccharomyces cerevisae* and *Lactobacillus spp* solid media fermentation techniques. Food. Chem. 9:46-57.

Oboh, G. and A. A. Akindahunsi. 2003. Biochemical changes in cassava products (flour & gari) subjected to *Saccharomyces cerevisae* solid media fermentation. Food Chem. 82:599-606.

Oluyemi, J. A., B. L. Fetuga and H. N. L. Endeley. 1976. The metabolizable energy value of some feed ingredients for young chicks. Poult. Sci. 55: 611-618.

Onwudike, O. C. 1986a. Palm kernel meal as a feed for poultry I. Composition of palm kernel meal and availability of its amino acids to chicks. Anim. Feed Sci. Technol. 16:179-186.

Palmquist, D. L. and T. C. Jenkins. 1980. Fat in lactation rations: Review. J. Dairy Sci. 63:1–14.

Panigrahi, S. and C. J. Powell. 1991. Effects of high rates of inclusion of palm kernel meal in broiler chick diets. Anim. Feed Sci. Technol. 34:37-47.

Plumb, D. C. 1999. Veterinary Drug Handbook. Iowa State University Press. 795p.

Preston, T. R. and R. A. Leng. 1987. Matching Ruminant Production Systems with Available Resources in the Tropics and Sub-tropics. Penambull Book Armidale, Australia.

Preston, R. L., D. D. Schnakanberg and W. H. Pfander. 1965. Protein utilization in ruminants. I. Blood urea nitrogen as affected by protein intake. J. Nutr. 86:281-287.

Rasedee, A., J. A. Zainal, K. Ragavan and O. Halmi. 1982. The effect of high and low protein diets on block parameters in lactating Friesian cow. Kajian Vet. (Malaysia). 14:5-13.

Ravindran V. and R. Blair. 1992. Feed resources for poultry production in Asia and Pacific. Plant protein resources. World's Poult. Sci. 48:205-231.

Reade, A. E. and K. F. Gregory. 1975. High temperature protein enriched feed from cassava fungi. J. Appl. Microbiol. 30:897-905.

Russell, J. B. 2002. Rumen Microbiology and Its Role In Ruminant Nutrition. Department of Microbiology 157 Wing Hall, Cornell University, Ithaca, NY 14853. USA. 120p.

Russell, J. R. and R. B. Hespell. 1981. Microbial rumen fermentation. J. Dairy Sci. 64:1153-1169.

Salmiah, A. 2000. Non-food Uses of Palm Oil and Palm Kernel Oil. MPOPC Palm Oil Information Series, Kuala Lumpur. 24p.

Samuel, M., S. Sagathewan, J. Thomas and G. Mathen. 1997. An HPLC method for estimation of volatile fatty acids of ruminal fluid. Indian J. Anim. Sci. 67:805-807.

SAS. 1990. SAS/STAT™ User's Guide (Release 6.03). SAS Inst., Inc. Cary, NC.

Satter, L. D. and L. L Slyter. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. Br. J. Nutr. 32:199-208.

Schipper, I. A. 1992. Preventive Veterinary Medicine. 8th ed. The North Dakota State University Press. Fargo, North Dakota, USA.

Schneider, B. H. and W. P. Flatt. 1975. The Evaluation of Feeds Through Digestibility Experiments. Georgia: The University of Georgia Press.

Song, M. K. and J. J. Kennelly. 1990. Ruminal fermentation pattern, bacteria population and ruminal degradation of feed ingredients as influenced by ruminal ammonia concentration. J. Anim. Sci. 68:1110-1120.

Sutton, J. D. 1985. Digestion and absorption of energy substrates in the lactating cow. J. Dairy Sci. 68: 3376-3393.

Suparjo, N. M. and M. Y. Rahman. 1987. Digestibility of palm kernel cake, palm oil meal effluent and quinea grass by sheep. Proceeding of the 10th Annual Conference of MSAP, 11-12 March 1985, Malaysia, pp. 230-234.

Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometerial Approach. (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.

Tamminga, S. 1996. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants J. Anim. Sci. 74:3112-3124.

Tewe, O. O. 1991. Detoxification of cassava products and effects of residual toxins on consuming animals. Proceedings of the FAO expert consultation meeting on Roots, Tubers, Plantains and Bananas in Animal Feeding; FAO Rome. pp. 81.

Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant, second ed. Cornell University Press, Ithaca, NY.

Van Soest, P. J., J. B. Robertson, J. B. and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583-3597.

Vlavon, B. M. 1988. Cassava processing technologies in Africa. In: Natalie D.H., (Ed), Praise of cassava. International Institute for Tropical Agriculture (IITA). pp. 52.

Wallace, R. J. and C. J. Newbold. 1993. Rumen fermentation and its manipulation: the development of yeast cultures as feed additives. In: Lyons, T.P., (Ed), Biotechnology in the Feed Industry Alltech Technical Publications, Nicholasville, Kentucky. pp. 173.

Windschitl, P. M. 1991. Lactatinal performance of high producing dairy cows fed diets containing salmal meal and urea. J. Dairy. Sci. 74:3475-3483.

Yeong, S. W. 1982. The nutritive value of palm oil by-product for poultry. Anim. Prod. Health Trop. 1:217-222.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นาย ปิ่น จันจุพา
วัน เดือน ปีเกิด	28 กรกฎาคม 2507
ตำแหน่งปัจจุบัน	รองศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110
สาขาชำนาญการ	โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง
อายุราชการ	18 ปี
เครื่องราชอิสริยาภรณ์	ท.ม., ท.ช., ป.ม.
ผลงานทางวิชาการ	งานแต่งตำรา 1 เล่ม
งานวิจัย	บทความวิจัย 30 เรื่อง บทความวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการ 26 เรื่อง บทความทางวิชาการ 10 เรื่อง งานบริการวิชาการ วิทยากรอบรมอาหาร และการให้อาหารแพะเนื้อ และนมให้กับเกษตรกร