รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ NAT570154c

เรื่อง

ผลของ fungal treatment ต่อการย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมรรถภาพการผลิตของแพะขุน

Effect of Fungal Treatment on Nutritive Digestibility, Rumen Fermentation and Productive Performance of Finishing Goat

โดย

รศ.ดร. ปิ่น จันจุฬา[1] และรศ.ดร. วสันณ์ เพชรรัตน์[2]

[1]ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

[2]ภาควิชาการจัดการศัตรูพืช คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่โครงการวิจัยเรื่อง **“ผลของ fungal treatment ต่อการย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมรรถภาพการผลิตของแพะขุน”** ซึ่งดำเนินการวิจัยโดยได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากเงินประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 โดยเริ่มโครงการวิจัยเมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ตลอดจน ภาควิชาสัตวศาสตร์ และภาควิชาการจัดการศัตรูพืช คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ. สงขลา 90110 ที่ได้ให้ความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในด้านสถานที่ อุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ และรวมทั้งคณาจารย์ นักศึกษาบัณฑิตศึกษา และบุคลากรทุกท่าน ที่มีส่วนที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดียิ่ง

คณะผู้วิจัย

กันยายน พ.ศ. 2559

รายงานการวิจัยเล่มนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

บทคัดย่อ

งานทดลองที่ 1 ได้ทำการศึกษาในแพะลูกผสมเพศผู้น้ำหนักเฉลี่ย 33.5±1.7 กิโลกรัม ใช้แผนทดลองแบบ 3x3 จัตุรัสละตินที่ทำซ้ำหลายจัตุรัส ให้ได้รับอาหารผสมเสร็จ 3 สูตร คือ อาหารประกอบด้วยทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่หมัก (untreated oil palm frond, UOPF) ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา (fungal treated oil palm frond, FTOPF) และทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราร่วมกับยูเรีย 1% (fungal treated oil palm frond with 1% urea, FTOPFU) โดยให้แพะทุกตัวได้รับอาหารผสมครบส่วนในอัตราอาหารข้น:อาหารหยาบ 70:30 % แบบเต็มที่ (*ad libitum*) ผลการทดลองพบว่า พบว่าปริมาณการกินได้ทั้งหมดของวัตถุแห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง NH_3-N ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด กรดบิวทีริค และกรดไขมันอื่นๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ยกเว้น กรดโพรพิออนิค และค่าสัดส่วนความเข้มข้นของ C_2:C_3 ที่ 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหารที่แตกต่างกัน (P<0.05) ส่วนประชากรจุลินทรีย์ และสมดุลไนโตรเจนมีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) ขณะที่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, OM, CP, EE, NDF, and ADF) มีความแตกต่างกัน (P<0.05)

งานทดลองที่ 2 ศึกษาถึงผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ จำนวน 18 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 18.7±2 กิโลกรัม วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) ให้แพะได้รับอาหารผสมเสร็จ 3 สูตร คือ อาหารประกอบด้วยทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่หมัก (UOPF) ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา (FTOPF) และทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราร่วมกับยูเรีย 1% (FTOPFU) โดยให้แพะทุกตัวได้รับอาหารผสมครบส่วน ในอัตราอาหารข้น:อาหารหยาบ 70:30 % แบบเต็มที่ (*ad libitum*) ทำการฆ่าแพะเมื่อเลี้ยงครบกำหนด 90 วัน บันทึกน้ำหนักซากอุ่น และองค์ประกอบซาก วัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และองค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อ ผลการทดลอง พบว่าน้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมด (วัตถุแห้ง) อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่มของแพะไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ทำนองเดียวกับ คุณลักษณะทางซาก และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะทั้ง 3 กลุ่ม พบว่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P>0.05)

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราที่ระดับ 30 % ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ และเมทาบอไลท์ในเลือดแพะ ดังนั้น สามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรามาเป็นแหล่งอาหารหยาบทดแทนในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง

คำสำคัญ: ทางใบปาล์มน้ำมัน ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรา การใช้ประโยชน์ของโภชนะ สมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะซาก แพะ

สารบาญ

	เรื่อง	หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	(ก)
	บทคัดย่อภาษาไทย	(ข)
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ค)
	สารบาญ	(1)
	สารบาญตาราง	(2)
	สารบาญภาพ	(3)
บทที่ 1	1.1 บทนำ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
	1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ	3
บทที่ 2	การตรวจเอกสาร	5
	2.1 สถานการณ์การเพิ่มการผลิตปาล์มน้ำมันในประเทศไทย	5
	2.2 การใช้ประโยชน์จากทางใบปาล์มน้ำมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	8
	2.2.1 คุณค่าทางโภชนะ และปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมัน	8
	2.2.2 แนวทางการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันรูปแบบต่างๆ เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง	10
	2.3 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของอาหารหยาบ	15
	2.3.1 วิธีการปรับปรุงอาหารหยาบคุณภาพต่ำ	15
	2.3.2 กลไกการย่อยสลายลิกนินโดย white rot fungi	18
	2.4 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	20
	2.4.1 เมแทบอลิซึมของโปรตีนในกระเพาะรูเมน	20
	2.4.2 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน	21
	2.4.3 การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน	22
	2.5 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการปรับปรุง และการเพิ่มคุณภาพของอาหารหยาบโดยการหมักด้วยจุลินทรีย์เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง	23
บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	26
บทที่ 4	ผลการทดลอง และวิจารณ์	33
	การทดลองที่ 4.1.1 การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจนในแพะ	33
	การทดลองที่ 4.2.2 การศึกษาการเจริญเติบโตและคุณภาพซากในแพะเนื้อ	46

สารบาญ (ต่อ)

	เรื่อง	หน้า
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	54
บทที่ 6	เอกสารอ้างอิง	56
	ภาคผนวก	70
	ภาคผนวก ก	70
	ภาคผนวก ข	71

สารบาญตาราง

Table		Page
2.1	Estimated availability of oil palm frond (OPF) classsifed by age of oil palm (kg, fresh weight) in Thailand	7
2.2	Distribution of oil palm area in Thailand in 2012–2014	7
2.3	Chemical composition of oil palm frond (OPF) (% DM basis)	9
3.1	Ingredients and chemical composition of experimental diets (% DM basis)	27
4.1.1	Chemical composition of the experimental diets, oil palm frond (OPF), and fungal treated oil palm frond	33
4.1.2	Effects of diet on feed intake of goats (Exp. 1)	35
4.1.3	Effects of diet on nutrient digestibility of goats (Exp. 1)	37
4.1.4	Effects of diet on rumen fermentation of goats (Exp. 1)	38
4.1.5	Effects of diet on blood metabolites in goats (Exp. 1)	39
4.1.6	Effects of diet on volatile fatty acid profiles in goats (Exp. 1)	41
4.1.7	Effects of diet on rumen microbes in goats (Exp. 1)	43
4.1.8	Effects of diet on N balance of goats (Exp. 1)	44
4.1.9	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on rumen fermentation of goats (Exp. 1)	57
4.2.1	Effects of diet on performance and DMI of finishing goats (Exp. 2)	46
4.2.2	Effects of diet on slaughtered carcass characteristics of finishing goats (Exp. 2)	48
4.2.3	Effects of diet on body and gut composition of finishing goats (Exp. 2)	51
4.2.4	Effects of diet on carcass composition of finishing goats (Exp. 2)	52
4.2.5	Effects of diet on chemical composition of *Longissimus dorsi* muscle of finishing goats (Exp. 2)	53

สารบาญภาพ

Figure		Page
2.1	Anatomy of an oil palm tree and oil palm frond (OPF)	6
2.2	The system of lignin digestion of white rot fungi	19
2.3	Utilization of protein and carbohydrates by rumen bacteria	21
2.4	Outline of the pathways of carbohydrate in the rumen	22

บทที่ 1

ผลของ fungal treatment ต่อการย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมรรถภาพการผลิตของแพะขุน

Effect of Fungal Treatment on Nutritive Digestibility, Rumen Fermentation and Productive Performance of Finishing Goat

1.1 บทนำ

ปัจจุบันพื้นที่สำหรับปลูกพืชอาหารสัตว์ และทุ่งหญ้าสาธารณะมีจำนวนไม่พอ และมีแนวโน้มลดลงไปเรื่อยๆ ในแต่ละปี ตามประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ ปศุสัตว์ของประเทศไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ruminant) ได้แก่ โคเนื้อ โคนม กระบือ แพะ และแกะ โดยในปี พ.ศ. 2553 มีปริมาณสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทยรวมทั้งหมด 8,570,727 ตัว และปี พ.ศ. 2554 มีปริมาณสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทยรวมทั้งหมด 8,857,246 ตัว โดยเพิ่มขึ้นคิดเป็น 3.34% (ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์, 2555) แนวโน้มของการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีมากขึ้นนี้แสดงให้เห็นว่าความต้องการอาหารหยาบมีปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอาจทำให้เกิดภาวะการขาดแคลนอาหารหยาบคุณภาพดีที่ใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยเฉพาะช่วงฤดูแล้งที่พืชอาหารสัตว์ขาดแคลน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการใช้แหล่งอาหารหยาบอื่น และ/ หรือศึกษาวิจัยหาวิธีการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรอื่นมาพัฒนาเป็นแหล่งอาหารหยาบทดแทน

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนชื้นของโลก (เส้นรุ้ง 10° N–S) สภาพภูมิประเทศที่เหมาะสมควรเป็นพื้นที่ราบมีความลาดชันไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำไม่ขัง อากาศถ่ายเทสะดวก อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 22–32 องศาเซลเซียส และจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย (ธีระ และคณะ, 2548) ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2553 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมด 3,888,403 ไร่ โดยภาคใต้มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 3,397,625 ไร่ คิดเป็น 87.3 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งประเทศ และแนวโน้มในอนาคตจะมีการขยายตัวพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากปัญหาความต้องการใช้น้ำมัน และพลังงานในประเทศที่สูงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับผลผลิตของผลพลอยได้จากการจัดการสวนปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วยใบ (leaves) และแกนทางใบ (petioles) จากต้นปาล์มน้ำมัน เรียกว่าทางใบปาล์มน้ำมัน (oil palm frond, OPF) ซึ่งในการจัดการสวนปาล์มน้ำมัน เกษตรกรจะเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มทุกๆ 15 วัน และต้องตัดทางใบปาล์มน้ำมันทุกครั้งที่มีการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์ม ดังนั้นในแต่ละเดือนจะมีการตัดทางใบปาล์มน้ำมันออกอย่างน้อย 2 ทางใบต่อต้น หรือคิดเป็น 44 ทางใบต่อไร่ เมื่อใช้อัตราการปลูก 22 ต้นต่อไร่ (ธีระ และคณะ, 2548) จากตัวเลขดังกล่าว คาดว่าจะมีผลผลิตทางใบปาล์มน้ำมันสดประมาณ 17.34 ล้านตัน/ปี (น้ำหนักสดประมาณ 10.3 กิโลกรัมต่อทางใบ และ OPF มีวัตถุแห้ง 41.9 เปอร์เซ็นต์) (Islam et al., 2000) ซึ่งเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่สำคัญ ที่สามารถใช้ทดแทนอาหารหยาบในช่วงที่มีการขาดแคลนอาหารหยาบได้ดี อย่างไรก็ตาม ทางใบปาล์มน้ำมันมีส่วนของผนังเซลล์ (cell wall) ลิก

โนเซลลูโลส (lignocellulose) สูง (70.0 และ 45.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (Ishida and Abu Hassan, 1997) และมีปริมาณลิกนิน (lignin) ประมาณ 20.5–26.6 เปอร์เซ็นต์ (Ishida and Abu Hassan, 1997; Abdul Khalil et al., 2006) ขณะที่ มีโปรตีนรวม (crude protein) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) ต่ำ (4.2–6.25 เปอร์เซ็นต์ และ 4.9 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม) (Ishida and Abu Hassan, 1997; Wan Zahari and Alimon, 2004) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันเป็นอาหารสัตว์ เพราะองค์ประกอบเหล่านี้ทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันต่ำในโค (35.6–40.0 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) (Ishida and Abu Hassan, 1997; Kawamoto, 2001) มีหลากหลายวิธีในการลด หรือสลายพันธะ lingocellulosis ทั้งทางกายภาพ และเคมี ที่ทำให้พันธะ lingocellulosis สลายตัว และทำให้สามารถเพิ่มคุณค่าและการย่อยได้ของโภชนะ ซึ่งได้มีการนำมาใช้ปรับปรุงผลพลอยได้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว และฟางข้าวสาลี (rice and wheat straw) (Viola et al., 2008; Hamed and Eliman, 2010) มากกว่านั้น การสร้างโคโลนี (colonization) ด้วยเชื้อรากลุ่ม while rot fungi (WRF) ได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคนิคที่เหมาะสม เพราะว่า WRF ชอบย่อยสลายลิกนิน (Moyson and Verachtert, 1991; Okano et al., 2005) และสารประกอบอะโรมาติก (aromatic) อื่นๆ สูงที่สุด (Cowling, 1961) และยังสามารถเปลี่ยนลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ให้กลายเป็นโปรตีนที่ใช้เป็นอาหารของสัตว์ได้อีกด้วย (Romeo, 1983) ซึ่งวิธีการทางชีวภาพ (biological treatment) ได้มีการนำมาใช้เพื่อปรับปรับคุณค่าทางโภชนะ และความสามารถในการย่อยได้ภายในกระเพาะรูเมนของอาหารสัตว์คุณภาพต่ำ (Ibrahim, 1983; Okano et al., 2005)

ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นประเด็นที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาวิจัย การปรับปรุงคุณภาพของทางใบปาล์มน้ำมันเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมัน โดยใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์ เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้ทางใบปาล์มน้ำมันมีโภชนะ และการย่อยได้ที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันโดยการใช้จุลินทรีย์นี้ในประเทศไทยมีผู้ศึกษาน้อยมาก และยังไม่มีการนำไปใช้ในการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง การทดลองนี้ จึงได้ทำการศึกษา ผลของ fungal treatment ต่อการย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมรรถภาพการผลิตของแพะขุน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง และน่าเชื่อถือเพื่อให้เกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทยสามารถนำผลการทดลองนี้ไปใช้ในการพัฒนาเป็นแหล่งอาหารหยาบ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องได้อย่างเป็นรูปธรรม และมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาค่าการย่อยได้ สมรรถภาพการขุน เมแทบอไลต์ของเลือด และประชากรของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในกระเพาะรูเมนของแพะที่เลี้ยงด้วยทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะโดยใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์

1.2.2 เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัย เพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านการเรียน การสอน และการใช้แก้ไขปัญหาทางดานการผลิตสัตว์ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสัตว์ตลอดจนเพื่อตีพิมพ์ผลงานวิจัยเผยแพร่ในวารสารระดับชาติและนานาชาติต่อไป

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาค่าการย่อยได้ สมรรถภาพการขุน เมแทบอไลต์ของเลือด และประชากรของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในกระเพาะรูเมนของแพะที่เลี้ยงด้วยทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะโดยใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของแผนงานวิจัย

การปรับปรุงคุณภาพของทางใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธีการทางชีวภาพ โดยการใช้จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเยื่อใยของทางใบปาล์มน้ำมัน มาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งการใช้จุลินทรีย์ในกลุ่ม white rot fungi ในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้ทางใบปาล์มน้ำมันมีโภชนะ และการย่อยได้ที่สูงขึ้น ทำให้สัตว์ที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันเป็นอาหารหยาบมีผลผลิตที่สูงขึ้นตามไปด้วย การทดลองนี้ จึงได้ทำการศึกษา และพัฒนาการนำทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะโดยใช้จุลินทรีย์มาใช้ทดลองในการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง และน่าเชื่อถือเพื่อให้เกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทยสามารถนำผลการทดลองนี้ไปใช้ในการพัฒนาเป็นแหล่งอาหารหยาบ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องได้อย่างเป็นรูปธรรม และมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

โดยมีสมมติฐานคือ

1. การใช้การใช้จุลินทรีย์ในกลุ่ม white rot fungi สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ และการย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันสูงขึ้นเพื่อเพิ่มการใช้วัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือทางการเกษตรเป็นอาหารสัตว์ได้อย่างดีมีประสิทธิภาพ

2. สามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักย่อยของจุลินทรีย์เป็นแหล่งอาหารหยาบหลักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และใช้ร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆ ในรูปแบบอาหารผสมครบส่วน (TMR) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อเพิ่มผลผลิต และคุณภาพของเนื้อ และนมสามารถปฏิบัติได้โดยใช้อาหารสัตว์ในท้องถิ่น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่ใช้ประโยชน์จากผลการวิจัย

1.5.1 ได้ข้อมูลคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักย่อยของจุลินทรีย์เป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก

1.5.2 การใช้การใช้จุลินทรีย์ในกลุ่ม white rot fungi สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ และการย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันสูงขึ้นเพื่อเพิ่มการใช้วัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือทางการเกษตรเป็นอาหารสัตว์ได้อย่างดีมีประสิทธิภาพ

1.5.3 ได้ข้อมูลแพะที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักย่อยของจุลินทรีย์เป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก และใช้ร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆ ในรูปแบบอาหารผสมครบส่วน (TMR) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักใน

กระเพาะรูเมน และการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อเพิ่มผลผลิต และคุณภาพของเนื้อ และนมสามารถปฏิบัติได้โดยใช้อาหารสัตว์ในท้องถิ่น

ข้อมูลที่ได้ทั้งหมด สามารถนำไปเผยแพร่แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์รายย่อยในเขตภาคใต้ และภาคอื่นๆ และหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมปศุสัตว์ กรมอาชีวศึกษา และมหาวิทยาลัย รวมทั้งหน่วยงานอื่นๆ ที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตสัตว์ สามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ได้

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ศึกษาเกี่ยวกับ “**ผลของ fungal treatment ต่อการย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมรรถภาพการผลิตของแพะขุน**” ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.1 สถานการณ์การเพิ่มการผลิตปาล์มน้ำมันในประเทศไทย

2.2 การใช้ประโยชน์จากทางใบปาล์มน้ำมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.3 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของอาหารหยาบ

2.4 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.5 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้ประโยชน์ทางใบปาล์มน้ำมันโดยใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.1 สถานการณ์การเพิ่มการผลิตปาล์มน้ำมันในประเทศไทย

ปาล์มน้ำมัน หรือ oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) มีถิ่นกำเนิดในแอฟริกา โดยมีหลักฐานทางประวัติศาสตร์ว่าชาวพื้นเมืองแถบแอฟริกา มีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันกันมาช้านาน แต่การปลูกในระยะแรกนั้นยังมิได้มีการปลูกแบบเป็นการค้า ซึ่งเริ่มมีการปลูกเป็นการค้าครั้งแรกราวคริสต์ศตวรรษที่ 16

ประเทศไทยเริ่มนำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกเป็นครั้งแรกตั้งแต่สมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยพระยาประดิพัทธ์ ภูบาล นำเข้ามาปลูกเป็นครั้งแรก เมื่อปี พ.ศ. 2472 โดยปลูกเป็นไม้ประดับที่สถานีทดลองยางคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และสถานีกสิกรรมพลิ้ว จังหวัดจันทบุรี (ธีระ และคณะ, 2548) และมีการปลูกปาล์มน้ำมันเชิงการค้าเป็นครั้งแรกที่ จังหวัดกระบี่ และสตูล เมื่อปี พ.ศ. 2511 จากนั้นได้กระจายออกสู่จังหวัดอื่นๆ ในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดชุมพร สุราษฎานี ระนอง พังงา ตรัง สงขลา และพัทลุง เป็นต้น

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชตระกูลปาล์ม (Palmae หรือ Arecaceae) เช่นเดียวกับมะพร้าว จาก อินทผาลัม และตาลโตนด เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ออกดอกเป็นช่อ เป็นจั่นแยกสาขาเป็นทลาย ช่อดอกมีดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียอยู่แยกกันคนละดอก แต่อยู่ในต้นเดียวกัน (monoecious) เป็นพืชผสมข้ามตัวเอง (cross-pollinated) ในแต่ละต้นจะเกิดช่อดอกได้ประมาณ 10-15 ช่อดอก มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 24-30 เดือนหลังจากปลูก แต่ละต้นให้ทลายปาล์มสด 15 ทลาย แต่ละทลายมีน้ำหนักประมาณ 15-20 กิโลกรัมต่อทลาย ซึ่งจำนวน หรือน้ำหนักขึ้นกับวิธีการปลูก และอายุของปาล์ม ส่วนผล มีผลเป็นทะลายประกอบด้วยก้านทะลาย ช่อทะลาย และผล (fruitlets) มีประมาณ 1,000-1,300 ผลต่อทลาย แต่ละผลประกอบด้วยชั้นเปลือก (meoscarp layer) และชั้นกะลา (endocarp หรือ shell) ภายในมีเนื้อขาวๆ (kernel) ปาล์มน้ำมันมีระบบรากแบบ fibrous root system โดยรากเกือบทั้งหมดเจริญตามแนวนอนระดับใกล้ผิวดิน ความลึกประมาณ 2 เมตร

ปาล์มน้ำมันมีลำต้นตั้งเดี่ยวตรง ทรงกระบอกมีเนื้อเยื่อเจริญเฉพาะตรงปลายยอด ลำต้นอาจสูงถึง 20–30 เมตร เมื่ออายุมากกว่า 10 ปี ขึ้นไป จะมีทางใบ (frond หรือ oil plam frond) ไม่แตกกิ่งแขนง เกิดขึ้นที่รวบยอด (crow) ประมาณ 40–50 ทาง โดยจะมีการสร้างทางใบใหม่ประมาณเดือนละ 2 ทาง ซึ่งเป็นลักษณะจำเพาะมีระเบียบในแต่ละข้างของก้านทางใบ (rachis) แกนทางใบ (petiole) ที่ริมทั้งสองข้างมีหนาม และมีใบย่อย (leaflet) ประมาณ 100–150 คู่ เป็นใบประกอบขนาดใหญ่ ใบเป็นรูปขนนกคล้ายใบมะพร้าว แต่ละใบย่อยยาวประมาณ 60–120 เซนติเมตร กว้าง 3.5–5 เซนติเมตร และแกนทางปาล์มน้ำมัน (oil palm petiole หรือ stem) มีความยาว 130–230 เซนติเมตร (Figure 2.1) ขณะที่ โคนทางปาล์มกว้างประมาณ 12–20 เซนติเมตร

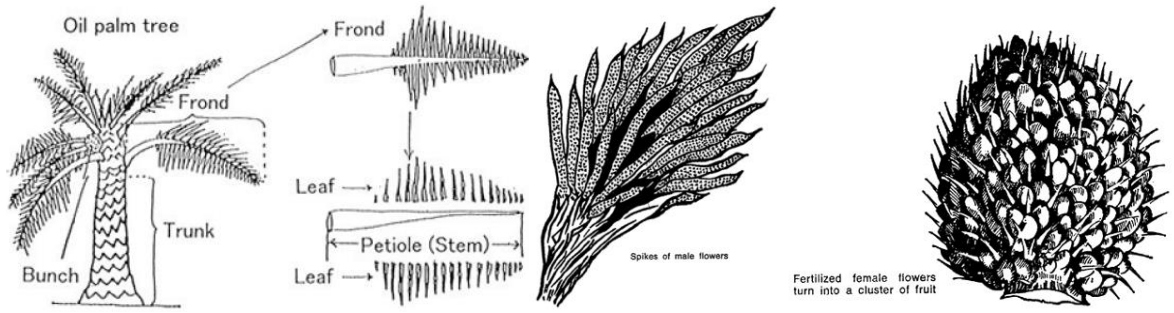

Figure 2.1 Anatomy of an oil palm tree and oil palm frond (OPF)
ที่มา: Ishida and Abu Hassan (1997)

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นที่มีอายุยืนประมาณ 25 ปี จัดเป็นพืชน้ำมันที่สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งที่เป็นอาหารโดยตรง และผลพลอยได้อื่นๆ เช่น ทางใบปาล์มน้ำมัน (oil plam frond, OPF) สามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ในการจัดการสวนปาล์มน้ำมัน เกษตรกรจะต้องตัดทางใบปาล์มน้ำมันทุกครั้งที่มีการเก็บเกี่ยวทะลาย ซึ่งโดยทั่วไปเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวทะลายทุกๆ 15 วัน ดังนั้น ในแต่ละเดือนจะมีการตัดทางใบปาล์มออกอย่างน้อย 2 ทางใบต่อต้น หรือคิดเป็น 44 ทางใบต่อไร่ เมื่อใช้อัตราการปลูก 22 ต้นต่อไร่ (ธีระ และคณะ, 2548) จากการศึกษาวิชัย และคณะ (2546) รายงานว่า จำนวนทางใบปาล์มน้ำมัน และน้ำหนักขึ้นอยู่กับอายุของปาล์ม โดยจำนวนทางใบ และน้ำหนักใบปาล์มน้ำมันมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุมากขึ้น (Table 2.1) จากตารางพบว่าน้ำหนักทางใบปาล์ม และใบปาล์มที่มีอายุระหว่าง 3–18 ปี มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 9.53 และ 2.06 กิโลกรัม/ทางใบ ตามลำดับ ซึ่งเป็นอาหารหยาบที่มีศักยภาพสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง

เมื่อพิจารณาพื้นที่ปลูกปาล์ม และผลผลิตทั้งประเทศพบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 3,714,967 ล้านไร่ ในปี พ.ศ. 2555 เป็น 4,148,168 ล้านไร่ ในปี พ.ศ. 2557 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) คิดคำนวณเป็นผลพลอยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันจะได้ประมาณ 2,190,232,704 ทางใบต่อปี (Table 2.2) จากตัวเลขดังกล่าว คาดว่าจะมีผลผลิตทางใบปาล์มน้ำมันสดประมาณ 20.87 ล้านตัน/ปี (น้ำหนักสดประมาณ 9.53 กิโลกรัมต่อทางใบ) (Islam et al., 2000) ประกอบกับในปัจจุบันพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในภาคใต้กำลังขยายมากขึ้น ทำให้ผลพลอยได้เหล่านี้มีมากขึ้นด้วย ขณะที่ ในประเทศมาเลเซียมีผลพลอยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันประมาณ 26 ล้านตันต่อปี (Wanrosli et al., 2004)

Table 2.1 Estimated availability of oil palm frond (OPF) classsifed by age of oil palm (kg, fresh weight) in Thailand

Age of oil palm	No. of OPF	Total weight of OPF		Total weight of frond		Total weight of leaftlet	
		Total	Average/frond	Total	Average/frond	Total	Average/frond
(Years)	(Fronds)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
3	18	59.4	3.3	45.0	2.5	14.4	0.8
4	18	75.6	4.2	59.4	3.3	16.2	0.9
5	24	112.8	4.7	84.0	3.5	28.8	1.2
6	15	130.0	5.2	97.5	3.9	32.5	1.3
7	48	283.2	5.9	211.2	4.4	72.0	1.5
8	78	546.0	7.0	421.2	5.4	124.8	1.6
9	33	293.7	8.9	231.0	7.0	62.7	1.9
10	39	401.7	10.3	315.9	8.1	85.8	2.2
11	12	144.0	12.0	114.0	9.5	30.0	2.5
12	33	415.8	12.6	326.7	9.9	89.1	2.7
13	9	116.1	12.9	92.7	10.3	23.4	2.6
14	18	237.6	13.2	187.2	10.4	50.4	2.8
15	3	39.3	13.1	31.2	10.4	8.1	2.7
16	6	78.0	13.0	61.8	10.3	16.2	2.7
17	3	39.3	13.1	30.9	10.3	8.4	2.8
18	6	78.0	13.0	61.8	10.3	16.2	2.7
Average	22.69	190.66	9.53	148.22	7.47	42.44	2.06

ที่มา: วิชัย และคณะ (2546)

Table 2.2 Distribution of oil palm area in Thailand in 2012–2014

Year	Region, rai				Whole kingdome, rai	No. of OPF[1]	Yield of fresh OPF, tonnes[2]	Yield of OPF, tonnes DM[3]
	Northern	North–eastern	Central plain	Southern				
2012	8,945	36,628	321,523	3,347,871	3,714,967	1,961,502,576	18,693,120	821,869.6
2013	12,364	44,765	330,360	3,379,848	3,767,336	1,989,153,936	18,956,637	833,455.5
2014[4]	35,825	77,849	378,530	3,655,964	4,148,168	2,190,232,704	20,872,918	917,707.5

[1]No. of OPF = Total area x 44 x 12.

[2]Total yield of fresh OPF per year = Total area x 44 x 12 x 9.53.

[3]Fresh OPF = 41.9% DM basis.

[4]During Juanuary to September 2014.

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2557)

ดังนั้น การนำทางใบปาล์มน้ำมันมาพัฒนาเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบ เพราะนอกจากจะเป็นการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ที่เหลือใช้จากการปลูกปาล์มน้ำมันแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของทางใบปาล์มน้ำมันอีกด้วย ทางใบปาล์ม

น้ำมันจำนวนนี้สามารถนำไปใช้เป็นอาหารหยาบทดแทนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ในภาวะที่มีการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ หรือในช่วงที่อาหารหยาบประเภทอื่นมีราคาแพงได้

2.2 การใช้ประโยชน์จากทางใบปาล์มน้ำมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.2.1 คุณค่าทางโภชนะ และปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมัน

ทางใบปาล์มน้ำมัน หมายถึงส่วนของทางใบทั้งหมด ประกอบด้วยใบย่อย (leaflets) และแกนทางใบ (petioles) จากต้นปาล์มน้ำมัน ซึ่งเรียกว่า oil palm frond (OPF) ทางใบปาล์มน้ำมันถือเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมปลูกปาล์มน้ำมัน เพราะทางใบปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่จะถูกวางทิ้งไว้คลุมดิน หรือวางทิ้งไว้ในสวนปาล์ม โดยปล่อยให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายประมาณ 6 เดือนจึงจะกลายเป็นปุ๋ย ซึ่งผลพลอยได้ทางใบปาล์มเหล่านั้นสามารถนำมาพัฒนาเป็นอาหารสัตว์ได้ ปัจจุบันถูกนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องอย่างแพร่ทั้งในประเทศ และต่างประเทศ โดยเฉพาะในช่วงที่ขาดแคลนอาหารหยาบ

จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันมีโปรตีนประมาณ 4.2–6.25 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 44.8 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 4.7–6.6 เปอร์เซ็นต์ (Ishida and Abu Hassan, 1997; Khamseekhiew et al., 2002; Zahari and Alimon, 2003) ขณะที่ Abu Hassan et al. (1995); Abu Hassan et al. (2006) รายงานว่าองค์ประกอบทางโภชนะของทางปาล์มน้ำมันสด (fresh oil palm frond) นั้นประกอบด้วยโปรตีน 2–6 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 38.5 เปอร์เซ็นต์ ผนังเซลล์ 78.7 เปอร์เซ็นต์ ลิกโนเซลลูโลส 55.6 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 3.2 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่าย 20 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 5.66 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ทำนองเดียวกับวุฒิชัย (2549) ที่รายงานว่า ทางใบปาล์มสดมีโปรตีนร้อยละ 5.2 ส่วนโภชนะอื่นๆ นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม คุณค่าทางโภชนะอาจผันแปรขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อายุของปาล์ม และทางใบปาล์มน้ำมัน อายุที่เก็บเกี่ยว ความถี่ในการเก็บ สัดส่วนของใบกับแกนทางใบ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสภาพอากาศ เป็นต้น สรุปทางใบปาล์มน้ำมันประกอบด้วยวัตถุแห้ง โปรตีน เถ้า ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน เฉลี่ย 31.1–39.6, 4.2–6.3, 3.2–10.0, 60.2–69.5, 45.5–55.6 และ 22.5–47.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 2.3) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะโปรตีน ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน จะผันแปรไปตามส่วนประกอบของทางใบคือ ทางใบปาล์มน้ำมันทั้งทางใบจะมีปริมาณเยื่อใยมากกว่าทางใบปาล์มที่ตัดส่วนก้านใบออก เนื่องจากส่วนก้านใบจะเป็นส่วนที่มีปริมาณเยื่อใยมากที่สุด และมีโปรตีนต่ำสุด ขณะที่ ใบย่อยปาล์มน้ำมัน (leaflets) มีโปรตีนเฉลี่ย 11 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าทางใบปาล์มน้ำมัน แสดงให้เห็นว่าใบย่อยปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีศักยภาพสูงสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเพราะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าระดับความต้องการเพื่อการดำรงชีพ (6.25 เปอร์เซ็นต์) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Playne, 1972) สอดคล้องกับรายงานของ Oshio et al. (1990) ที่รายงานว่า ใบย่อยปาล์มน้ำมันมีโปรตีน และไขมันสูงกว่าทางใบปาล์มน้ำมัน ขณะที่ ทางใบปาล์มน้ำมัน และใบย่อยปาล์มน้ำมันมีเซลลูโลส (cellulose) ต่ำกว่าเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ดังนั้น ในอนาคตเฉพาะใบย่อยปาล์มน้ำมันน่าจะเป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีศักยภาพสูงสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดี

Table 2.3 Chemical composition of oil palm frond (OPF) (% DM basis)

Composition[8]	OPF[1]	OPF[2]	OPF[3]	OPF[4]	OPF[5]	OPF[6]	Napier grass[7]
DM	39.6	38.2	31.1	–	36.4	–	31.6
OM	–	–	–	94.70	–	95.7	
CP	5.1	5.3	4.2	6.3	5.8	4.7	6.2
EE	3.3	2.7	2.0	–	1.2	2.1	1.9
Ash	10.0	8.2	4.7	5.3	6.6	3.2	6.8
NDF	60.2	68.7	69.5	67.6	–	78.7	–
ADF	54.1	54.6	–	45.5	–	55.6	–
ADL	47.4	22.5	–	26.6	–	–	–
Tannin	–	–	–	8.5	–	–	–
Ca	–	–	–	–	0.6	–	0.36
P	–	–	–	–	0.09	–	0.14
TDN	–	–	–	–	35.1	–	41.6
IVDMD[6]	–	–	35.6	–	–	–	–
ME (MJ/kg^{-1})	–	–	–	–	4.9	5.65	5.94

ที่มา: ดัดแปลงจาก [1]ขวัญดาว และคณะ (2549), [2]ประดิษฐ์ และคณะ (2551); [3]Ishida and Abu Hassan (1997); [4]Khamseekhiew et al. (2002); [5]Wan Zahari and Alimon (2004); [6]Alimon and Hair Bejo (1995); [7]Mohd Suki (2003)

[8]DM = Dry matter; OM = Organic matter; CP = Crude protein; NDF = Neutral detergent fiber; ADF = Acid detergent fiber; ADL = Acid detergent lignin; TDN = Total digestible nutrient; IVDMD = In vitro dry matter digestibility; ME = Metabolizable energy.

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางโภชนะของทางปาล์มสดนั้นกับอาหารหยาบชนิดอื่น เช่น ฟางข้าว พบว่ามีค่าการย่อยได้ค่อนข้างต่ำ แต่ใกล้เคียงกับการย่อยได้ของฟางข้าว (Abu Hassan et al., 1991) ขณะที่ มีโปรตีนสูงกว่า และมีปริมาณโภชนะใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์ (Mohd Suki, 2003) ชี้ให้เห็นว่าทางใบปาล์มน้ำมันมีความเหมาะสมสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง และสัตว์กินพืชอื่นๆ (herbivores) ได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์โภชนะที่ย่อยได้รวม (TDN) และการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter digestibility) ของทางใบปาล์มน้ำมันพบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ โดยทางใบปาล์มน้ำมัน มีเปอร์เซ็นต์โภชนะที่ย่อยได้รวม และการย่อยได้ของวัตถุแห้ง เท่ากับ 35.1 และ 35.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Ishida and Abu Hassan, 1997; Wan Zahari and Alimon, 2004) ขณะที่หญ้าขนมีโภชนะที่ย่อยได้รวม 51.4–52.0 เปอร์เซ็นต์ (ทิศสานติ์, 2544) ซึ่งโภชนะที่ย่อยได้รวมต่ำ ทำให้เกิดปัญหาการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยเมื่อสัตว์กินเข้าไปมีการแตกตัวเป็นอนุภาคขนาดเล็กช้า สัตว์จะต้องขยอกกลับมาเคี้ยวใหม่จนกระทั่งอาหารมีขนาดเล็กลง นอกจากนี้ ทางใบปาล์มน้ำมันต้องอยู่ในกระเพาะรูเมนนาน (long rumen retention time) ทำให้อัตราการไหลผ่านออกจากกระเพาะรูเมนช้าลง (จีระชัย, 2529) ทำให้สัตว์กินทางใบปาล์มน้ำมันเพิ่มเข้าไปใหม่ได้น้อยลงเนื่องจากมีอาหารเต็มอยู่กระเพาะ

นอกจากนี้ ปริมาณของลิกนินก็เป็นปัจจัยสำคัญในการบ่งชี้ถึงปริมาณการย่อยได้ของอาหาร ซึ่ง Akmar et al. (1996) รายงานว่า ทางใบปาล์มน้ำมันมีปริมาณลิกนิน (lignin) และซิลิก้า (silica) สูง ทำให้คุณค่าทางโภชนะ และการย่อยได้ลดลง ดังนั้น ถ้ามีการขจัดเอาลิกนินออกจะช่วยให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น (พันทิพา,

2539) ดังนั้น หากนำทางใบปาล์มน้ำมันสดมาผ่านการปรับปรุงคุณภาพ เช่น นำไปหมักในแบบรูปทางใบปาล์มน้ำมันหมัก (oil palm frond silage) นำไปอัดเม็ด (oil palm frond pellet) ก็จะช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของโภชนะในสัตว์ได้ (Islam et al., 2000) ซึ่ง Abu Hassan et al. (2006) รายงานว่า การหมักจะทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้นประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ การหมักทางปาล์มสดร่วมกับยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้นเป็น 12.5 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ 44.20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการหมักทางปาล์มสดร่วมกับยูเรีย 6 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้นเป็น 20.89 เปอร์เซ็นต์ แต่การย่อยได้จะลดลงเหลือ 35.80 เปอร์เซ็นต์ (Abu Hassan and Ishida, 1992) ตรงกันข้ามกับ ณัฐฐา (2552) ที่ศึกษาทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊ส ค่าปริมาณแก๊ส ค่าอัตราการผลิตแก๊ส และค่าศักยภาพในการผลิตแก๊สไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) สำหรับค่าอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 32.30, 33.42, 32.93 และ 36.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (P>0.05) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลทั้ง 4 ทรีทเมนต์ เท่ากับ 4.75, 4.93, 4.86 และ 5.33 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ (P>0.05) ทำนองเดียวกับปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และสำหรับสมดุลไนโตรเจนของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) นอกจากนี้ Bengaly (2002) พบว่าการนำทางปาล์มน้ำมันทรีตส์ โดยการนึ่งด้วยแรงดันสูงทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น เนื่องจาก ทำให้พันธะการเกาะกันของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่เกาะกับลิกนินลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Paengkoum et al. (2006) ที่รายงานว่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุของทางปาล์มน้ำมันทรีตส์โดยการนึ่งด้วยแรงดันสูงสูงกว่ากลุ่มควบคุม (ทางปาล์มน้ำมันที่ไม่ทรีตส์โดยการนึ่งด้วยแรงดันสูง) ดังนั้น จึงสามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันสด หมัก หรือการนึ่งด้วยแรงดันสูงเป็นแหล่งอาหารหยาบในสัตว์ได้

2.2.2 แนวทางการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันรูปแบบต่างๆ เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การใช้ประโยชน์จากทางใบปาล์มน้ำมันในสัตว์ได้มีการศึกษาวิจัยมาเป็นเวลานาน เนื่องจากสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากพืชอาหารชนิดต่างๆ (อาหารหยาบ) ได้สูง โดยอาศัยกิจกรรม และเอ็นไซม์ของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกระเพาะรูเมน โดยจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโพลิแซ็กคาร์ไรด์ได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดียว เช่น กลูโคส หรือเพนโตส โดยผ่านวิถีต่างๆ จากนั้นกลูโคสหรือเพนโตสจะถูกหมักในกระเพาะรูเมนอย่างรวดเร็ว และถูกสังเคราะห์ไปเป็นกรดไพรูวิค (pyruvic acid) หรือไพรูเวท (pyruvate) ซึ่งเป็นตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดไขมันที่ระเหยได้ ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นเป็นกรดไขมันระเหยได้ (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 และกรดวาลาริค (valeric acid, C_5) ไอโซวาลาริค (isovaleric acid) และไอโซบิวทีริก (isobutyric acid) อาจพบบ้างแต่ในปริมาณน้อย ซึ่งสัตว์จะดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป สำหรับแนวทางการนำทางปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค แพะ มีอยู่ 3 แบบ ได้แก่

แบบที่ 1 ให้กินสด โดยนำมาแขวนในคอก หรือนำมาหั่น เสริมด้วยอาหารข้น

แบบที่ 2 ให้กินในรูปหมัก โดยนำทางปาล์มน้ำมันมาผ่านกระบวนการหมักก่อนนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ เสริมด้วยอาหารข้น ระดับที่เหมาะสมในการใช้ทางปาล์มหมักเลี้ยงสัตว์ ในโคเนื้อ โคนม แกะ หรือแพะเท่ากับ 50, 50, 30 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

แบบที่ 3 ให้กินในรูปอาหารผสมเสร็จ (total mixed ration, TMR) โดยนำทางปาล์มน้ำมันสด หรือหมักผสมร่วมกับวัตถุดิบต่างๆ ซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะสม สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น

Abu Hassan and Ishida (1991) ทำการศึกษาผลการหมักทางใบปาล์มน้ำมันด้วยน้ำ กากน้ำตาล และยูเรียต่อความน่ากินของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก โดยมีทางใบปาล์มน้ำมันหมัก 4 รูปแบบคือ 1) ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก 2) ทางใบปาล์มน้ำมัน 94.1 เปอร์เซ็นต์ หมักร่วมกับน้ำ 5.9 เปอร์เซ็นต์ 3) ทางใบปาล์มน้ำมัน 91.3 เปอร์เซ็นต์ หมักร่วมกับน้ำ 5.8 เปอร์เซ็นต์ และกากน้ำตาล 2.9 เปอร์เซ็นต์ และ 4) ทางใบปาล์มน้ำมัน 92.2 เปอร์เซ็นต์ หมักร่วมกับน้ำ 5.8 เปอร์เซ็นต์ และยูเรีย 2 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 6 เดือน ในโคพื้นเมืองประเทศมาเลเซียพันธุ์ Kedah–Kelentan เพศผู้ พบว่าปริมาณการกินได้ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักทั้ง 4 รูปแบบ เท่ากับ 2.6, 3.8, 2.8 และ 2.0 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และ Abu Hassan et al. (1993) รายงานผลของระดับการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับอาหารข้นที่ใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มเป็นหลักในสองการทดลอง คือในโคเนื้อ และโคนม พบว่าการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันเปรียบเทียบกับการใช้หญ้า ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่น้ำหนักเพิ่มลดลงเมื่อระดับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเพิ่มขึ้น ขณะที่ ปริมาณ และเปอร์เซ็นต์ไขมันลดลงเมื่อระดับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณเนื้อแดงไม่แตกต่างกันเมื่อใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ ($P>0.05$) ส่วนการศึกษาการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักในโคนม พบว่าที่การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับอาหารข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตน้ำนมดีกว่ากลุ่มที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมัน และกลุ่มที่ได้รับหญ้าระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ มากกว่านั้น พบว่าทางใบปาล์มน้ำมันไม่มีผลต่อสุขภาพของแม่โคนมเมื่อใช้ในระยะยาว ส่วนในแกะพบว่า การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ และอาหารข้น 70 เปอร์เซ็นต์ โตเร็วกว่า (82 g/kg) กลุ่มควบคุมที่เลี้ยงในทุ่งหญ้า (81 g/kg) (Schrader, 1994)

ขณะที่ Dahlan et al. (2000) ศึกษาผลการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันสด ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ดในอาหารแพะต่อปริมาณอาหารที่กินได้ และการย่อยได้ของโภชนะ โดยใช้สูตรอาหาร 5 สูตร ประกอบด้วยทางใบปาล์มน้ำมันสด (D_1) ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก (D_2) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักผสมกับกากน้ำตาล (D_3) ทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ด (D_4) และทางใบปาล์มน้ำมันสับผสมกากเนื้อในปาล์มน้ำมัน รำข้าว เปลือกถั่วเหลือง กากน้ำตาล ปลาป่น ยูเรีย แร่ธาตุผสม และเกลือ (NaCl) ในรูปอาหารผสมสำเร็จรูปแล้วนำมาอัดเม็ด (D_5) โดยแพะที่ได้รับอาหาร D_1, D_2, D_3 และ D_4 ได้รับอาหารข้นในรูปอาหารแพะอัดเม็ดเสริมปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่าปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุทั้งหมด และปริมาณการกินได้ของโปรตีนรวมทั้งหมดของแพะที่ได้รับอาหาร D_4 และ D_5 สูงกว่าแพะที่ได้รับอาหาร D_1, D_2 และ D_3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการอัดเม็ดทางใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งส่งผลให้ระดับความชื้นในทางใบปาล์มน้ำมันลดลง และความหนาแน่นของอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้สัตว์กินได้ง่ายขึ้น สำหรับการย่อยได้ของโภชนะ

พบว่า แพะที่ได้รับอาหาร D_2 และ D_3 ในรูปของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และอาหาร D_4 ในรูปของทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ด มีเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโภชนะที่ใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่าเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโภชนะของแพะที่ได้รับอาหาร D_1 ในรูปของทางใบปาล์มน้ำมันสดสับ ในขณะที่แพะที่ได้รับอาหาร D_5 ในรูปของทางใบปาล์มน้ำมันร่วมกับวัตถุดิบแหล่งโปรตีน วัตถุดิบแหล่งพลังงาน และอัดเม็ด มีเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม และลิกโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น 29, 15, 68 และ 89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับ นอกจากนี้ เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโภชนะในแพะที่ได้รับอาหาร D_5 ยังสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโภชนะในแพะที่ได้รับอาหาร D_2, D_3 และ D_4 ต่อมา Khamseekhiew et al. (2002) ทำการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนของโคพื้นเมืองที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับอัดเม็ดและเสริมถั่วลิสงเถา (*Arachis pintoi*) ในอัตราส่วน 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ในปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่าระดับแอมโมเนีย–ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนของโคที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับอัดเม็ดเสริมถั่วลิสงเถาที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (91.9 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร) มีค่าสูงกว่าโคที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับอัดเม็ดเสริมถั่วลิสงเถาที่ 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ (43.6, 74.2 และ 88.9 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ ระดับถั่วลิสงเถาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้งหมดในของเหลวจากกระเพาะรูเมน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยโคที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับอัดเม็ดเสริมถั่วลิสงเถา 50 เปอร์เซ็นต์ มีระดับกรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้งหมดในของเหลวจากกระเพาะรูเมนสูงสุด คือ 69.2 มิลลิโมลต่อลิตร ขณะที่ Islam et al. (2000) รายงานว่า ทางใบปาล์มน้ำมัน (OPF) และทางใบ (petiole) ของปาล์มน้ำมันมีเยื่อใยสูงกว่าใบ (leaflet) และเส้นกึ่งกลางใบ (midrib) ของปาล์มน้ำมัน ทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และผนังเซลล์ค่อนข้างต่ำ ซึ่งการเสริมถั่วลิสงเถาในระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปร่วมกับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับอัดเม็ด จะช่วยให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และผนังเซลล์ของทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ดสูงขึ้น (Khamseekhiew et al., 2002) เนื่องจาก จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้รับไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจากถั่วลิสงเถา ส่งผลให้กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนเกิดได้ดีขึ้น ส่วน Wan Zahari et al. (2000) ได้ศึกษาปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ด ทางใบปาล์มน้ำมันสดสับ ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) ในโคสาวลูกผสม โดยผสมทางใบปาล์มน้ำมันสูตรต่างๆ กับอาหารข้นในอัตราส่วน 25, 40, 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ของวัตถุแห้งของอาหารผสมที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าสูงกว่าอาหารผสมที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันสดสับ และอาหารผสมที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของอาหารผสมที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันสดสับที่อัตราส่วน 25, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าอาหารผสมที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักที่อัตราส่วนเดียวกัน แต่การย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของอาหารผสมที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันสดสับจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของทางใบปาล์มน้ำมันสดสับในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของอาหารผสมที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันสดสับอัตราส่วน 75 เปอร์เซ็นต์ ลดลง 58 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของอาหารผสมที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันสดสับที่อัตราส่วน 25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การอัดเม็ด

ทางใบปาล์มน้ำมันจะทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้งลดลง เนื่องจากอัตราการไหลผ่านในกระเพาะรูเมนเร็วขึ้น ทำนองเดียวกับ Islam et al. (2000) ที่ศึกษาผลของการหมัก และการอัดเม็ดต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมัน ในแพะลูกผสมพื้นเมือง โดยใช้ทางใบปาล์มน้ำมัน 3 รูปแบบ คือ ทางใบปาล์มน้ำมันสดสับ ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และทางใบปาล์มน้ำมันสดสับแล้วอัดเม็ด ให้แพะได้รับอาหารข้นอัดเม็ดเสริมในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่าแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับ หรือหมักกินทางใบปาล์มน้ำมันเหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ดกินทางใบปาล์มน้ำมันเหลือประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณการกินได้ของทางใบปาล์มน้ำมันของแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับ ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ด มีค่า 29.69, 33.62 และ 49.62 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิก ตามลำดับ โดยการอัดเม็ดจะเพิ่มปริมาณการกินได้ของทางใบปาล์มน้ำมันประมาณ 67 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การหมักเพิ่มปริมาณการกินได้ของทางใบปาล์มน้ำมันประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ด มีสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนรวม (66.39 เปอร์เซ็นต์) และลิกโนเซลลูโลส (33.98 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าทางใบปาล์มน้ำมันรูปแบบอื่นๆ และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (52.65 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับ (46.77 เปอร์เซ็นต์) แต่ไม่แตกต่างจากแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมัก (50.96 เปอร์เซ็นต์) ส่วนสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุของแพะทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ปริมาณวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม และลิกโนเซลลูโลสที่ย่อยได้ ของแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ดมีค่าสูงกว่าแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันรูปแบบอื่นๆ ด้วย Hassim et al. (2013) ศึกษาการใช้ทางใบปาล์มหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบที่ระดับ 0, 100, 200 และ 300 กรัม/กิโลกรัมในรูปวัตถุแห้ง โดยผสมน้ำมันถั่วเหลือง (n–6, n–3) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ในสูตรอาหารข้นสำเร็จรูปอัดเม็ด และในทางใบปาล์มน้ำมันหมักในอัตราส่วน (40 กรัม/กิโลกรัมในรูปวัตถุแห้ง) เท่าๆ กัน พบว่าระดับอาหารทั้ง 4 สูตร ปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต ลักษณะซากไม่แตกต่างกัน และระดับทางใบปาล์มน้ำมันที่ผสมร่วมกับน้ำมันถั่วเหลืองระดับต่างๆ ไม่มีผลต่อการสะสมของปริมาณ n–6, n–3 ในไขมันกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อไขมันของแกะ จากการรวบรวมข้อมูล Dahlan (1996) สรุปว่า ระดับที่เหมาะสมของการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักผสมกับอาหารข้นในรูปแบบอาหารผสมเสร็จในโค กระบือ แกะ และแพะ เท่ากับ 50, 50, 30 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ส่วนการศึกษาในประเทศไทย ประดิษฐ์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันสด และทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาล และยูเรียระดับต่างๆ โดยใช้แพะลูกผสมแองโกลนูเบียน x พื้นเมือง พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และผนังเซลล์ของแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันทั้ง 4 รูปแบบ ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่แพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ และยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ มีสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีน (75.76 เปอร์เซ็นต์) ใกล้เคียงกับแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ (64.21 และ 64.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่สูงกว่าแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันสด (55.02 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ตรงกันข้ามกับการศึกษาของณัฐฐา และคณะ (2552) ศึกษาการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2,

4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบเลี้ยงแพะพันธุ์ลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ และเสริมอาหารข้นมีโปรตีนรวม 15.03 เปอร์เซ็นต์ ในระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ผลการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส ของแพะที่เลี้ยงด้วยทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 4 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ทำนองเดียวกับการศึกษาของ สันติ และคณะ (2555) ที่รายงานว่า การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ในโคพื้นเมืองไทยที่เสริมอาหารข้นในระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่า กลุ่มโคที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้รวมสูงกว่าโคกลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์) แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ในทุกทรีทเมนต์ ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) จากข้อมูลสรุปว่าการใช้กากน้ำตาลหมักร่วมกับทางใบปาล์มน้ำมันที่ระดับ 0-6 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ การใช้ประโยชน์โภชนะ และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนของโคพื้นเมือง การศึกษาในครั้งนี้เป็นไปในทำนองเดียวกันกับการศึกษาของ Abu Hassan and Ishida (1991) และ Dahlan et al. (2000) ที่รายงานว่า แพะพื้นเมืองมาเลเซียที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุ (53.8 และ 51.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

สุนทร (2555) ศึกษาการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักผสมกับอาหารข้นในรูปแบบอาหารผสมเสร็จแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักผสมร่วมกับอาหารข้นในอัตราส่วน 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยในสูตรอาหารผสมเสร็จ (TMR) ทุกสูตร มีโปรตีนรวมประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงแพะพันธุ์ลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะที่ได้รับอาหารผสมเสร็จ (TMR) สูตรที่ 4 มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่า แพะที่ได้รับอาหาร TMR สูตรที่ 3, 2 และ 1 เท่ากับ 67.06, 50.61, 32.75 และ 24.44 กรัม/วัน ตามลำดับ (P<0.01) ทำนองเดียวกับลักษณะซาก แพะกลุ่มที่ได้รับอาหาร TMR สูตรที่ 3 และ 4 มีเปอร์เซ็นต์ไขมันรวมในซากสูงกว่า กลุ่มที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (P<0.05) จากการทดลองสรุปได้ว่า สามารถใช้อาหาร TMR ที่มีสัดส่วนของทางใบปาล์มน้ำมันหมักผสมร่วมกับอาหารข้น ในอัตราส่วน 60:40 ระยะเวลาเลี้ยงแพะ 180 วัน จะได้ผลตอบแทนมากที่สุด อาจเนื่องมาจาก ปริมาณเยื่อใยที่มีอยู่ในอาหาร TMR ที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบหลักสูง (>60) มีโครงสร้างจับตัวกันอย่างเหนียวแน่น จึงส่งผลให้การเข้าย่อยสลาย (degrade) ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนช้า มีผลทำให้อาหารต้องค้างอยู่ในกระเพาะส่วนต้นนานกว่าการใช้อาหารหยาบชนิดอื่น จึงส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์โภชนะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง สอดคล้องกับ โอภาส (2556) รายงานว่า ทางใบปาล์มน้ำมันสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบทดแทนหญ้าในช่วงที่หญ้าขาดแคลนได้ แต่ทางใบปาล์มน้ำมันจะมีโปรตีนค่อนข้างต่ำ ดังนั้น สัตว์เมื่อกินทางใบปาล์มน้ำมันอย่างเดียวมีโภชนะที่ไม่เพียง และทางใบปาล์มน้ำมันหมักสามารถถูกย่อยได้ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ (คิดเป็นวัตถุแห้ง) จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น จึงมีการพัฒนาทางใบปาล์มน้ำมันก่อนนำไปให้สัตว์กินในหลายรูปแบบ เช่น การนำทางใบปาล์มน้ำมันนำไปหมักก่อนแล้วจึงนำไปใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง นอกจากนี้ ยังมีการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักไปผสมกับอาหารข้นในสูตรอาหารผสมเสร็จ (TMR)

รวมทั้งการนำไปใช้ผสมร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใย (fibrolytic enzyme) เพื่อการย่อยสลายเยื่อใย (ไชยวรรณ และวันวิศาข์, 2555) เป็นต้น

เกตวรรณ และคณะ (2557) ศึกษาการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบผสมกับอาหารข้นในรูปแบบอาหารผสมเสร็จ (TMR) ร่วมกับการเสริมเอนไซม์ที่ผลิตจากเชื้อราสายพันธุ์ *Aspergillus* spp. BCC 274 ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ไซแลนเนส (xylanase) เบต้ากลูคาเนส (b-glucanase) เซลลูเลส (cellulase) แมนนาเนส (mananase) และอะไมเลส (amylase) $1x10^7$, $9x10^6$, $2x10^6$, $1x10^6$ และ $2x10^6$ ยูนิต/กิโลกรัม โดยใช้เอนไซม์ 4 ระดับ คือ 0, 2, 4 และ 6 กรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้ง โดยใช้สัดส่วนของทางใบปาล์มน้ำมันหมักต่ออาหารข้น 60:40 ระดับโปรตีนรวม 15.40 เปอร์เซ็นต์ และโภชนะที่ย่อยได้รวม 55.67 เปอร์เซ็นต์ ในแพะลูกผสมบอร์-พื้นเมืองไทย 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอาหารผสมสำเร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบเสริมเอนไซม์ระดับ 2, 4 และ 6 กรัม/กก.วัตถุแห้ง มีศักยภาพในการย่อยสลายของอาหารสูงกว่าอาหารผสมสำเร็จเสริมเอนไซม์ที่ระดับ 0 กรัม/กก.วัตถุแห้ง เนื่องมาจากการเสริมเอนไซม์ในอาหารผสมเสร็จมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์ผนังเซลล์ในอาหารลดลง โดยเอนไซม์ที่ผลิตจากเชื้อราสายพันธุ์ *Aspergillus* spp. เป็นเอนไซม์ย่อยเยื่อใยจะช่วยสลายโครงสร้างของเยื่อใย ทำให้เปอร์เซ็นต์ผนังเซลล์ในอาหารลดลงได้

2.3 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของอาหารหยาบ

2.3.1 วิธีการปรับปรุงอาหารหยาบคุณภาพต่ำ

การที่ทางใบปาล์มน้ำมันมีค่าการย่อยได้ และคุณค่าทางโภชนะต่ำ ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการนำมาเป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของใบปาล์มน้ำมัน ดังนั้น ปัจจุบันนักโภชนะศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้องได้พยายามปรับปรุงคุณภาพของใบปาล์มน้ำมันเพื่อให้สัตว์กินใบปาล์มน้ำมันได้มากขึ้น และได้รับสารอาหารสูงขึ้น Ibrahim (1983) กล่าวว่า มีหลายวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงอาหารหยาบคุณภาพต่ำเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร ปริมาณการกิน และการย่อยได้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 วิธี คือ 1) วิธีทางกายภาพ 2) วิธีการทางเคมี 3) วิธีทางเคมี-กายภาพ และ 4) วิธีทางชีวภาพ

1) วิธีการทางกายภาพ (physical treatment)

เป็นการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบโดยการใช้เครื่องมือกลต่างๆ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ เช่น การแช่น้ำ การสับ การบด การอัดเม็ด การต้มการนึ่ง การอบไอน้ำ และการฉายแสง เป็นต้น การแช่น้ำจะช่วยในการกำจัดสารออกซาเลท (oxalate) ออกไปได้บางส่วน แต่มีข้อเสียคือ จะทำให้โภชนะที่ละลายได้ (soluble nutrients) สูญเสียไปด้วย ได้มีการศึกษาการสับ การบด และการอัดเม็ด ซึ่งเป็นวิธีการลดขนาดของฟางข้าว พบว่ามีผลให้สัตว์กินฟางข้าวได้มากขึ้น ส่วนการนึ่ง การใช้รังสีแกมมา การใช้ไอน้ำร้อนสามารถทำให้การย่อยได้ของอาหารสูงขึ้นเนื่องจากมีการสลายตัวของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส แต่จะไม่มีการสลายพันธะของลิกนิน (ยิ่งลักษณ์, 2543) ส่วนการศึกษาในทางใบปาล์มน้ำมัน Bengaly (2002) พบว่าการนำทางใบปาล์มน้ำมันทรีตส์โดยการนึ่งด้วยแรงดันสูงทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากทำให้พันธะการเกาะกันของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่เกาะกับลิกนินลดลง สอดคล้องกับการ

ทดลองของ Paengkoum et al. (2006) ที่รายงานว่า ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุของทางปาล์มน้ำมันทรีตส์โดยการนึ่งด้วยแรงดันสูงสูงกว่ากลุ่มควบคุม (ทางปาล์มน้ำมันที่ไม่ทรีตส์โดยการนึ่งด้วยแรงดันสูง) อย่างไรก็ตาม วิธีการเหล่านี้ยังไม่เหมาะสมที่จะใช้ในระดับเกษตรกร หรือฟาร์มขนาดเล็ก เนื่องจากการจัดการค่อนข้างยาก และค่าใช้จ่ายสูง (Ibrahim, 1983)

2) วิธีการทางเคมี (chemical treatment)

เป็นการปรับปรุงคุณภาพโดยการใช้สารเคมี โดยสารเคมีที่ใช้ในวิธีการนี้แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กรด ด่าง และตัวออกซิไดส์ (Doyle et al., 1986)

1. กรดที่ใช้ในการเพิ่มค่าการย่อยได้ของอาหารหยาบ ได้แก่ กรดซัลฟิวริกริค และกรดเกลือ เป็นต้น โดยกรดจะไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ ทำให้ได้น้ำตาลออกมา และบางครั้งยังทำให้พันธะระหว่างลิกนิน และคาร์โบไฮเดรตแยกออก ซึ่ง Doyle et al. (1986) ทำการศึกษาในฟางข้าว พบว่าทำให้ฟางข้าวมีค่าการย่อยได้เพิ่มขึ้น และ Saha et al. (2005) ที่ศึกษาการใช้กรดซัลฟิวริกริคเข้มข้น 1% (v/v) pretreatment รำข้าวพบว่าการย่อยได้เพิ่มขึ้น

2. ด่างที่ใช้ในการเพิ่มค่าการย่อยได้ของอาหารหยาบ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ยูเรีย และแอมโมเนีย เป็นต้น Jackson (1977) ทำการศึกษาในฟางข้าว ได้รายงานว่าด่างจะทำปฏิกิริยากับฟางข้าวโดยจะทำให้แขนของไฮโดรเจนที่จับระหว่างเซลลูโลส 2 โมเลกุลอ่อนตัวลง และด่างจะย่อยบางส่วนของแขนที่จับกันระหว่างกลุ่มของกรดยูโรนิคของเฮมิเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลไซโลสกลูโคส และเซลโลไบโอส และย่อยกลุ่มอะซิติลของเฮมิเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลไซโลส (Crosthwaite et al., 1984) ทำให้ส่วนประกอบของผนังเซลล์เกิดการอ่อนตัว ทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าไปสัมผัส และย่อยได้มากขึ้น ทำให้ฟางข้าวมีค่าการย่อยได้มากขึ้น ส่วนการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในฟางข้าวจะทำให้การย่อยได้ และการกินได้ของฟางข้าวเพิ่มมากขึ้น เพราะด่างจะช่วยให้ลิกนินสามารถละลายได้มากขึ้น หรือทำให้การจับตัวกันระหว่างลิกนิน หรือกลุ่ม phenolic กับส่วนผนังเซลล์หลวมตัวขึ้น (Ibrahim, 1983) การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในฟางข้าวจะเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ จึงต้องมีการใช้แคลเซียมไฮ–ดรอกไซด์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อทำให้ระยะเวลาในการหมักสั้นลง (Doyle, 1982) การใช้ยูเรีย–แอมโมเนียในฟางข้าว เมื่อสัตว์กินฟางข้าวที่มียูเรียเข้าไป ยูเรียจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ยูรีเอส (urease) จากจุลินทรีย์ได้แอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นด่างเข้าไปทำลายพันธะระหว่างลิกนินที่จับกับเซลลูโลส หรือเฮมิเซลลูโลส และจุลินทรีย์ยังสามารถใช้ประโยชน์จากแอมโมเนียโดยทำปฏิกิริยากับกรดคีโต (keto acid) จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตได้เป็นกรดอะมิโน ซึ่งจะถูกสร้างเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ซึ่งจะถูกย่อยในกระเพาะแท้และลำไส้เล็กโดยเอนไซม์ของสัตว์เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนของสัตว์ต่อไป (Ibrahim, 1983) ส่วนในทางปาล์มน้ำมัน Abu Hassan et al. (2006) รายงานว่า การหมักทางปาล์มสดร่วมกับยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์จะทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้นเป็น 12.5 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ 44.20 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ การหมักทางปาล์มสดร่วมกับยูเรีย 6 เปอร์เซ็นต์จะทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้นเป็น 20.89 เปอร์เซ็นต์ แต่การย่อยได้จะลดลงเหลือ 35.80 เปอร์เซ็นต์ (Abu Hassan and Ishida, 1992) และ Diaz et al. (2013) ที่ศึกษาการ

ใช้ alkaline peroxide ปรับสภาพ (pretreatment) รำข้าวพบว่าการย่อยได้เพิ่มขึ้น แต่การปรับสภาพรำด้วยสารเคมีต่างๆ นั้น ต้องคำนึงถึงอันตรายจากสารเคมีที่อาจตกค้างเมื่อนำไปเป็นอาหารสัตว์ด้วย

3. ตัวออกซิไดส์ที่ใช้ในการเพิ่มค่าการย่อยได้ของอาหารหยาบ ได้แก่ ก๊าซคลอรีน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น โดยตัวออกซิไดส์จะมีผลทำให้พันธะระหว่างลิกนิน และคาร์โบไฮเดรตแตกตัว เพื่อเพิ่มการย่อยได้ของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสแต่ไม่มีผลต่อการลดปริมาณของลิกนิน แต่มีการพบว่าถ้าหากใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงจะมีผลทำให้ลิกนินละลายได้สูงขึ้นโดยไปลดแรงดึงดูดระหว่างจุดเชื่อมของลิกนินหรือ phenolic group กับส่วนประกอบของผนังเซลล์ ทำให้ลิกนินแยกตัวออกมาจากเซลลูโลส (Ibrahim, 1983) ข้อเสียของการใช้สารเคมี คือ การลงทุนสูง การมีพิษตกค้าง การสูญเสียโภชนะที่ละลายง่าย เช่น คาร์โบไฮเดรต และเฮมิเซลลูโลส (พันธิพา, 2539) อีกทั้งอาจมีอันตรายต่อสัตว์ และผู้ปฏิบัติงาน ตลอดจนมีผลตกค้างในสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดมลภาวะได้

3) วิธีการทางกายภาพ–เคมี (physico–chemical treatment)

เป็นการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบโดยการใช้ทั้งวิธีกล และวิธีทางเคมีร่วมกันโดยทั่วไปแล้วพบว่ามีผลดีมากกว่าการใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเพียงอย่างเดียว (วิบูลย์ศักดิ์, 2530) โดยวิธีการนี้ได้แก่ การบดฟางข้าวร่วมกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ การอัดเม็ดฟางข้าวร่วมกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และการนึ่งร่วมกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น การหั่น และการบดจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของฟางข้าวให้เพิ่มขึ้น ทำให้สารเคมีสามารถทำปฏิกิริยาได้ทั่วถึงขึ้น ส่งผลให้ค่าการย่อยได้เพิ่มขึ้น วิธีการใช้สารเคมี เช่น ยูเรียร่วมกับการอัดเม็ดของฟางข้าวเพื่อช่วยให้การย่อยได้ดีขึ้น เพราะความร้อนในระหว่างการอัดเม็ดจะช่วยให้ยูเรียสลายตัวเป็นแอมโมเนีย ส่วนการใช้ความร้อนร่วมกับการใช้สารเคมีตัวอื่นๆ จะมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเร่งปฏิกิริยาทางเคมีให้เกิดเร็วขึ้นทำให้ค่าการย่อยได้สูงขึ้น (ถนัด, 2531)

4) วิธีการทางชีวภาพ (biological treatment)

เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยใช้จุลินทรีย์ในธรรมชาติ ประเภท แบคทีเรียยีสต์ รา หรือเอนไซม์ (Ibrahim, 1983) จุลินทรีย์ในธรรมชาติที่มีความสามารถย่อยลิกนินจะเป็นกลุ่มของเชื้อรา Class Basidiomycetes มี 3 กลุ่ม คือ white rot fungi, soft rot fungi และ brown rot fungi (Cowling, 1961; Gilbertson, 1980) ซึ่งใน 3 กลุ่มนี้ white rot fungi เป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการย่อยลิกนิน (lignin) และสารประกอบอะโรมาติก (aromatic) อื่นๆ สูงที่สุด (Cowling, 1961) นอกจากนี้เชื้อรา Class Basidomycetes ยังสามารถเปลี่ยนลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose)ให้กลายเป็นโปรตีนที่ใช้เป็นอาหารของสัตว์ได้อีกด้วย (Romeo, 1983) การเพิ่มคุณค่าของอาหารหยาบโดยใช้เชื้อรากลุ่ม white rot fungi ได้มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะเห็ดสกุล *Plurotus* เป็นเห็ดที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารที่มีโมเลกุลซับซ้อนได้ดี (กิตติพงศ์และปัญญา, 2533) เป็นพวกที่ชอบเซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) วัสดุที่ใช้ในการเพาะเห็ดเหล่านี้จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพก่อน นอกจากนี้ยังใช้วัสดุเพาะได้อย่างกว้างขวาง สามารถใช้วัสดุแทบทุกชนิดที่เป็นผลพลอยได้จากการเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมจากต้นพืชโดยเฉพาะฟางข้าว นอกจากนี้เห็ดสกุล *Plurotus* ยังสามารถเปลี่ยนสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในฟางข้าวให้กลายเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้ ทำให้อัตราส่วนของสารอินทรีย์ไนโตรเจนสูงขึ้น ส่งผลให้ฟางข้าวมีคุณภาพที่ดีขึ้นตามไปด้วย (ปาณิสรา, 2548)

Rahman et al. (2011) ศึกษาการปรับปรุงความสามารถในการย่อยสลายได้ของทางใบปาล์มน้ำมันโดยใช้กลุ่ม white rot fungi พบว่ากลุ่ม white rot fungi 9 ชนิด (*Ceriporiopsis subvermispora, Pleurotus ostreatus, Phlebia brevispora, Lentinula edodes, Pleurotus eryngii and Trametes versicolor*) มีความสามารถย่อยลิกนินได้สูงสุด และมีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้จากการศึกษาใน *in vitro* gas อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับระยะเวลาในการสร้างโคโลนีในกระบวนการหมักแบบอาหารแข็ง (solid state fermentation) เนื่องจากมีเพิ่มการสูญเสียของอินทรียวัตถุ (OM) และองค์ประกอบภายในเซลล์ที่ละลายน้ำได้ (neutral detergent soluble, NDS) และทำให้ลดความสามารถในการสลายได้ของลิกนิน (Raj et al., 1989; Singh et al., 1990) นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเชื้อรา อาหารเลี้ยงเชื้อ และสภาพของการเพาะเลี้ยงเชื้อ เป็นต้น (Singh et al., 1990)

2.4.2 กลไกการย่อยสลายลิกนินโดย white rot fungi

กลไกในการย่อยสลายลิกนินของเห็ดราแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป แต่โดยกระบวนการหลักแล้วมีลักษณะคล้ายกัน โดยในการย่อยสลายลิกนิน white rot fungi จะผลิตเอนไซม์ 3 ชนิด คือ LiP, MnP และ glyoxal oxidase (GLOX) โดยเอนไซม์ทั้งสามมีการทำงานร่วมกัน (Figure 2.2)

โดยในอันดับแรกเอนไซม์ GLOX จะทำหน้าที่ในการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สำหรับการทำงานของ peroxidase แล้วจะมี LiP เป็นเอนไซม์หลักในกระบวนการย่อยโครงสร้างที่เป็น non–phenolic ของลิกนิน ในส่วนที่เป็น aromatic nuclei จะถูก oxidized ไปเป็น aryl cation radical ซึ่งจะถูกตัดในขบวนการ fragmentation ในขณะผลิต veratryl alcohol ซึ่งเป็น secondary metabolite ทำหน้าที่กระตุ้นการสร้าง LiP และเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายประจุ (charge–transfer mediator) เอนไซม์ MnP จะผลิต $Mn3^{+}$ ซึ่งเมื่อถูก chelate จะทำหน้าที่ oxidize สารพวก phenolic สารระหว่างปฏิกิริยาทั้งที่เป็น aliphatic และ aromatic ก็จะถูก metabolize ต่อโดยราจนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ภิญญดา, 2546) ซึ่งผลของปฏิกิริยาจะปรากฏชัดเมื่อระดับความเป็นกรดด่างเหมาะสม (ประธาน, 2536) โดยเชื้อเห็ดภูฐาน (*Pleurotus eous*) จะสามารถย่อยวัตถุดิบได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพความเป็นกรดด่างที่เป็นกลาง (pH 7.0) หรืออยู่ในช่วง pH 6.5–7.5

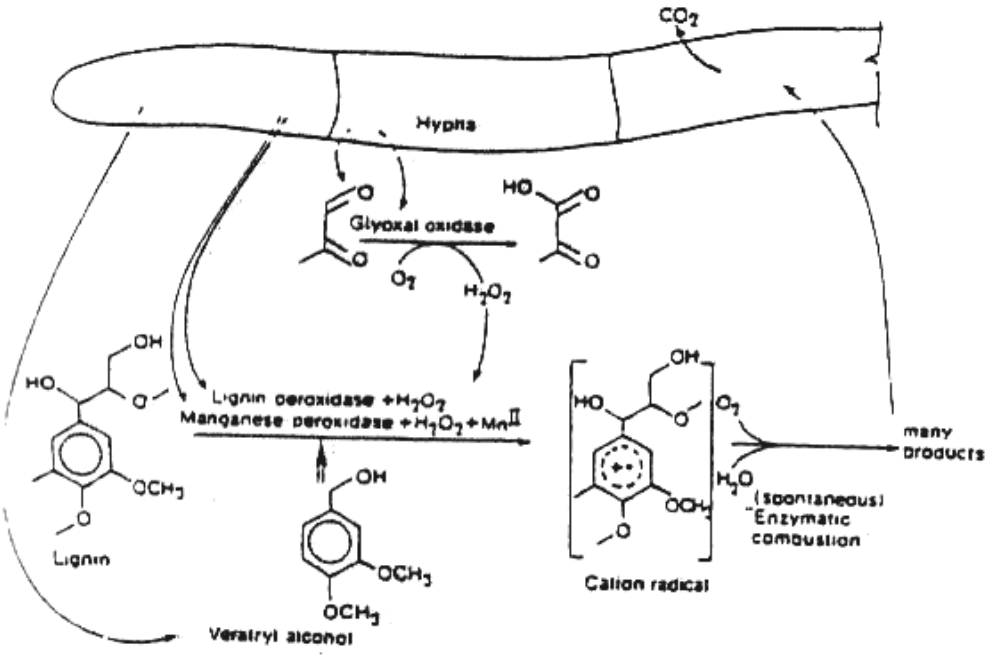

Figure 2.2 The system of lignin digestion of white rot fungi

ที่มา: Krik and Hammol (1992)

การทดลองเกี่ยวกับการใช้เห็ด *Pleurotus* ในการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรแล้วนำมาเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยปัจจุบันยังมีน้อยมาก ผลการศึกษาเบื้องต้น ยิ่งลักษณ์ (2543) ได้ทดลองใช้เห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajorcaju*) ในการปรับปรุงคุณภาพของหญ้าแฝกแล้วนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ในแกะ พบว่าหญ้าแฝกที่ใช้เห็ดนางฟ้าในการปรับปรุงคุณภาพมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ผนังเซลล์ และเซลลูโลส เพิ่มขึ้นจากหญ้าแฝกปกติ 51.17, 16.14, 29.43 และ 25.21% เป็น 54.87, 33.32, 31.40 และ 28.68% ตามลำดับ และ ปาณิสรา (2548) รายงานว่าเห็ด *Pleurotus* ทำให้ฟางข้าวมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงขึ้น และยังสามารถเพิ่มการย่อยได้ของอินทรียวัตถุในฟางได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์การย่อยได้ที่เกิดขึ้นอาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของเอนไซม์ที่ผลิตจากสายพันธุ์เชื้อเห็ดแต่ละชนิดที่มีความแตกต่างกัน (Phan and Sabaratnam, 2012) และความเฉพาะเจาะจงต่อชนิดอาหาร (substrate specificity) หรือชนิดเยื่อใยของเห็ดแต่ละชนิด

โดยสรุปจากการตรวจเอกสารจะเห็นได้ว่า ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีงานทดลองใดที่ได้มีการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าโดยวิธีการทางชีวภาพ โดยเฉพาะการใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์มาทดลองเลี้ยงในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ดังนั้น เพื่อศึกษาถึงวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ การย่อยได้ และสมรรถภาพการผลิต การทดลองนี้จึงเป็นการทดลองแรกที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ โดยการใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์ในการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยการศึกษาจะทำในรูปแบบของการใช้งานจริง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง และน่าเชื่อถือเพื่อให้เกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทยสามารถนำผลการทดลองนี้ไปใช้ในการพัฒนาเป็นแหล่งอาหารหยาบ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องได้อย่างเป็นรูปธรรม และมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

2.4 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีวิวัฒนาการและพัฒนาการที่มีความเฉพาะตัว โดยมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใย (dietary fiber) ซึ่งสัตว์ทั่วไปโดยเฉพาะสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน ได้แก่ แบคทีเรีย (bacteria) โปรโตซัว (protozoa) และเชื้อรา (fungi) ซึ่งในกระเพาะรูเมน ประกอบไปด้วยชนิดของแบคทีเรียที่สำคัญหลักอย่างน้อย 30 ชนิด (species) และมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 10^{10}–10^{12} เซลล์ต่อมิลลิลิตรของของเหลวในรูเมน มีโปรโตซัว 40 ชนิด (species) มีความเข้มข้น 10^{5}–10^{7} เซลล์ต่อมิลลิลิตรของของเหลวรูเมน และมีเชื้อรา 5 ชนิด (species) มีความเข้นข้นน้อยกว่า 10^{5} เซลล์ต่อมิลลิลิตรของเหลวในกระเพาะรูเมน ซึ่งพบว่าแบคทีเรียมีบทบาท และความสำคัญมากกว่าโปรโตซัว และเชื้อราต่ออัตรา และขอบเขตของการย่อยสลายอาหารเยื่อใย การผลิตกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดจะถูกดูดซึมผ่านพนังของรูเมนเป็นส่วนใหญ่ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้เป็นแหล่งหลักของพลังงาน ส่วนจุลินทรีย์โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตของจุลินทรีย์ตลอดจนส่วนของโภชนะของอาหารที่เหลือ จะไหลผ่านออกจากกระเพาะรูเมนเข้าสู่ทางเดินอาหารส่วนล่าง โดยเฉพาะที่ลำไส้เล็ก เพื่อการย่อยสลาย และการดูดซึมใช้ในตัวสัตว์ต่อไป (Ghorbani et al., 2002)

นอกจากนี้ จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนยังสามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งโปรตีนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถใช้ไนโตรเจนที่ไม่ใช้โปรตีนแท้ (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) พบว่านอกจากความเป็นกรด–ด่างในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสมแล้ว ระดับแอมโมเนีย–ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนก็มีความสำคัญต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งระดับที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4–5 mg% ส่วน Song and Kennelly (1990) พบว่าระดับแอมโมเนีย–ไนโตรเจนที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 15–20 mg% ที่จะก่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายและกระบวนการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนที่เหมาะสม

2.4.1 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 และเป็นสารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นต้น (เมธา, 2533) ซึ่งมีอัตราการย่อยสลายแตกต่างกัน พบว่าสาร non–protein nitrogen (NPN) มีอัตราการสลายเร็วที่สุด

ซึ่งการย่อยและการเมทธาโบลิซึมของสารประกอบไนโตรเจนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Figure 2.3) ได้เป็น peptide กรดแอมิโน และแอมโมเนีย ต่อจากนั้นจะมีการสลายตัวกรดแอมิโนส่วนหนึ่งโดยกระบวนการ deamination โดยอาศัยเอ็นไซม์จากจุลินทรีย์ได้เป็นแอมโมเนีย และ α–keto acid (เมธา, 2533) แล้วจุลินทรีย์หรือตัวสัตว์เองจะนำไปใช้ประโยชน์สังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน เมธา (2533) กล่าวว่า 80% ของไนโตรเจน

ของจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์โดยการใช้แอมโมเนีย ส่วนอีก 20% ใช้กรดแอมิโนโดยตรง ส่วน α–keto acid อาจถูกสลายตัวต่อไปเพื่อใช้ในการสร้างสารประกอบอื่นๆ หรือเป็นแหล่งพลังงาน เช่น acetic, propionic, butyric, iso–butyric และ iso–valeric เป็นต้น

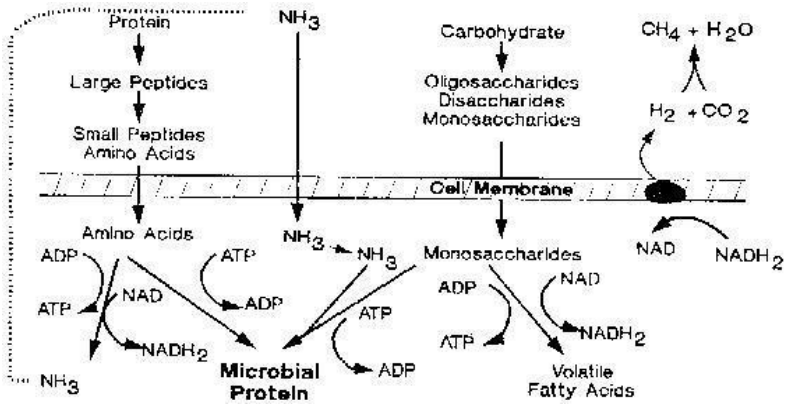

Figure 2.3 Utilization of protein and carbohydrates by rumen bacteria

ที่มา: Nocek and Russell (1988)

2.4.2 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในรูปของโพลิแซ็กคาร์ไรด์ จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดียว เช่น กลูโคส หรือเพนโตส โดยผ่านวิถีต่างๆ จากนั้นกลูโคสหรือเพนโตสจะถูกหมักในกระเพาะรูเมนอย่างรวดเร็ว และถูกสังเคราะห์ไปเป็นกรดไพรูวิค (pyruvic acid) หรือไพรูเวท (pyruvate) ซึ่งเป็นตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นเป็นกรดไขมันระเหยได้ (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 2.4) และกรดวาลาริค (valeric acid, C_5) ไอโซวาลาริค (isovaleric acid) และไอโซบิวทีริก (isobutyric acid) อาจพบบ้างแต่ในปริมาณน้อย ซึ่งสัตว์จะดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป จากการศึกษาพบว่า น้ำตาลจะถูกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว รองลงมาคือแป้ง และพวกที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช เช่น เซลยูโลส และเฮมไมเซลยูโลส จะถูกเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด

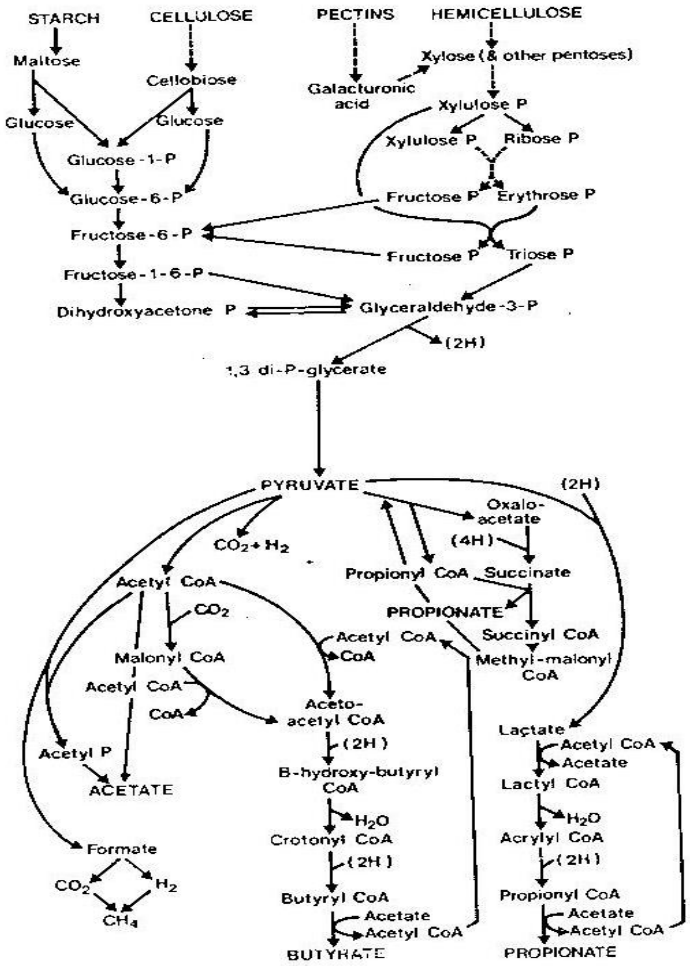

Figure 2.4 Outline of the pathways of carbohydrate in the rumen

ที่มา: Preston and Leng (1987)

นอกจากนี้ยังมีแก๊ซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊ซเมทเธน (CH_4) และความร้อนมีประมาณ 20% (ME) ส่วนพลังงานที่ผลิตได้ในรูป ATP จากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ

1) ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์

2) ใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อการดำรงชีพ Nocek and Russell (1988) กล่าวว่า ตัวที่จำกัดการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ที่สำคัญคือ พลังงาน ดังนั้น อาหารโคนมจึงต้องมีโภชนะพลังงานแก่จุลินทรีย์อย่างเพียงพอ และในสัดส่วนที่เหมาะสมกันจึงจะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.4.3 การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะรูเมนสังเคราะห์จากกรดแอมมิโน และเปปไทด์ที่ได้จากการย่อย สลายโปรตีนหรือพวกที่อยู่ในรูปอิสระ อย่างไรก็ตาม พบว่าแอมโมเนียที่หมุนเวียนอยู่ภายใน กระเพาะรูเมนเป็นแหล่งไนโตรเจนหลักในการสังเคราะห์โปรตีนเช่นกัน Al-Rabbat et al. (1971) รายงานว่า 61 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์โปรตีนมาจากแอมโมเนีย และ 39 เปอร์เซ็นต์มาจากกรดแอมมิโน และเปปไทด์ อย่างไรก็ตาม

Maeng et al. (1976) รายงานว่า สัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแอมโมเนีย และกรดแอมมิโนในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนคือ 75 เปอร์เซ็นต์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และ 25 เปอร์เซ็นต์กรดแอมมิโน-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

2.5 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการปรับปรุง และการเพิ่มคุณภาพของอาหารหยาบโดยการหมักด้วยจุลินทรีย์เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในการนำเอาจุลินทรีย์ต่างๆ มาใช้ในการเพิ่มคุณค่า หรือคุณภาพให้กับอาหารหยาบเพื่อเป็นอาหารสัตว์ โดยเฉพาะในทางใบปาล์มน้ำมันนั้น สิ่งที่ควรคำนึงถึงนอกจากกลุ่มของจุลินทรีย์ที่จะนำมาคัดเลือกให้เหมาะสมเพื่อให้สามารถย่อยสลายลิกนินได้สูง และมีการสูญเสียคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อคงโภชนะในอาหารสัตว์ไว้ให้ได้มากที่สุด และจุลินทรีย์จะต้องไม่เป็นพิษต่อคน หรือตัวสัตว์ และสภาพแวดล้อม อีกทั้งสามารถนำมาประยุกต์ใช้โดยมีกระบวนการที่ง่ายไม่ยุ่งยาก ต้นทุนต่ำ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ คือ กลุ่มเห็ดกินได้ ซึ่งยังสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับอาหารหยาบมากขึ้นอีกด้วย

การทดลองเกี่ยวกับการใช้เห็ด *Pleurotus* ในการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรแล้วนำมาเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยปัจจุบันยังมีน้อยมาก ผลการศึกษาเบื้องต้น ยิ่งลักษณ์ (2543) ได้ทดลองใช้เห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajorcaju*) ในการปรับปรุงคุณภาพของหญ้าแฝกแล้วนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ในแกะ พบว่าหญ้าแฝกที่ใช้เห็ดนางฟ้าในการปรับปรุงคุณภาพมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ผนังเซลล์ และเซลลูโลส เพิ่มขึ้นจากหญ้าแฝกปกติ 51.17, 16.14, 29.43 และ 25.21% เป็น 54.87, 33.32, 31.40 และ 28.68% ตามลำดับ และปาณิสรา (2548) รายงานว่าเห็ด *Pleurotus* ทำให้ฟางข้าวมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงขึ้น และยังสามารถเพิ่มการย่อยได้ของอินทรียวัตถุในฟางได้อีกด้วย

Dorado et al. (1999) ทำการศึกษาการหมักฟางแบบ solid state fermentation เป็นเวลา 60 วัน ด้วยเชื้อกลุ่ม white rot fungi 4 ชนิด คือ *Phanerochaete chrysosporium, Pleurotus eryngii, Phlebia radiata* และ *Ceriporiopsis subvermispora* พบว่าจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดสามารถผลิตเอ็นไซม์ Mn2+ peroxidase ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของลิกนินในฟางข้าว และพบว่า *Pleurotus eryngii* ย่อยลิกนินได้สูงที่สุด แต่ *Pleurotus eryngii* และ *Ceriporiopsis subvermispora* ให้ค่าน้ำหนักที่หายไปน้อยที่สุด และย่อยสลายลิกนินได้รวดเร็วในช่วง 30 วันแรกของการหมัก สอดคล้องกับรายงานของ Punj (1967) ซึ่งใช้เห็ดกินได้สกุล *Pleurotus* 3 ตัว คือ *P. ostreatus, P. cajus* และ *P. florida* หมักในฟางข้าวพบว่า สามารถย่อยสลายลิกนิน

และลดปริมาณของลิกนินในฟางข้าวได้ จาก 6% เหลือ 3% แต่มีการสูญเสียองค์ประกอบของวัตถุแห้งถึง 50% และยังพบรายงานอีกว่า เชื้อเห็ดในสกุล *Pleurotus* sp. สามารถทำให้การย่อยได้ของข้าวสาลีเพิ่มขึ้นจาก 40% เป็น 60–65% (Zadrazil, 1984) นอกจากนั้น พบว่าเชื้อ *Coprinus* sp., *Pleurotus florida, Pleurotussajor–caju* และ *Sporotrichum pulverulentum* สามารถเพิ่มโปรตีนให้กับฟางข้าว และชานอ้อยในการหมักแบบแห้ง (solid state fermentation, SSF) โดยมีระยะการหมักเป็นเวลา 14, 21 และ 30 วัน โดยพบว่าฟางข้าว และชานอ้อยมีโปรตีนสูงขึ้น ($P<0.05$) และไม่มีผลต่อค่าการย่อยได้ ฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อ *Pleurotus sajor–caju* ให้ค่าโปรตีนสูงสุด ($P<0.05$) ปริมาณลิกนิน และลิกโนเซลลูโลสลดลงเล็กน้อย ($P>0.05$) เมื่อหมักเป็นเวลา 30 วัน (ประธาน, 2536)

Hadder et al. (1992) ทดลองหมักฟางข้าวเป็นเวลา 30 วัน โดยใช้เชื้อ white rot fungi 3 ชนิด คือ *Cyathus stercoreus* ATCC–36910, *Pharerochaete chrysosporium* BKM และ *Pleurotus sajor–caju* 357 ทำการหมักแบบแห้งโดยใช้ส่วนของใบ และลำต้นของฟางข้าว พบว่าค่า *In vitro* dry matterdisappearance (IVDMD) เพิ่มขึ้นเป็น 49% และ 46.3% เมื่อใช้เชื้อ *Cyathusstercoreus* (Cs) ATCC–36910 และ *Pleurotus sajor–caju* (Ps) 357 ตามลำดับ

ส่วนการศึกษาการใช้เชื้อราในการหมักทางใบปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะในประเทศไทยยังมีจำกัด Chanjula et al. (2015) ได้ศึกษาการเจริญเติบโต และคุณค่าทางอาหารของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา จำนวน 6 ชนิด (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus djamor*, *Lentinus squarrosulus*, *Schizophyllum commune*, *Lentinus polychrous*, และ *Lentinus sajor–caju* ตามลำดับ) พบว่า เชื้อรา *Lentinus sajor–caju* (LSc) สามารถเจริญได้ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ ($P< 0.05$) นอกจากนี้ ทำให้ปริมาณของลิกโนเซลลูโลสลดลง และมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) และ ภูวดล และคณะ (2559) ศึกษาผลของระดับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรา (*Lentinus sajor–caju,* LSc) ในอาหารผสมครบส่วน (TMR) ระดับ 30% ต่อปริมาณการกินได้ และเมแทบอไลท์ในกระแสเลือดแพะ โดยใช้แพะลูกผสมพื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50% เพศผู้ พบว่าระดับของทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราทั้ง 4 ระดับ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมดของวัตถุแห้ง ปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัว (% BW) และการกินได้กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิก (g/kg $BW^{0.75}$) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P> 0.05$) นอกจากนี้พบว่า ค่าความเป็นกรด–ด่างในกระเพาะรูเมน glucose, insulin, beta–hydroxybutyrate (BHBA), BUN และค่า PCV ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P> 0.05$) จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราที่ระดับ 30 % ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ และเมแทบอไลท์ในเลือดแพะ ทำนองเดียวกับการศึกษาของ Fazaeli et al. (2002) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ฟางข้าวสาลีหมักเชื้อราทดแทนฟางข้าวสาลี (ที่ระดับ 0–30% DM) พบว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณการกินได้อย่างอิสระ และการย่อยได้ของโภชนะเมื่อเพิ่มระดับของฟางข้าวสาลีหมักเชื้อรา อย่างไรก็ตาม กลุ่มที่ได้รับระดับ FTOPF มากกว่า 20% มีแนวโน้มปริมาณการกินได้ลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจาก กลิ่น และรสชาติที่ไม่น่ากินของทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรา ใกล้เคียงกับรายงานของ Fazaeli and Talebian Masoodi (2006) ที่ทำการศึกษาการใช้ฟางข้าวสาลีหมักเชื้อราภายหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต (spent wheat straw, SPWS) ทดแทนฟางข้าวสาลี (0–30% DM) พบว่าการใช้ SPWS ที่ระดับ 20% ไม่มีผลต่อ

ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง และปริมาณการกินได้ของ DM, OM, CF, ADF และ NDF แต่การใช้ SPWS ที่มากกว่า 20% พบว่ามีปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ของโภชนะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) เนื่องจากมีกลิ่น และรสชาติไม่น่ากิน ขณะที่ Adamovic et al. (1998) รายงานว่า การเพิ่มปริมาณของฟางข้าวสาลีหมักเชื้อรา (ที่ระดับ 17% DM) ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ แต่พบว่าการใช้ฟางข้าวสาลีหมักเชื้อราที่ระดับ 17% มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่อวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P< 0.01$)

นอกจากนี้ ยังมีการนำเอาจุลินทรีย์อื่นๆ มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหมัก และคุณค่าทางอาหาร โดย Streeter et al. (1982) หมักฟางข้าวสาลีด้วยเชื้อ *Pleurotus ostreatus* ร่วมกับเชื้อแบคทีเรีย *Erwinia carotovara* พบว่าค่าการย่อยได้เพิ่มจาก 32.7% เป็น 47.7% ($P<0.05$) Singh and Gupta (1979) ใส่เชื้อ*Lactobacillus planarum* ลงในส่วนผสมของฟางข้าวกับหญ้าแพรก โดยทำการหมักเป็นเวลา 35 วัน พบว่ามีปริมาณของกรดแลกติกเพิ่มจาก 1.6 เป็น 2.18% และกรดไขมันระเหยได้เพิ่มจาก 3.6 เป็น 6.54% ส่วนจุลินทรีย์อื่นๆ ที่น่าสนใจ ได้แก่ ยีสต์ ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งวิตามินให้กับจุลินทรีย์ได้ ยีสต์จัดเป็น fungi ที่อยู่ใน class ascomycetes สามารถเจริญได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน ยีสต์เป็นแหล่งโปรตีนและวิตามินที่ดี มีโปรตีนประมาณ 40% ของน้ำหนักแห้งของยีสต์ และมีปริมาณของกรดอะมิโนไลซีนสูง แต่ในการเสริมยีสต์ในอาหารสัตว์ก็มีการจำกัดเนื่องจากประมาณ 20% ของ crude protein nitrogen ในยีสต์มาจากส่วนของ nucleic acid ซึ่งถ้าให้ปริมาณมากเกินไปในอาหารสัตว์ อาจเกิดปัญหาการเพิ่มของระดับยูริกแอซิดในกระแสเลือด (Charline, 2000) ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของสัตว์

โดยสรุปจากการตรวจเอกสารจะเห็นได้ว่า สามารถใช้เชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ มาใช้ในการเพิ่มคุณค่าหรือคุณภาพให้กับอาหารหยาบเพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีงานทดลองใดที่ได้มีการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าโดยวิธีการทางชีวภาพ โดยเฉพาะการใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์มาทดลองเลี้ยงในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ดังนั้น เพื่อศึกษาถึงวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะการย่อยได้ และสมรรถภาพการผลิต การทดลองนี้จึงเป็นการทดลองแรกที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตใบปาล์มน้ำมัน และทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ โดยการใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์ในการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยการศึกษาจะทำในรูปแบบของการใช้งานจริง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง และน่าเชื่อถือเพื่อให้เกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทยสามารถนำผลการทดลองนี้ไปใช้ในการพัฒนาเป็นแหล่งอาหารหยาบ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องได้อย่างเป็นรูปธรรม และมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต อีกทั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปสู่การพัฒนาการใช้ประโยชน์ทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าโดยวิธีการทางชีวภาพในอาหารผสมครบส่วน หรืออาหารผสมสำเร็จรูป (total mixed ration, TMR) สำหรับเลี้ยงโคเนื้อ โคนม กระบือ แพะ และแกะต่อไป โดยมีสมมุติฐานคือ การใช้การใช้จุลินทรีย์ในกลุ่ม white rot fungi สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ และการย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันสูงขึ้น เพื่อเพิ่มการใช้วัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือทางการเกษตรเป็นอาหารสัตว์ได้อย่างดีมีประสิทธิภาพ และใช้ร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆ ในรูปแบบอาหารผสมครบส่วน (TMR) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อเพิ่มผลผลิต และคุณภาพของเนื้อ และนมสามารถปฏิบัติได้โดยใช้อาหารสัตว์ในท้องถิ่น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ การทดลองแบ่งออกเป็นการทดลองย่อยๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ ซึ่งในแต่ละการทดลองมีรายละเอียดหลายงาน โดยแผนงานการวิจัยภายใต้โครงการ **"ผลของ fungal treatment ต่อการย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมรรถภาพการผลิตของแพะขุน"** โดยมุ่งเน้นในเรื่องการนำใช้ และหาแนวทางใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารแพะเพื่อใช้ร่วมกับอาหารที่มีอยู่ในท้องถิ่นในการเพิ่มผลผลิตของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยการศึกษาครั้งนี้มีกิจกรรมการวิจัยแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยๆ ดังนี้

3.1 การศึกษาการย่อยได้ และสมดุลไนโตรเจนในแพะ

1. แผนการทดลอง และกลุ่มทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ 3x3 จัตุรัสละตินที่ทำซ้ำหลายจัตุรัส (3x3 Replicated Latin Square Design) โดยมีกลุ่มทดลอง (treatment) เป็นอาหารทดลอง แบ่งเป็น 3 สูตร ดังต่อไปนี้

อาหารทดลองที่ 1 (T1: กลุ่มควบคุม) อาหารประกอบด้วยทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่หมัก (untreated oil palm frond, UOPF)

อาหารทดลองที่ 2 (T2) ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา (fungal treated oil palm frond, FTOPF)

อาหารทดลองที่ 3 (T3) ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราร่วมกับยูเรีย 1% (fungal treated oil palm frond with 1% urea, FTOPFU)

ในการทดลอง ได้แบ่งระยะเวลาการทดลองออกเป็น 3 ช่วงการทดลอง (period) โดยในแต่ละช่วงการทดลองใช้เวลา 21 วัน แพะทดลองทุกตัวได้รับปัจจัยในการทดลองจนครบทุกกลุ่มอาหาร

2. สัตว์ทดลอง และการจัดการ

ใช้แพะลูกผสมพื้นเมืองเพศผู้ จำนวน 6 ตัว มีอายุเฉลี่ยประมาณ 12 เดือน โดยแพะมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 33.5$\pm$1.7 กิโลกรัม ในช่วงปรับสัตว์ก่อนเข้างานทดลองได้ทำการฉีดยาถ่ายพยาธิภายนอกและภายใน (vermax) อัตราการใช้ยา 2 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว 50 กิโลกรัม และฉีดไวตามิน เอดีอี (AD_3E) อัตราการใช้ยา 2 มิลลิลิตร ต่อตัวทุกตัว นอกจากนี้ ได้ทำการฉีดวัคซีนเพื่อป้องกันโรคติดต่อที่สำคัญได้แก่ วัคซีนโรคคอบวม เป็นต้น

3. การให้อาหารสัตว์ทดลอง

1. ระยะปรับสัตว์ (adjusting period) ทำการสุ่มสัตว์ทดลองตามแผนการทดลองแบบ 3 x 3 Replicated Latin Square Design โดยสัตว์จะได้รับอาหารตามกลุ่มทดลองเป็นเวลา 14 วัน อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารผสมครบส่วน (TMR) ที่มีสัดส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ (UOPF, FTOPF และ FTOPFU) 70:30 โดยใช้ทางใบปาล์มน้ำมันตามแผนการทดลอง สูตรอาหารข้นมีโปรตีนหยาบ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยสูตรอาหารมีระดับโภชนาการต่างๆ ครบตามความต้องการของแพะตามคำแนะนำของ NRC (1981) แพะทุกตัวถูกขังในคอกขังเดี่ยวได้รับอาหารอย่างอิสระ เพื่อทำการวัดหาปริมาณการกินได้อย่างอิสระ (voluntary feed intake) โดยแบ่งการให้อาหารออกเป็น 2 เวลา คือ ช่วงเช้าให้อาหารเวลา 08.00 น. และช่วงบ่ายให้อาหาร

เวลา 16.00 น. โดยในการให้อาหารช่วงเช้า ทำการชั่งให้ (ให้เช้า) และชั่งอาหารที่เหลือ (เหลือเย็น) และในช่วงบ่ายทำการชั่งอาหารให้ (ให้เย็น) และชั่งอาหารที่เหลือ (เหลือเช้า) เพื่อนำไปหาปริมาณการกินได้ในแต่ละวัน โดยทำการจดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้และอาหารที่เหลือทั้งเช้าและเย็นทุกวัน ปริมาณการกินได้ต่อวัน คำนวณโดยสูตร

ปริมาณการกินได้ต่อวัน(วัตถุแห้ง) = อาหารให้ตอนเช้า (วัตถุแห้ง) – อาหารเหลือตอนเช้า (วัตถุแห้ง) + อาหารให้ตอนเย็น (วัตถุแห้ง) – อาหารเหลือตอนเย็น (วัตถุแห้ง)

ในระยะนี้สัตว์อยู่ในกรงขังเดี่ยวที่มีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา และมีการทำความสะอาดอ่างน้ำทุกๆ วัน (เช้า–เย็น) และทำความสะอาดคอกในช่วงเช้าทุกวัน

Table 3.1 Ingredients and chemical composition of experimental diets (% DM basis)

	Experimental diets		
Item	UOPF	FTOPF	FTOPFU
UOPF[1]	30.0	–	–
FTOPF	–	30.0	–
FTOPFU	–	–	30.0
Ground corn, GC	45.0	45.0	45.0
Soybean meal, SBM (44% CP)	7.3	7.3	7.3
Fish meal, 55% CP	0.4	0.4	0.4
Leucaena leave meal, LLM	7.0	7.0	7.0
Palm kernel cake, PKC	7.0	7.0	7.0
Molasses	2.1	2.1	2.1
Dicalcium phosphate	0.4	0.4	0.4
Salt	0.2	0.2	0.2
Mineral and vitamin mix[3]	0.7	0.7	0.7
Total	100.0	100.0	100.0
Estimated nutrients (%)			
CP	15.0	15.0	15.0
TDN	76.0	76.0	76.0
Cost, bath/kg[4]	10.2	10.8	11.4

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea.

[3]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.

[4]Metabolizable energy (ME) = TDN x 0.04409 x 0.82. (NRC, 1981).

2. ระยะเก็บตัวอย่าง (collection period) ระยะนี้สัตว์อยู่บนกรงเมทธาโบลิซึม (metabolism crates) ทำการปรับสัตว์ให้มีความคุ้นเคยกับกรงเป็นเวลา 2 วันแรก และในช่วง 5 วันหลัง ทำการเก็บตัวอย่างอาหาร มูล และปัสสาวะติดต่อกันในช่วง 5 วันของแต่ละช่วงการทดลอง ตามวิธีการเก็บแบบทั้งหมด (total collection) (Schnieder and Flatt, 1975) และทำการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักและเลือด ในวันที่ 21 (วันสุดท้าย) ของแต่ละช่วงการทดลอง ในการให้อาหารให้ตามกลุ่มทดลองเหมือนช่วงปรับสัตว์ แต่ให้เพียง 90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการกินได้ทั้งหมดในช่วงระยะปรับสัตว์ เพื่อให้สัตว์ทดลองกินอาหารหมดตามสัดส่วนที่กำหนดในกลุ่มทดลอง

4. การเก็บข้อมูล และการเก็บตัวอย่าง

4.1 การเก็บตัวอย่างอาหาร

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารผสมครบส่วนทุกสัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วันติดต่อกัน ทั้งอาหารที่ให้ (เช้า–เย็น) และอาหารที่เหลือ (เช้า–เย็น) หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง โดยนำมาปรับการกินได้ของสัตว์ในแต่ละวัน และอีกส่วนหนึ่งจะสุ่มเก็บจากแต่ละช่วงการทดลอง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เช่น วัตถุแห้ง (dry matter, DM) โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) เถ้า (Ash) ตามวิธีการของ AOAC (1995) และวิเคราะห์ neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) และ acid detergent lignin (ADL) ตามวิธีการของ Van Soest et al. (1991)

4.2 การชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลอง

ชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองเป็นจำนวน 3 ครั้งในแต่ละช่วงการทดลองคือครั้งที่ 1 ชั่งก่อนเข้างานทดลองเป็นช่วงก่อนเข้าระยะปรับสัตว์ทดลองช่วงการทดลองที่ 1 ชั่งครั้งที่ 2 หลังจากปรับสัตว์และจะนำสัตว์ขึ้นกรงเมทธาโบลิซึม และครั้งที่ 3 หลังจากเสร็จการทดลองในแต่ละช่วงการทดลอง คือ หลังจากเก็บตัวอย่างบนกรงเมทธาโบลิซึม ทำการจดบันทึก ตลอดจนกระทั่งเสร็จการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของสัตว์ทดลอง

4.3 การวัดและการสุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะหมัก (rumen fluid)

สุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะหมัก (rumen fluid) ของสัตว์ทดลองแต่ละกลุ่มทดลองที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงของการให้อาหารของวันสุดท้ายของแต่ละระยะทดลอง โดยวิธีการใช้ stomach tube ร่วมกับ vacuum pump ปริมาณ 100 มล. นำมาวัดค่าความเป็นกรด–ด่างทันทีโดยใช้ pH meter (HANNA instruments HI 98153 microcomputer pH meter) และหลังจากนั้น แบ่งของเหลวจากกระเพาะหมักออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 สุ่มเก็บประมาณ 40 มิลลิลิตร เติม 1M H_2SO_4 จำนวน 1 มิลลิลิตรต่อของเหลวจากรูเมน 10 มิลลิลิตร เพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาเฉพาะส่วนที่ใส (supernatant) เก็บไว้ประมาณ 20–35 มิลลิลิตร นำไปเก็บในตู้แช่แข็งอุณหภูมิประมาณ –20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์แอมโมเนีย–ไนโตรเจน (ammonia–nitrogen, NH_3–N) โดยวิธีการกลั่น (Bremner and Keeney, 1965) โดยใช้เครื่อง KJELTEC AUTO 2200 Analyzer (Foss, TECATOR) และของเหลวอีกส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid,

TVFA) และกรดไขมันระเหยได้ที่สำคัญได้แก่ 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 กว้าง x ยาว x ลึก = 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 แบคทีเรียและเชื้อราใช้กำลังขยาย 400 เท่า (40x) โปรโตซัวใช้กำลังขยาย 100 เท่า (10x) ทำการนับ 2 ซ้ำ เช่นเดียวกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยของประชากร

4.4 การสุ่มเก็บตัวอย่างเลือด

เก็บตัวอย่างเลือด ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงของการให้อาหารของวันสุดท้ายของแต่ละระยะทดลอง โดยเก็บจากเส้นเลือดดำใหญ่บริเวณคอ (jugular vein) ปริมาณ 3 มล. ใส่หลอดที่มีเฮพพารีน (heparinized) เพื่อป้องกันไม่ให้เลือดแข็งตัว หลังจากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 10 นาทีและเก็บส่วน plasma ใส่ตู้เย็นแช่แข็งที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์หาระดับยูเรีย–ไนโตรเจนในเลือด (blood urea–nitrogen, BUN) (Crocker, 1967)

4.5 การสุ่มเก็บตัวอย่างปัสสาวะ

การเก็บปัสสาวะในช่วงสัตว์อยู่บนกรงเมทธาโบลิซึม โดยทำการเก็บติดต่อกัน 5 วันในช่วงสุดท้ายของระยะเก็บตัวอย่างใช้วิธีการเก็บแบบทั้งหมด โดยใช้ถังพลาสติกขนาดความจุ 5 ลิตร ซึ่งมีถาดรูปกรวยวางไว้บนถังพลาสติกคอยรองรับปัสสาวะตลอดเวลา ในถังเติมกรดซัลฟูริก 1M H_2SO_4 ในสัดส่วน 1M H_2SO_4 ต่อปัสสาวะ 1: 10 เพื่อเป็นการตรึงไนโตรเจนในปัสสวะและปรับให้ pH ของปัสสาวะมีค่าอยู่ระหว่าง 2–3 ทั้งนี้เพื่อหยุดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่จะเข้าไปย่อยสลายไนโตรเจนในปัสสาวะ ทำการวัดปริมาตรทั้งหมดที่ได้ในแต่ละวันและทำการสุ่มเก็บไว้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของปัสสาวะทั้งหมด เพื่อนำไปรวมกับวันที่ 2, 3, 4 และ 5 แล้วทำการสุ่มอีกครั้งประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที เก็บเฉพาะส่วนใส หลังจากนั้น นำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในปัสสาวะตามวิธีการของ AOAC (1995) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสมดุลไนโตรเจน (nitrogen balance) ต่อไป

4.6 การสุ่มเก็บตัวอย่างมูล

เริ่มทำการเก็บพร้อมกับการเก็บปัสสาวะ โดยเก็บ 5 วันติดต่อกันในช่วงท้ายของการทดลอง ใช้วิธีการเก็บแบบทั้งหมด (total collection) โดยทำการเก็บในช่วงเช้า เวลา 06.30 น. โดยการชั่งน้ำหนักมูลทั้งหมด การเก็บมีถาดรองมูลซึ่งอยู่ด้านหลังของถาดรองปัสสาวะ ก่อนเก็บทำการคลุกทุกส่วนให้เข้ากันและแบ่งเก็บเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1: เก็บประมาณ 100 กรัม นำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุแห้งของมูลที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวัน

ส่วนที่ 2: เก็บไว้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมูลทั้งหมดในแต่ละวัน นำไปเก็บไว้ที่ –20 องศาเซลเซียส ทำการเก็บเช่นนี้จนครบ 5 วันแล้วนำมูลทั้งหมดในปริมาณที่เท่ากันของแต่ละกลุ่มทดลองที่เก็บไว้มาคลุกให้เข้ากัน ทำการสุ่มเก็บอีกครั้ง 5 เปอร์เซ็นต์และนำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะแห้งสนิท แล้วนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 0.1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในอาหาร เพื่อนำไปคำนวณหาการย่อยได้ตามวิธีการของ Schnieder and Flatt (1975) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (\%)} = 100 - 100 \times \frac{\text{น้ำหนักมูลปรับแห้ง}}{\text{น้ำหนักของอาหารที่กินปรับแห้ง}}$$

$$\text{การย่อยได้ของโภชนะ (\%)} = 100 - 100 \times \frac{\text{\%โภชนะในมูล} \times \text{น้ำหนักมูลปรับแห้ง}}{\text{\% โภชนะในอาหาร} \times \text{น้ำหนักของอาหารที่กินปรับแห้ง}}$$

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) ตามแผนการทดลอง 3 x 3 Replicated Latin Square Design โดยใช้ Proc GLM และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980)

3.2 การศึกษาการเจริญเติบโตในแพะ

1. สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ ทำการศึกษาโดยใช้แพะรุ่นลูกผสมพื้นเมืองเพศผู้จำนวน 18 ตัว (น้ำหนักตัวเฉลี่ย 18.7±2 กก.)โดยทำการเลี้ยงแพะในคอกขังเดี่ยวยกพื้น จำนวน 18 คอก ภายในคอกมีรางน้ำ รางอาหารและอาหารหยาบแยกออกจากกัน แบ่งสัตว์ออกเป็น 3 กลุ่มทดลอง (treatments) กลุ่มการทดลองอย่างละ 6 ซ้ำ จำนวน 18 ตัว โดยแพะทุกตัวได้รับการถ่ายพยาธิภายในตัวและให้วัคซีนป้องกันโรคปากและเท้าเปื่อยและควบคุมพยาธิและโรคอื่นๆ อย่างใกล้ชิดในระหว่างการทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized complete block design โดยมีกลุ่มทดลอง (treatment) เป็นอาหารหยาบ **(ตามรายละเอียดในข้อ 3.1)**

2. การจัดการดูแลสัตว์ทดลอง

ทำการปรับสัตว์ก่อนเริ่มงานทดลองเพื่อให้คุ้นเคยกับสูตรอาหารเป็นเวลา 15 วัน โดยให้ได้รับอาหารทีละน้อยจนกระทั่งได้รับสูตรอาหารทดลองเต็มที่ (*ad libitum*) โดยสัตว์จะได้รับอาหารตามกลุ่มทดลอง อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารผสมครบส่วน (TMR) ที่มีสัดส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ (UOPF, FTOPF และ FTOPFU) 70:30 ทำการวัดปริมาณอาหารที่กินได้ในแต่ละวัน (voluntary feed intake) โดยชั่ง

อาหารที่ให้ และอาหารที่เหลือทั้งในช่วงเช้า และช่วงเย็นของวันถัดไป ทำการทดลองนาน 90 วัน บันทึกปริมาณอาหารที่แพะกินตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยชั่งน้ำหนักอาหารที่เหลือวันถัดไป แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณการกินได้ในแต่ละวัน ชั่งน้ำหนักและบันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวแพะทุกๆ 2 สัปดาห์ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาอัตราการเจริญเติบโต เมื่อครบกำหนดจึงทำการสุ่มแพะกลุ่มละ 3 ตัว นำมาชำแหละ โดยอดอาหารแพะเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักมีชีวิตก่อนและหลัง และทำการชำแหละส่วนต่างๆ ของร่างกาย แบ่งซากออกเป็น 2 ส่วน ทำการชั่งน้ำหนักซากอุ่น แล้วนำมาตัดแต่งแบบสากล โดยตัดแต่งซากเป็นส่วนตัดขนาดใหญ่ได้ 8 ส่วน ได้แก่ คอ (neck) ขา (leg) เนื้อสัน (loin) ซี่โครง (rack) ไหล่ (shoulder) แข้ง (shank) อก (breast) และพื้นท้อง (flank) แล้วชั่งน้ำหนักส่วนต่างๆ เพื่อนำมาหาเปอร์เซ็นต์ซาก ตามวิธีการของสุทธิพงศ์ (2537)

3. ข้อมูลที่นำมาศึกษา

3.1 น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (Average daily gain, ADG)

$$= \frac{\text{น.น สุดท้าย – น.น. เริ่มต้น}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$$

3.2 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio, FCR)

$$= \frac{\text{น.น อาหาร}}{\text{น.น เพิ่ม}}$$

3.3 ปริมาณการกินได้ (Feed intake, FI)

= ปริมาณอาหารที่กิน – ปริมาณอาหารที่เหลือ

3.4 เปอร์เซ็นต์ซาก $= \frac{\text{น.น ซาก}}{\text{น.น มีชีวิต}} \times 100$

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของน้ำหนักตัวเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักตัวเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินได้ น้ำหนักซาก น้ำหนักอวัยวะภายในต่างๆ น้ำหนักซากที่ตัดแต่ง ค่าความหนาของไขมันสันหลัง ไขมันช่องท้อง พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980)

7. สถานที่ทำการทดลอง และเก็บข้อมูล

1. หมวดแพะ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

3. โรงผสมอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

4. ภาควิชาการจัดการศัตรูพืช คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

5. สถานีวิจัยฝึกภาคสนามคลองหอยโข่งคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

6. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร และโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 94000

8. ระยะเวลาทำการวิจัย

ระยะเวลาทำการวิจัย ตุลาคม พ.ศ. 2558 – กันยายน พ.ศ. 2559

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจนในแพะ

4.1.1 ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารผสมเสร็จ (total mixed ration, TMR) ที่ใช้ในการทดลอง ที่ประกอบด้วยข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ใบกระถินป่น กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน และทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และไม่หมักเชื้อรา (Table 4.1.1) พบว่ามีค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง (DM) โปรตีนหยาบ (CP) และไขมัน (EE) ใกล้เคียงกัน โดยมีโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 15.12–15.35% และไขมันอยู่ในช่วง 3.42–3.98% ขณะที่เถ้ารวม (ash) กลุ่ม FTOPF และ FTOPFU มีค่าสูงกว่า แต่ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL) มีค่าต่ำกว่า โดยมีค่าอยู่ในช่วง 43.89–46.33, 23.19–25.79 และ 10.01–12.27% ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของ CP, EE, ash และ NDF และองค์ประกอบอื่นๆ อาจเนื่องมาจาก ความแตกต่างของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร และสัดส่วนที่ใช้ในสูตร โดยเฉพาะ OPF, FTOPF และ FTOPFU ที่ใช้เปรียบเทียบในการทดลองครั้งนี้มีองค์ประกอบของเถ้า โปรตีน และสารเยื่อใยที่แตกต่างกัน (Table 4.1)

Table 4.1.1 Chemical composition of the experimental diets, oil palm frond (OPF), and fungal treated oil palm frond (FTOPF)

Dry matter basis, %	Dietary treatments[1]			OPF	FTOPF	FTOPFU
	UOPF	FTOPF	FTOPFU			
DM[2]	95.29	95.21	94.94	52.43	50.83	50.54
Ash	5.30	6.12	6.19	6.49	7.40	7.24
OM	94.70	93.88	93.81	93.51	92.60	92.76
CP	15.12	15.30	15.35	4.62	7.24	7.58
EE	3.98	3.83	3.42	1.99	1.87	1.89
NSC [3]	29.27	30.15	31.15	2.88	11.69	15.15
NDF	46.33	44.60	43.89	84.02	71.80	68.14
ADF	25.34	24.79	23.19	70.12	57.39	56.58
ADL	12.27	10.60	10.01	25.17	24.13	24.01
Hemicellulose [4]	20.99	19.81	20.70	13.90	14.41	11.56
Cellulose [5]	13.07	14.19	13.18	44.95	33.26	32.57

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = fungal treated oil palm frond, FTOPFU = fungal treated oil palm frond with 1% urea, OPF = oil palm frond.

[2] DM: dry matter; OM: organic matter; CP: crude protein; EE: ether extract; NSC: non-structural carbohydrate; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; ADL: acid detergent lignin.

[3] Estimated: NSC = 100-(CP + NDF + EE + Ash)

[4] Estimated: Hemicellulose = NDF-ADF

[5] Estimated: Cellulose = ADF-ADL

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่หมัก (untreated oil palm frond, UOPF) ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา (fungal treated oil palm frond, FTOPF) และทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราร่วมกับยูเรีย (fungal treated oil palm frond with 1% urea, FTOPFU) พบว่า มีค่าแตกต่างกัน โดย FTOPF และ FTOPFU มีค่าโภชนะบนฐานวัตถุแห้งประกอบด้วยอินทรียวัตถุ ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนินต่ำกว่า OPF แต่มีค่าเถ้า และโปรตีนสูงกว่า ทั้งนี้คุณค่าทางโภชนะของ UOPF, FTOPF และ FTOPFU ที่แตกต่างกันโดยเฉพาะผนังเซลล์ ซึ่งการลดลงของ NDF และ ADF อาจจะเนื่องมาจากเชื้อราสามารถละลายผนังเซลล์ (cell wall) เพื่อใช้เป็นแหล่งของคาร์บอน เนื่องจากเชื้อราสามารถปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำได้ (insoluble carbohydrate) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (soluble carbohydrate) ดังนั้น จึงเปลี่ยนสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (soluble carbohydrate) และละลายน้ำไม่ได้ (insoluble carbohydrate) ใน OPF ได้ สอดคล้องกับรายงานของ Singh (1990); Fazaeli et al. (2004) ซึ่งเป็นข้อดีโดยเฉพาะค่า NDF และ ADF ที่สูงมีสหสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ในอาหารของสัตว์ (Hart and Wanapat, 1992) ขณะที่ ปริมาณ และคุณภาพของโปรตีนที่สูงมีผลต่อปริมาณการกินได้ และการนำไปใช้ประโยชน์ของสัตว์ และอาจกระทบต่อโภชนะที่ได้รับด้วยหากปริมาณการกินได้ต่ำก็จะส่งผลให้โภชนะที่ได้รับต่ำไปด้วย อย่างไรก็ตาม การย่อยสลายของ NDF และ ADF ของเชื้อรามีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของเชื้อรา (Jalc et al., 1996; Zadrazil et al., 1996) มากกว่านั้น มีรายงานการลดลงของ ADL ในฟางข้าวสาลีที่ทรีทต์ด้วยเชื้อรา *P. pulmonarius* และ *P. sajor-caju* (Moyson and Verachtert, 1991) และเห็ดภูฐานสามารถย่อยลิกนินในฟางข้างได้สูงที่สุดเท่ากับ 61.7% ขณะที่ ไม่ย่อยเซลลูโลส (มาลี และนวลจันทร์, 2551)

ขณะที่ ค่าโปรตีนของกลุ่ม FTOPF และ FTOPFU สูงกว่ากลุ่ม UOPF ดังนั้น การนำเชื้อเห็ดตีนปลอก (*Lentinus sajor-caju*, LSc) มาใช้เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับ OPF เพื่อเป็นอาหารสัตว์สามารถเพิ่มโปรตีนได้ 14.02% โดยโปรตีนที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องจาก การใช้องค์ประกอบที่เป็นคาร์บอนของฟางข้าวทำให้น้ำหนักของฟางข้าวส่วนหนึ่งหายไปจึงทำให้สัดส่วนของโปรตีนสูงขึ้น นอกจากนี้ เชื้อราสามารถเปลี่ยนสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในพืชให้เป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้ ทำให้อัตราส่วนสารอินทรีย์ไนโตรเจนสูงขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Ragunathan et al. (1996) ที่พบว่าปริมาณโปรตีนในฟางข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คุณภาพของอาหารสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Fazaeli et al. (2004) ที่รายงานว่า ฟางข้าวสาลีที่ทรีทต์ด้วยเชื้อราสามารถเพิ่ม CP เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ทำนองเดียวกับการศึกษาของมาลี และนวลจันทร์ (2551) ที่ทดลองใช้ฟางข้าวหมักด้วยเชื้อเห็ดชนิดต่างๆ ในฟางข้าว 13 ชนิด เป็นเวลา 28 วัน พบว่าเห็ดภูฐานสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนในฟางข้างจาก 4.2% เป็น 6.3% และสามารถย่อยลิกนินในฟางข้างได้สูงที่สุดเท่ากับ 61.7% ขณะที่ ไม่ย่อยเซลลูโลส ซึ่งสัตว์สามารถใช้เป็นแหล่งของพลังงานได้ แต่ย่อยเฮมิเซลลูโลสเล็กน้อย นอกจากนั้น พบว่าเชื้อ *Coprinus* sp., *Pleurotus florida* , *Pleurotus sajor-caju* และ *Sporotrichum pulverulentum* สามารถเพิ่มโปรตีนให้กับฟางข้าว และชานอ้อยในการหมักแบบแห้ง (solid state fermentation, SSF) โดยมีระยะการหมักเป็นเวลา 14, 21 และ 30 วัน โดยพบว่าฟางข้าว และชานอ้อยมีโปรตีนสูงขึ้น ($P<0.05$) และไม่มีผลต่อค่าการย่อยได้ ส่วนฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อ *Pleurotus sajor-caju* ให้ค่าโปรตีนสูงสุด ($P<0.05$) (ประธาน, 2536) สอดคล้องกับรายงานของยิ่งลักษณ์ (2543) ที่รายงานการใช้เชื้อเห็ดนางฟ้า

สามารถ พบว่าเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของแฝกได้ โดยเพิ่มปริมาณโปรตีนสูงขึ้นกว่าปกติ 3.95% เป็น 8.38% และสามารถลดปริมาณเยื่อใยส่วนที่เป็นผนังเซลล์ แต่สามารถลดปริมาณลิกนินได้เล็กน้อย (Karunanandaa et al., 1995) อย่างไรก็ตาม คุณค่าทางโภชนะอาจขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น อายุของพืชที่ตัดมาทำแห้ง ส่วนของพืช ความถี่ในการเก็บเกี่ยว การชะล้าง ปัจจัยแวดล้อมที่พืชอาศัยอยู่ ฤดูกาล การจัดเก็บรักษา และสภาพอากาศ เป็นต้น

4.1.2 ปริมาณการกินวัตถุแห้งได้อย่างอิสระ และปริมาณการกินได้ของโภชนะจากอาหาร

จากการศึกษา ผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา หรือเชื้อเห็ดตีนปลอก (*Lentinus sajor–caju*, LSc) ในสูตรอาหารผสมเสร็จประกอบด้วยสูตรที่ 1 คือ สูตรใช้ทางใบปาล์มน้ำมัน (UOPF) หรือสูตรควบคุม สูตรที่ 2 คือ ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา (FTOPF) และ สูตรที่ 3 คือ ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราร่วมกับยูเรีย (FTOPFU) ต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมด (วัตถุแห้ง) ทั้งที่คิดเป็นปริมาณเฉลี่ย (kg/d) และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) หรือกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก (g/kg $W^{0.75}$) ของแพะทุกกลุ่ม (Table 4.1.2) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แม้ว่าปริมาณการกินได้ทั้งหมดของกลุ่ม FTOPF และ FTOPFU สูงกว่ากลุ่ม UOPF โดยปริมาณการกินได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.992–1.095 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน ทำนองเดียวกับปริมาณการกินได้ของโภชนะ (อินทรียวัตถุ โปรตีน ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า อาหารที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา และทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราร่วมกับยูเรียในสูตรอาหารผสมเสร็จของแพะ ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมด ดังนั้น การนำใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่อาจเพิ่มศักยภาพการใช้ทางใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งวัตถุดิบผลพลอยได้ที่มีมากในท้องถิ่นภาคใต้

Table 4.1.2 Effects of diet on feed intake of goats (Exp. 1)

Item	Dietary treatments[1]			SEM[2]	Contrast, *P*–value[3]	
	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
DMI (kg/d)						
Total DMI, kg/d	0.992	1.051	1.095	0.10	0.38	0.66
DMI, %BW	2.98	3.14	3.33	0.18	0.18	0.37
DMI, g/kg $W^{0.75}$	71.69	75.64	79.79	5.28	0.22	0.45
OMI, kg/d	0.930	0.984	1.053	0.09	0.28	0.46
CPI, kg/d	0.153	0.171	0.191	0.02	0.07	0.22
NDFI, kg/d	0.462	0.476	0.507	0.04	0.44	0.49
ADFI, kg/d	0.246	0.253	0.260	0.02	0.60	0.77

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea, FT = Fungal treated.

[2] SEM = Standard error of the mean.

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

4.1.3 ความสามารถในการย่อยได้ และปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร

ผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จต่อสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ และโภชนะรวมที่ย่อยได้ของแพะ (Table 4.1.3) พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, OM, CP, NDF, ADF และ ADL) มีความแตกต่างกัน (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับ FTOPF และ FTOPFU มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ UOPF ขณะที่ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเถ้าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ไขมัน ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน มีค่าอยู่ในช่วง 69.33–73.06, 70.67–74.57, 73.50–78.18, 74.13–78.30, 56.61–64.66, 35.77–43.47 และ 23.50–29.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะที่เพิ่มอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (soluble carbohydrate) และละลายน้ำไม่ได้ (insoluble carbohydrate) ใน FTOPF ซึ่งคล้ายกับผลการศึกษาในฟางข้าว (Tan et al., 2002) มากกว่านั้น อาจเนื่องจาก เชื้อราสามารถย่อยลิกนิน (lignin) ออกจากพันธะลิกโนเซลลูโลส ทำให้ FTOPF และ FTOPFU มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงขึ้น ทำนองเดียวกับการศึกษาในฟางข้าวที่พบว่า เห็ดจะย่อยลิกนินออกจากพันธะลิกโนเซลลูโลส ทำให้ฟางข้าวมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงขึ้น ((ปาณิสรา, 2548; Karunanandaa et al., 1995; Zadrazil et al., 1995; Zandrazil, 1997; Dorado et al.,1999; Fazaeli et al., 2004) สอดคล้องกับการศึกษาการย่อยได้ใน *in vitro* และ *in vivo* ในโค (Fazaeli et al., 2004) และการศึกษาของ ((Zadrazil et al., 1996; 1997) แต่ใน FTOPF มีการศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ในตัวสัตว์น้อยมาก อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Marwaha et al. (1990) ที่รายงานว่า ฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อ *P. sajor–caju* พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, CP, CF, ADF และ ADL) ในลูกโคนมเจอร์ซี่เพิ่มสูงขึ้น (P<0.05) ขณะที่ ตรงกันข้ามกับรายงานของ Walli et al. (1991) ที่ศึกษาในโค Holstein Friesian bulls ที่ได้รับฟางข้าวหมักเชื้อรา รายงานว่าไม่มีผลต่อ DMI, DMD และ TDN อาจเนื่องมาจาก มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของเชื้อรา และอาหารเลี้ยงเชื้อ เป็นต้น (Jalc et al., 1996; Zadrazil et al., 1996)

ขณะที่ ปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร (DOM, DCP, DNDF และ DADF) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Table 4.3) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการกินได้ เนื่องจากลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของ OPF ที่เปลี่ยน เนื่องมาจากกระบวนการหมักแบบอาหารแข็ง (solid state fermentation, SSF) โดยเชื้อรา มากกว่านั้น สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ DM และ OM ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มปริมาณการกินวัตถุแห้งได้อย่างอิสระ สอดคล้องกับการศึกษาของ Fazaeli et al. (2002) ที่ศึกษาการใช้ฟางข้าวหมักเชื้อราในอาหาร TMR แม่โคนม พบว่าปริมาณการกินวัตถุแห้งได้อย่างอิสระของ DM เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และจากการคำนวณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Mcal/d และ Mcal/kg ME) พบว่ามีความแตกต่างกัน (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับ FTOPF และ FTOPFU มีค่า Mcal/kg ME สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ UOPF ขณะที่ ระหว่างกลุ่ม FTOPF และ FTOPFU ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.51–2.65 Mcal/kg ซึ่งใกล้เคียงกับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่คำนวณ และเพียงพอต่อความต้องการของแพะเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (NRC, 1981)

4.1.4 ผลผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และยูเรีย–ไนโตรเจนในกระแสเลือด

4.1.4.1 อุณหภูมิ (temperature) ความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมน (ruminal pH)

ผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จต่ออุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (Table 4.1.4) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกระเพาะรูเมนของแพะในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของอุณหภูมิในกระเพาะรูเมนค่อนข้างคงที่ (39.16-39.33 °C) ซึ่งเป็นระดับที่ปกติและเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (38-40 °C) (Van Soest, 1994)

Table 4.1.3 Effects of diet on nutrient digestibility of goats (Exp. 1)

Item	Dietary treatments[1]			SEM[2]	Contrast, *P*-value[3]	
	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
Apparent total tract digestibility, %						
DM	69.33[b]	73.06[a]	72.22[a]	0.39	0.03	0.58
Ash	48.97	50.72	49.73	0.64	0.21	0.38
OM	70.67[b]	74.57[a]	73.69[a]	0.39	0.04	0.58
CP	73.50[b]	77.50[a]	78.18[a]	0.80	0.01	0.64
EE	74.13[b]	78.30[a]	77.11[a]	0.33	0.05	0.52
NDF	56.61[b]	64.66[a]	62.49[a]	1.31	0.02	0.43
ADF	35.77[b]	43.47[a]	40.81[a]	1.05	0.05	0.41
ADL	23.50[b]	27.71[a]	29.33[a]	0.94	0.38	0.80
Digestible nutrient intake, kg/d						
DOM	0.658	0.735	0.776	0.06	0.16	0.58
DCP	0.113	0.132	0.149	0.01	0.03	0.13
DNDF	0.262	0.309	0.316	0.03	0.14	0.83
DADF	0.088	0.108	0.106	0.01	0.17	0.72
Estimated energy intake[4]						
ME Mcal/d	2.50	2.79	2.95	0.26	0.16	0.58
ME Mcal/kg DM	2.51[b]	2.65[a]	2.62[a]	0.02	0.03	0.80

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea, FT = Fungal treated.

[2] SEM = Standard error of the mean.

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

[4] 1 kg DOM = 3.8 Mcal ME/kg (Kearl, 1982).

ทำนองเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือ pH ภายในกระเพาะรูเมนของแพะในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่าค่า ruminal pH ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของความเป็นกรด-ด่าง ค่อนข้างคงที่ (6.48-6.53) และเป็น

ระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic bacteria) และการย่อยของโปรตีน (6.0–7.0) (Hungate, 1969)

4.1.4.2 ค่าแอมโมเนีย–ไนโตรเจน (ammonia–nitrogen, NH_3–N) และระดับยูเรีย–ไนโตรเจนในกระแสเลือด (blood urea nitrogen, BUN)

ค่าความเข้มข้นของระดับแอมโมเนีย–ไนโตรเจน (NH_3–N) ภายในกระเพาะรูเมน พบว่าค่าแอมโมเนีย–ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมนที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) (Table 4.1.4) มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของ NH_3–N อยู่ในช่วง 19.52–21.43 mg/dL ทำนองเดียวกับค่าความเข้มข้นของยูเรีย–ไนโตรเจนในกระแสเลือด (BUN) ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของ BUN อยู่ในช่วง 17.69–20.65 mg/dL

Table 4.1.4 Effects of diet on rumen fermentation of goats (Exp. 1)

Item	Dietary treatments[1]			SEM[2]	Contrast, *P*–value[3]	
	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
Temperature, °C						
0 h–post feeding	39.00	39.33	39.00	0.19	0.50	0.26
4	39.33	39.33	39.33	0.32	1.00	1.00
Mean	39.16	39.33	39.16	0.25	0.78	0.63
Ruminal pH						
0 h–post feeding	6.63	6.62	6.71	0.09	0.95	0.74
4 h–post feeding	6.42	6.36	6.25	0.07	0.54	0.79
Mean	6.53	6.51	6.48	0.06	0.72	0.70
NH_3–N, mg/dL						
0 h–post feeding	18.57	19.06	19.05	0.54	0.85	0.75
4 h–post feeding	20.47	20.47	21.43	0.27	0.25	0.99
Mean	19.52	19.76	21.43	0.36	0.49	0.81
BUN, mg/dL						
0 h–post feeding	17.68	18.98	20.84	1.76	0.64	0.74
4 h–post feeding	17.69	21.63	20.45	1.87	0.53	0.84
Mean	17.69	20.31	20.65	1.63	0.58	0.95

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea, FT = Fungal treated.

[2] SEM = Standard error of the mean.

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

4.1.5 ระดับความเข้มข้นของกลูโคส (glucose) และปริมาตรเม็ดโลหิตแดงอัดแน่น (packed cell volume) ในกระแสเลือด

ค่าทางโลหิตวิทยาของร่างกายต่างๆ สามารถบ่งชี้ความสมดุลทางสรีระของร่างกายสัตว์ ตัวชี้วัดที่ดีสำหรับสุขภาพสัตว์ และระดับโภชนาการของสัตว์คือ ค่าความเข้มข้นของกลูโคส (glucose, Glu) และปริมาตรเม็ดโลหิตแดงอัดแน่น (pack cell volumn, PCV) เป็นต้น กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของสัตว์ทุกชนิด มากกว่านั้น ในสัตว์เคี้ยวเอื้องกลูโคสเป็นสารตั้งต้น (precursor) ที่สำคัญในการสังเคราะห์น้ำตาลแลคโตส (lactose) และกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งโดยทั่วไปสัตว์ต้องการกลูโคสเพื่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิต

ผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จต่อค่ากลูโคส (glucose) และค่า PCV ในกระแสเลือดในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) (Table 4.1.5) โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของกลูโคส และค่า PCV อยู่ในช่วง 82.80–84.66 mg/dL และ 30.66–31.83% ตามลำดับ ซึ่งกลูโคสในกระแสเลือดในการศึกษาครั้งนี้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติในแพะ คือ 50–75 mg/dL (2.77 to 4.16 mmol/L) (Kaneko, 1980) ทำนองเดียวกับค่า PCV ที่รายงานโดย Jain (1993) รายงานว่า ค่า PCV ที่ปกติของแพะอยู่ในช่วง 22–38% ซึ่งค่า PCV หรือค่าฮีมาโตคริต (hematocrit) เป็นดัชนีที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้วินิจฉัย หรือประเมินความสมบรูณ์ของร่างกายแพะ และสุขภาพสัตว์เบื้องต้นว่า สัตว์มีความผิดปกติของเลือดหรือไม่ โดยหากค่า PCV ต่ำกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรคโลหิตจาง (anemia) ในทางตรงกันข้ามหากค่า PCV สูงกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรคโพลีซัยธีเมีย (polycythemia) ซึ่งเกิดจากการสร้างเม็ดเลือดแดงที่มากผิดปกติ (Jain, 1993)

Table 4.1.5 Effects of diet on blood metabolites in goats (Exp. 1)

Item	Dietary treatments[1]			SEM[2]	Contrast, *P*–value[3]	
	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
Glucose, mg/dL						
0 h–post feeding	84.00	81.50	80.93	1.72	0.56	0.91
4 h–post feeding	85.33	85.00	84.66	2.64	0.83	0.90
Mean	84.66	83.25	82.80	2.27	0.47	0.91
PCV, %						
0 h–post feeding	32.00	33.33	32.66	2.59	0.61	0.77
4 h–post feeding	31.33	28.00	31.00	1.41	0.52	0.37
Mean	31.66	30.66	31.83	2.00	0.79	0.54

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea, FT = Fungal treated.

[2] SEM = Standard error of the mean.

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

4.1.6 ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะรูเมน

4.1.6.1 ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้

ผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จต่อค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acids, TVFAs) รวมทั้งระดับความเข้มข้นของกรดอะซีติค (acetic acid, C_2) กรดโพรพิออนิค (propionic acid, C_3) กรดบิวทีริค (butyric acid, C_4) และก๊าซเมธเทน (methane, CH_4) ในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม (Table 4.1.6) จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด กรดอะซิติค กรดโพรพิออนิค กรดบิวทีริค และสัดส่วนของของกรดอะซิติคต่อกรดโพรพิออนิค ในการทดลองนี้มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 74.05–79.23 มิลลิโมลต่อลิตร 68.14–70.20, 19.18–20.95, 6.33–6.76 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด และ 3.39–3.78 ตามลำดับ พบว่าทุกค่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ยกเว้น กลุ่มที่ได้รับ FTOPFU ที่เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร มีค่าความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิคต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับ FTOPF อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (UOPF) ขณะที่ กรดไขมันอื่นๆ (isobutyrate, isovalerate and valerate) และสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ที่เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร พบว่ากลุ่มที่ได้รับ FTOPF มีค่าความเข้มข้นต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับ FTOPF อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (UOPF) อาจเนื่องมาจากปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของอาหาร (OMI และ CPI) ปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ (OM และ CP) (Table 4.2 และ 4.3) และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่สัตว์ได้รับแตกต่างกัน (Table 4.1) เพราะความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในสัตว์ที่มีปริมาณการกินได้ของอินทรีย์วัตถุ ปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างสูง (Van Soest, 1994) นอกจากนี้ อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่าย (soluble carbohydrate) สูง และมีสัมประสิทธิ์การย่อยได้สูงจะเพิ่มสัดส่วนของกรดโพรพิออนิคในกระเพาะรูเมนสูงขึ้น (Nocek and Russel, 1988) ซึ่งความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในอาหารที่มีพลังงานสูง เนื่องมาจากมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายสูง อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ และสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน การดูดซึมของกรดไขมันที่ระเหยได้ผ่านผนังกระเพาะรูเมน อัตราการไหลผ่าน (ruminal passage rate) ของของเหลวไปยังกระเพาะอะโบมาซัม (abomasum) (López et al., 2003) มากกว่านั้น ยังขึ้นกับความเข้มข้นสัดส่วนของกรดอินทรีย์ (organic acid) ทั้งหมดในกระเพาะรูเมน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์โบไฮเดรต และปริมาณที่สัตว์กิน (Heldt et al., 1999) สัดส่วนอาหารข้น และอาหารหยาบ (Sarwar et al., 1992) และ Sutton et al. (1993) รายงานว่า ปริมาณแป้งที่ย่อยสลายได้ง่ายเพิ่มขึ้นในอาหารข้นมีผลทำให้ระดับความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิคในกระเพาะรูเมนสูงขึ้น ขณะที่ ระดับความเข้มข้นของกรดอะซีติคลดลงเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (TVFAs) และสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ตามช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร พบว่าค่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร สอดคล้องกับ Wanapat (2000) รายงานว่า TVFAs จะเพิ่มขึ้น และถึงจุดสูงสุดหลังการให้อาหาร 2–4 ชั่วโมง ทั้งการให้อาหารในตอนเช้า และตอนเย็น

จากผลการทดลองครั้งนี้ ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ง่ายทั้งหมดเฉลี่ยของของเหลวในกระเพาะรูเมนอยู่ในช่วง 74.05–79.23 mmol/L ใกล้เคียงกับรายงานของ Chanjula et al. (2007a, b) รายงาน

ว่า ค่า TVFA ของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยเพศผู้ (พื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.00–79.20 และ 80.87–86.57% ตามลำดับ

Table 4.1.6 Effects of diet on volatile fatty acid profiles in goats (Exp. 1)

Item	Dietary treatments[1]			SEM[2]	Contrast, *P*–value[3]	
	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
Total VFA, mmol/l						
0 h–post feeding	58.56	65.01	56.92	1.51	0.32	0.07
4	91.30	93.45	91.18	1.73	0.68	0.45
Mean	74.93	79.23	74.05	1.34	0.40	0.11
Proportion of individual VFA, %						
Acetate (C_2)						
0 h–post feeding	69.88	68.14	70.20	0.42	0.30	0.08
4	73.46	72.68	73.59	0.88	0.79	0.54
Mean	71.67	70.41	71.89	0.57	0.53	0.21
Propionate (C_3)						
0 h–post feeding	20.09^{ab}	22.16^{a}	19.24^{b}	0.36	0.31	0.03
4	18.27	19.75	19.18	0.72	0.31	0.63
Mean	19.18	20.95	19.21	0.54	0.31	0.15
Butyrate (C_4)						
0 h–post feeding	7.16	7.01	7.66	0.10	0.30	0.04
4	6.36	5.65	5.27	0.85	0.47	0.78
Mean	6.76	6.33	6.49	0.40	0.55	0.80
Other VFA[4]						
0 h–post feeding	2.85^{ab}	2.69^{b}	2.89^{a}	0.02	0.15	0.03
4	1.89	1.92	1.89	0.05	0.87	0.72
Mean	2.37	2.30	2.39	0.02	0.47	0.11
Acetate: propionate ratio						
0 h–post feeding	3.49^{ab}	3.08^{b}	3.64^{a}	0.08	0.30	0.03
4	4.06	3.36	3.86	0.27	0.31	0.32
Mean	3.78	3.39	3.76	0.13	0.32	0.17

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea, FT = Fungal treated.

[2] SEM = Standard error of the mean.

[a–b] Means within rows followed with different superscript letters are statistically different (P<0.05).

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

[4] Sum of isobutyrate, isovalerate, valerate and caproate.

ซึ่ง France and Siddons (1993) รายงานว่า ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ง่ายทั้งหมดในกระเพาะรูเมนปกติมีค่าระหว่าง 70–130 mmol/L และบุญล้อม (2541) รายงานว่า ความเข้มข้นของกรดไขมัน

ระเหยได้ง่ายในกระเพาะรูเมนจะแปรผันระหว่าง 70–150 mmol/L ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุที่ได้ (Forbes and France, 1993) สอดคล้องกับการทดลองครั้งนี้ (Table 4.2 และ 4.3) เนื่องมาจากค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ง่ายทั้งหมด ขึ้นอยู่กับปริมาณการกินได้ทั้งหมด สอดคล้องกับ Sutton (1985) รายงานว่า การผลิตกรดไขมันระเหยได้ง่ายทั้งหมด มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (OM) โดยถ้าหากความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้การผลิตกรดไขมันระเหยได้ง่ายเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

นอกจากนี้ ความเข้มข้นของ C_2 ,C_4 และ C_3 มีอิทธิพลมาจากอาหารที่สัตว์กิน ถ้าสัตว์ได้รับอาหารหยาบมากจะมีการผลิตกรดอะซิติกมาก แต่ถ้าสัตว์ได้รับอาหารข้นมากจะทำให้ความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิคเพิ่มสูงขึ้นและสัดส่วนของ C_2:C_3 ลดลง (ฉลอง, 2541) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ง่ายยังขึ้นอยู่กับชนิดอาหาร และระยะเวลาการสุ่มหลังจากกินอาหาร ทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมัน และสัดส่วนของกรดแต่ละตัวแปรผันด้วย ซึ่งกรดที่มีมากที่สุดคือ กรดอะซิติค ประมาณ 60–70 เปอร์เซ็นต์ กรดโพร–พิออนิค ประมาณ 18–20 เปอร์เซ็นต์ และกรดบิวทีริค ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (บุญล้อม, 2541) ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองดังกล่าว ขณะที่ เมธา (2533) กล่าวว่า C_2, C_4 และ C_3 ในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสมควรอยู่ที่ในช่วง 65–70, 10–15 และ 20–22 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันระเหยได้ง่ายทั้งหมดและมีสัดส่วนของ C_2:C_3 อยู่ในช่วง 1–4 ตามลำดับ ทำนองเดียวกับ Hungate (1969) รายงานว่า ความเข้มข้นของ C_2, C_4 และ C_3 ในกระเพาะรูเมนควรอยู่ที่ 62, 16 และ 22 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายทั้งหมดตามลำดับ

4.1.7 จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนโดยวิธีการนับตรง (Total direct count)

การศึกษาประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเพื่อให้ทราบถึงตระกูล (genus) ชนิด (species) และชีวมวล (biomass) เป็นอีกวิธีการที่ช่วยให้สามารถนำข้อมูลมาปรับกลยุทธ์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในกระเพาะรูเมน เพราะกระบวนการหมักส่วนใหญ่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเป็นหลัก (Van Soest, 1994) จากการทดลองนี้ พบว่าจำนวนประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราในกระเพาะรูเมนของแพะ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.62–2.45^{10} และ 2.03–2.46 x10^6 cell/ ml ตามลำดับ (Table 4.1.7) ผลการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานก่อนหน้านี้ของ Chanjula et al. (2007a, b) และปิ่น และคณะ (2557) ที่รายงานว่า ประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยเพศผู้ (พื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.40–2.23 x10^{10} และ 1.15–2.89 x10^6 cell/ ml ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Hungate (1966) รายงานว่าประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราในกระเพาะรูเมน มีค่าอยู่ในช่วง 10^{10}–10^{12} และ 10^4–10^6 cell/ ml ตามลำดับ

Table 4.1.7 Effects of diet on rumen microbes in goats (Exp. 1)

Item	Dietary treatments[1]	SEM[2]	Contrast, *P*–value[3]

	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
Total direct count						
Bacteria (x10^{10}cell/ml)						
0 h-post feeding	1.77	2.12	1.62	0.41	0.49	0.81
4	2.12	2.79	1.62	0.71	0.40	0.66
Mean	1.95	2.45	1.62	0.56	0.43	0.71
Fungal zoospores (x10^6 cell/ ml)						
0 h-post feeding	2.22	2.17	1.97	0.23	0.66	0.60
4	2.04	2.75	2.12	0.27	0.36	0.24
Mean	2.15	2.46	2.03	0.08	0.43	0.07./
Total Protozoa(x10^6 cell/ml)						
0 h-post feeding	2.89	2.49	2.45	0.26	0.33	0.93
4	2.64	2.72	2.40	0.09	0.53	0.12
Mean	2.76	2.60	2.43	0.13	0.29	0.47

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea.

[2] SEM = Standard error of the mean.

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

จากผลการทดลองใน Table 4.1.7 พบว่าประชากรโปรโตซัวทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.43-2.76x10^6 cell/ ml ซึ่งสอดคล้องกับ Hungate (1966) รายงานว่า ประชากรโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนมีค่าอยู่ในช่วง 10^4-10^6 cell/ ml และมีค่าต่ำกว่ารายงานของ Chanjula et al. (2007a, b) รายงานว่า ประชากรของประชากรโปรโตซัวเฉลี่ยของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยเพศผู้ (พื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.87-3.65 x10^6 และ 2.41-3.57 x10^6 cell/ ml ตามลำดับ ขณะที่ Khampa et al. (2006) ได้ทำการทดลองในโคนมเพศผู้ตอน พบว่ามีประชากรโปรโตซัวเฉลี่ย 1.4x10^6 cell/ ml อาจเนื่องมาจาก อาหารที่แตกต่างกัน ซึ่ง Jouany and Ushida (1999) รายงานว่า การเสริมแป้งช่วยพัฒนาการเจริญเติบโตของโปรโตซัวสอดคล้องกับ Russell (2002) ที่รายงานว่า การเจริญของโปรโตซัวเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีแป้ง และถ้าอาหารปราศจากแป้งความหนาแน่นของโปรโตซัว และอัตราการย่อยอาหารพวกแป้งจะลดลง ซึ่ง Jouany and Ushida (1999) รายงานว่า จำนวนของโปรโตซัวขึ้นอยู่กับน้ำตาล และแป้งที่ละลายได้ในอาหาร อย่างไรก็ตาม ประชากรโปรโตซัวที่ลดลงมีผลดีทำให้ประชากรแบคทีเรียเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการสังเคราะห์จุลินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยปกติภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมโปรโตซัวจะเจริญได้ดี และแย่งอาหารจากแบคทีเรีย และใช้แบคทีเรียเป็นอาหารก็จะเพิ่มขึ้น Russell (2002) รายงานว่า จำนวนโปรโตซัวที่เพิ่มขึ้นทำให้แบคทีเรียลดลง เนื่องจากโปรโตซัวจับกิน (engulf) แบคทีเรียเป็นอาหาร โดยทั่วไปโปรโตซัวสามารถใช้แบคทีเรียเป็นอาหารได้สูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่มีอยู่ อย่างไรก็ตาม ถ้าในสูตรอาหารมีเมล็ดธัญพืชเป็นหลัก โปรโตซัวจะกินเมล็ดแป้งสามารถช่วยปรับ pH และป้องกันสภาวะความเป็นกรดในกระเพาะหมักได้ (McAllister et al., 1993)

อย่างไรก็ตาม ประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนแต่ละชนิดของสัตว์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของอาหารที่สัตว์ได้รับ อายุสัตว์ ระยะเวลาในการหมักย่อยในกระเพาะรูเมน สภาพความกรด–ด่างของกระเพาะรูเมน ความสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และสัดส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบ เป็นต้น พบว่าอาหารที่มีเยื่อใยสูงทำให้มีแบคทีเรียกลุ่ม cellulolytic bacteria สูงกว่าอาหารที่มีเยื่อใยต่ำ นอกจากนี้ระดับของ NH_3–N หรือประสิทธิภาพการย่อยได้ โดยอาหารที่มีการย่อยได้สูง และอาหารที่มีผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของระดับของ NH_3–N ในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้น (Song and Kennelly, 1990)

4.1.8 ความสมดุลของไนโตรเจน (N balance) และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน (nitrogen utilization)

ผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จต่อสมดุลของไนโตรเจน และปริมาณของไนโตรเจนที่กักเก็บไว้ได้ (Table 4.1.8) ปรากฏว่า ปริมาณการกินได้ของไนโตรเจนทั้งหมด (Total N intake) ปริมาณการขับไนโตรเจน (N excretion) ทั้งในรูปของการขับไนโตรเจนทางปัสสาวะ (Urinary N) ปริมาณการขับไนโตรเจนในมูล (Fecal N) และปริมาณการขับโตรเจนทั้งหมด (Total N excretion) ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05)

Table 4.1.8 Effects of diet on N balance of goats (Exp. 1)

Item	Dietary treatments[1]			SEM[2]	Contrast, *P*–value[3]	
	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
N balance, g/d						
Total N intake	24.58	27.32	30.60	2.50	0.08	0.22
N excretion, g/d						
Fecal N	6.50	6.13	6.69	0.64	0.87	0.42
Urinary N	4.65	4.53	5.34	1.39	0.84	0.64
Total N excretion	11.15	10.66	12.03	1.23	0.88	0.39
Absorbed N	18.08	21.19	23.90	1.95	0.03	0.20
Retained N	13.43	16.66	18.32	2.30	0.11	0.54
N output (% of N intake)						
Absorbed	73.84	77.50	78.17	1.45	0.02	0.66
Retained	55.06	60.08	60.59	2.21	0.33	0.93

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea, FT = Fungal treated.

[2] SEM = Standard error of the mean.

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

ทำนองเดียวกับค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (Absorbed N) และปริมาณการกักเก็บไนโตรเจนในร่างกาย (Retained N) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม UOPF กับกลุ่ม FT พบว่า

ค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึมมีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับ UOPF มีค่าต่ำกว่ากลุ่ม FT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อาจเนื่องมาจาก ปริมาณการกินได้ทั้งหมดของอาหารผสมเสร็จ ความสามารถในการย่อยได้ และปริมาณการกินได้ของโภชนะโปรตีนในอาหารแตกต่างกัน ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่แพะได้รับมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้อย่างอิสระ และความสามารถในการย่อยได้ ขณะที่ ระหว่างกลุ่ม FTOPF และ FTOPFU ไม่แตกต่างกัน โดย Absorbed N และ Retained N มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 73.84–78.17 และ 55.06–60.59% ตามลำดับ

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนมีค่าเป็นบวกในแพะทุกกลุ่ม แสดงให้เห็นว่าผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จไม่มีผลต่อค่าความสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน อาจเนื่องจาก แพะทุกกลุ่มได้รับไนโตรเจนสูงกว่าความต้องการของร่างกาย ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย–ไนโตรเจน (NH_3–N) ในกระเพาะรูเมนของแพะทุกกลุ่ม ที่มีค่าเกินระดับที่แนะนำสำหรับการเจริญที่เหมาะสมของจุลินทรีย์ (5–8 mg/dL; Satter and Slyter, 1974 หรือ 3.3–8.5 mg/100 mL; Kang–Meznarich and Broderick, 1981) สำหรับการเจริญเติบโต และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสูงสุด แสดงให้เห็นว่าอาหารที่ใช้ผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบทดแทนทางใบปาล์มน้ำมันในอาหารสัตว์ได้ และสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี และเพียงพอต่อการดำรงชีพ โดยไม่มีผลกระทบต่อ ปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน สมดุลของไนโตรเจน การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน และสมรรถภาพของสัตว์ ในทางตรงกันข้าม ถ้าสัตว์ได้รับไนโตรเจนจากอาหารน้อยสัตว์จะเพิ่มการกักเก็บไนโตรเจนไว้ในร่างกาย ไนโตรเจนจะถูกขับออกมาทางมูล และปัสสาวะน้อยลง เพื่อเป็นการรักษาสมดุลไนโตรเจนในร่างกาย เนื่องจากสัตว์มีกลไกควบคุมความสมดุลของไนโตรเจนในร่างกาย เมื่อได้รับไนโตรเจนจากอาหารในปริมาณที่ต่ำ โดยไตจะลดการขับยูเรียออกทางปัสสาวะทำให้ยูเรียหมุนกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนได้อีก (Church, 1979) และพนอม (2526) รายงานว่า กระบือที่ได้รับโปรตีนจากอาหารต่ำกว่าความต้องการของร่างกาย ไนโตรเจนที่ถูกขับออกมาในปริมาณที่มากกว่าไนโตรเจนที่ได้รับ ทำให้ไนโตรเจนที่กักเก็บเป็นลบไม่เพียงพอต่อการดำรงชีพ

การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาณการกินได้ การเจริญเติบโต และคุณภาพซากในแพะ

4.2.1 การศึกษาปริมาณการกินได้ และการเจริญเติบโตในแพะ

4.2.1.1 ปริมาณการกินได้ของอาหาร (feed intake)

จากการศึกษา ผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จต่อสมรรถภาพการเจริญเติบของแพะขุน (Table 4.2.1) ระยะเวลาการขุนแพะ 90 วัน โดยมีน้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง และน้ำหนักตัวเพิ่มไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 18.33–18.91, 27.73–28.90 และ 9.31–10.03 กิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม (UOPF) กับกลุ่มที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา (FT) หรือกลุ่มที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา (FTOPF และ FTOPFU) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ตามลำดับ

Table 4.2.1 Effects of diet on performance and DMI of finishing goats (Exp. 2)

Item	Dietary treatments[1]			SEM[2]	Contrast, *P*–value[3]	
	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
Growth performance						
No. of goats	6	6	6	–	–	–
Days on feed	90	90	90	–	–	–
BW[4], kg						
Initial BW, kg	18.33	18.86	18.91	0.34	0.21	0.92
Final BW, kg	27.73	28.90	28.23	0.54	0.23	0.40
Weight gain (kg)	9.40	10.03	9.31	0.40	0.58	0.23
DMI						
kg/d	0.718	0.716	0.703	0.02	0.66	0.57
%BW	3.13	3.04	2.97	0.07	0.16	0.49
g/kg of $BW^{0.75}$	68.34	65.50	66.95	1.34	0.22	0.46
OM, kg/d	0.679	0.659	0.671	0.02	0.45	0.59
CP, kg/d	0.108	0.107	0.109	0.01	0.97	0.53
NDF, kg/d	0.332	0.313	0.314	0.01	0.07	0.98
ADF, kg/d	0.182^{a}	0.174^{ab}	0.166^{b}	0.01	0.03	0.17
ADG, kg/d	0.105	0.111	0.103	0.01	0.59	0.23
ADG, g/kg $W^{0.75}$	10.07	10.43	9.74	0.36	0.97	0.20
G:F, kg/kg	0.147	0.159	0.146	0.01	0.55	0.21

[a–c] Means within rows followed with different superscript letters are statistically different (P<0.05).

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea, FT = Fungal treated.

[2] SEM = Standard error of the mean.

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

[4] BW = body weight; DMI = dry matter intake; ADG = average daily gain; G:F = gain–to–feed.

เมื่อพิจารณาปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมด (วัตถุแห้ง) ทั้งที่คิดเป็นปริมาณเฉลี่ย (kg/d) เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) คิดเป็นต่อกิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก (g/kg $W^{0.75}$) และปริมาณการกินได้ของโภชนะต่างๆ (OM, CP และ NDF) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยปริมาณการกินได้ทั้งหมดและคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว มีค่าอยู่ในช่วง 0.703-0.718 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน และ 2.97-3.13 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ตามลำดับ ทำนองเดียวกับปริมาณการกินได้ของอินทรีย์วัตถุ และโปรตีน พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ขณะที่ ปริมาณการกินได้ของลิกโนเซลลูโลส (ADF) พบว่ามีความแตกต่างกัน (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับ UOPF มีค่าสูงกว่า (0.182 kg/d) กลุ่มที่ได้รับ FTOPFU (0.166 kg/d) ขณะที่ ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มควบคุม (UOPF) กับกลุ่มที่ได้รับ FOPFT (0.174 kg/d) ทำนองเดียวกับปริมาณการกินได้ของผนังเซลล์ (NDF) ที่พบว่า กลุ่มที่ได้รับ FT (FTOPF และ FTOPFU) ในสูตรอาหารมีแนวโน้มปริมาณการกินได้ของผนังเซลล์ลดลง (P= 0.07) อาจจะเนื่องมาจากเชื้อราสามารถละลายผนังเซลล์ (cell wall) เพื่อใช้เป็นแหล่งของคาร์บอน เนื่องจากเชื้อราสามารถปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำได้ (insoluble carbohydrate) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (soluble carbohydrate) (Singh, 1990); Fazaeli et al., 2004)

ผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จต่ออัตราการเจริญเติบโต กิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่มของแพะ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.103-0.111 กิโลกรัมต่อวัน 9.74-10.43 g/kg $W^{0.75}$ และ 0.146-0.159 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม (UOPF) กับกลุ่มที่ได้รับ FT (FTOPF และ FTOPFU) ในสูตรอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักตัวเพิ่ม และปริมาณการกินได้ทั้งหมดของแพะ

4.2.2 การศึกษาคุณภาพซากในแพะ

4.2.2.1 องค์ประกอบของร่างกายของแพะ

Table 4.2.2 แสดงองค์ประกอบของร่างกายของแพะที่ได้รับผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จ โดยเฉลี่ยพบว่าแพะทั้ง 3 กลุ่ม มีน้ำหนักตัวหลังอดอาหาร (25.61 กิโลกรัม) น้ำหนักซากอุ่น (12.35 กิโลกรัม) และเปอร์เซ็นต์ซากอุ่น (48.20%) ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ซาก (49.52%) ใกล้เคียงกับรายงานของ Chanjula et al. (2015) ที่ศึกษาผลของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ในแพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50% แต่มีเปอร์เซ็นต์ซากสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแพะพื้นเมืองที่รายงานโดยศิริชัย และคณะ (2533) (47.8%); ณัฐพล (2548) (46.56%) และขวัญชนก และคณะ (2553) (46.11%) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความยาวซาก ความกว้างของซาก พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก และค่าแรงตัดผ่านเนื้อของกล้ามเนื้อสันนอกแพะ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ยกเว้น กลุ่มที่ได้รับ FTOPFU ที่มีค่าความยาวซากต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (UOPF) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 56.86-59.00, 22.56-23.50 เซนติเมตร และ 9.28-10.09 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ารายงานของ สุทธิพงศ์ และคณะ (2550) ที่รายงานว่า แพะลูกผสมมี

ความยาวซากเฉลี่ย 61.72 เซนติเมตร และ Chanjula et al. (2015) ที่รายงานว่า ในแพะลูกผสมพื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50% มีความยาวซาก ความกว้างของซาก และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกเฉลี่ย 60.74, 26.99 เซนติเมตร และ 12.53 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ มีความยาวซากมากกว่าความยาวซากของแพะเพศผู้ (46.75) แพะเพศผู้ตอน (46.81) และแพะเพศเมีย (44.89) ที่รายงานโดย Mourad et al. (2000) และในแพะพื้นเมืองที่รายงานโดยณัฐพล (2548) ซึ่งมีความยาวซาก 48.17 เซนติเมตร และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก 7.89 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

Table 4.2.2 Effects of diet on slaughtered carcass characteristics of finishing goats (Exp. 2)

Item	Dietary treatments[1]			SEM[2]	Contrast, *P*–value[3]	
	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
Slaughter data						
Fasted live weight, kg	25.83	25.83	25.17	0.69	0.71	0.53
HCW[4], kg	12.40	12.66	12.00	0.43	0.90	0.34
Warm dressing percentage, %	48.05	48.82	47.74	1.34	0.89	0.60
Carcass length (cm)	59.00[a]	58.20[ab]	56.86[b]	0.49	0.07	0.13
Carcass width (cm)	23.50	23.08	22.56	0.27	0.11	0.24
LM area[5], cm^2	10.09	9.82	9.28	0.49	0.42	0.48
WBSF[6] (kg/cm^2)	3.61	3.18	3.40	0.26	0.38	0.58
Back fat thickness, cm	0.66	0.83	1.00	0.11	0.15	0.37
45 min pH[7]	6.78	6.71	6.50	0.09	0.21	0.19
24 h pH[8]	5.93	5.59	5.90	0.09	0.21	0.09
Color of LM[9] (*Longissimus dorsi)*						
L*	37.00	37.20	36.53	1.08	0.92	0.68
a*	12.00	11.70	10.10	1.27	0.32	0.87
b*	8.90	9.23	8.73	0.48	0.97	0.50

[a–c] Means within rows followed with different superscript letters are statistically different (P<0.05).

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea, FT = Fungal treated.

[2] SEM = Standard error of the mean.

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

[4] HCW = hot carcass weight.

[5] LM = Longissimus muscle area, cm^2 from *Longissimus dorsi*.

[6] WBSF: Warner–Bratzler shear force.

[7] pH measurements taken at 45 min after slaughter

[8] pH measurements taken at 24 h after slaughter

[9] L* values are a measure of lightness (higher value indicates a lighter color); a* values are a measure of redness (higher value indicates a redder color); b* values are a measure of yellowness (higher value indicates a more yellow color), by CIE = Complete international commission on illumination (Hunter color flex).

ส่วนค่าความหนาไขมันสันหลัง พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.66–1.00 เซนติเมตร ทำนองเดียวกับค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) ของกล้ามเนื้อจากซากแพะภายหลังฆ่าที่ 45 นาที และ 24 ชั่วโมง โดยทำการวัดค่า pH ของกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*) ที่บริเวณระหว่างกระดูกซี่โครงซี่ที่ 12 กับ 13 พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ของค่า pH โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.50–6.78 และ 5.59–5.93 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ปกติในสัตว์ (6.0–6.5 และ 5.6–5.8) (Koohmaraie et al., 1991) ใกล้เคียงกับรายงานของ Webb et al. (2005) ที่รายงานค่าความเป็นกรด–ด่างวัดที่ 24 ชั่วโมงหลังตาย หรือ pH สุดท้ายของแพะพันธุ์ Boer, Cashmere, Criollo males และ Spanish does มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5.7–6.19 ซึ่ง ชัย ณรงค์ (2529) รายงานว่า หลังจากสัตว์ถูกฆ่า ค่าความเป็นกรด–ด่างในกล้ามเนื้อจะลดลงอย่างช้าๆ จากเดิมประมาณ 7.0 แล้วจะลดลงสู่จุด pH สุดท้าย ระหว่าง 5.3–5.7 ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากการทดลองครั้งนี้ ผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จไม่อิทธิพลต่อค่า pH ของกล้ามเนื้อสันนอก ซึ่งสังเกตเห็นได้จากค่าสีเนื้อไม่มีลักษณะของสีซีด และฉ่ำน้ำ (pale soft exudative, PSE) (pH < 6 pH_{45}) หรือมีสีคล่ำ (dark firm dry, DFD) (pH >6 pH_U)

เมื่อพิจารณาผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จต่อค่าสีของกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*) ของแพะ พบว่าไม่มีผลต่อค่าสี L*, a* และ b* ของกล้ามเนื้อแพะแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าสีอยู่ในช่วง 36.53–37.20, 10.10–12.00 และ 8.73–9.23 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ารายงานของ Lee et al. (2008) ที่รายงานว่า ค่าสีของกล้ามเนื้อสันนอกของแพะลูกผสม Boer x Spanish ที่เลี้ยงในโรงเรือนโดยได้รับอาหารที่แตกต่างกันมีค่าสี (L*, a* และ b*) อยู่ในช่วง 39.81–43.57, 9.34–9.89 และ 11.09–12.45 ตามลำดับ และ Chanjula et al. (2015) ที่รายงานว่า ค่าสีของกล้ามเนื้อสันนอกของแพะลูกผสมพื้นเมือง–แองโกนูเบียน มีค่าสีอยู่ในช่วง 37.75–39.95, 11.83–12.61 และ 10.15–11.34 ตามลำดับ ขณะที่ ผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีค่าสี L* สูงกว่า แต่มีค่าสี a* และ b* ต่ำกว่ารายงานของ Solaiman et al. (2011) ที่รายงานว่า ค่าสี (L*, a* และ b*) ของกล้ามเนื้อสันนอกของแพะลูกผสม Boer และแกะ มีค่าสีเฉลี่ย 28.05; 29.91, 16.21; 17.35 และ 15.44; 16.82 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของค่าสีที่เกิดในกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลายประการ เช่น พันธุ์ อายุ เพศ ชนิดอาหารที่สัตว์กิน ชนิดกล้ามเนื้อจากส่วนต่างๆ ของร่างกาย ปริมาณของรงควัตถุไมโอโกลบิน (myoglobin pigment) ที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ ตลอดจนสภาวะความเป็นกรด–ด่าง และสภาวะการสูญเสียน้ำของกล้ามเนื้อสัตว์ เป็นต้น (Lawire, 1991; Warriss, 2000) ซึ่ง Dhanda et al. (2003a) รายงานว่าอายุแพะที่มากกว่ามีแนวโน้มค่าสีสูงกว่าในแพะที่อายุน้อย ทั้งนี้เพราะแพะที่มีอายุมากกว่ามีการใช้ และสะสมออกซิเจนในปริมาณที่สูงกว่าแพะที่มีอายุน้อยกล้ามเนื้อจึงมีสีเข้มกว่า สอดคล้องกับการศึกษาในแกะ ที่ศึกษาผลของอายุดังรายงานของ Sanudo et al. (1996) มากกว่านั้น Beriain et al. (2000) พบว่า แกะที่มีน้ำหนักฆ่าสูงจะมีสีของกล้ามเนื้อคล้ำกว่าแกะที่มีน้ำหนักฆ่าต่ำกว่า เพราะเนื้อจากซากที่มีน้ำหนักฆ่าเพิ่มขึ้นจะมีค่าความเข้มข้นของ myoglobin ในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้สีของเนื้อเข้มขึ้น นอกจากนี้ ความแตกต่างเรื่องสายพันธุ์พบว่า แพะลูกผสม Feral x Feral และ Saanen x Feral มีค่า a* (12.4) สูงกว่าแพะลูกผสมพันธุ์อื่นๆ (10.3–11.8) ส่วนค่า L* และ b* พบว่าลูกผสม Boer x Saanen มีค่าสีทั้ง 2 ชนิด สูงที่สุด (Dhanda et al., 2003a) และสัญชัย (2543) รายงานว่าค่าความเป็นกรด–ด่างใน

กล้ามเนื้อมีผลให้สีของเนื้อซีดลงได้เช่นกัน ถ้าค่าความเป็นกรด–ด่างต่ำกว่า 5.8 ทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพในการอุ้มน้ำ ทำให้เม็ดสี myoglobin ไหลออกจากเซลล์กล้ามเนื้อด้วย

จากผลการทดลองครั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างของค่าสีเนื้อมาจากอิทธิพลของผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จ และกลุ่มควบคุม (UOPF) อาจเนื่องจาก แพะทดลองมีอายุใกล้เคียงกันขณะเข้าฆ่า ดังนั้น จึงไม่มีผลจากอาหารทดลองสำหรับค่าสีของเนื้อ (L*, a* และ b*) และกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในกล้ามเนื้อสัตว์ภายหลังสัตว์ตายเป็นไปอย่างปกติ ดังนั้น จึงไม่ส่งผลต่อค่าสีของกล้ามเนื้อแพะ

4.2.2.2 องค์ประกอบของร่างกายแพะ

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของร่างกายของแพะในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าแพะทั้ง 3 กลุ่ม ที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา (*Lentinus sajor–caju*, LSc) มีเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของร่างกาย ได้แก่ หัว หนัง หาง หัวใจ ปอดรวมหลอดลม ม้าม กระบังลม ไต ตับ เลือด อัณฑะรวมองคชาต ระบบทางเดินอาหาร ไขมันในช่องท้อง และไขมันหุ้มไต พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (Table 4.2.3) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.24, 10.35, 0.18, 2.91, 0.42, 1.37, 0.19, 0.54, 0.26, 1.60, 4.03, 0.97, 2.11, 0.70, 0.85, 0.45, 1.46, 1.88 และ 3.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ การศึกษาครั้งนี้ พบว่าแพะมีเปอร์เซ็นต์ของหน้าแข้ง และกระเพาะรูเมน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยแพะกลุ่มที่ได้รับ UOPF มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ FT (FTOPF และ FTOPFU) ซึ่งเหตุผลยังไม่ชัดเจน อาจมีบางปัจจัยในอาหารทำให้ลดลง

4.2.2.3 องค์ประกอบ และสัดส่วนซากสากลของแพะ

Table 4.2.4 แสดงองค์ประกอบของซากจากการตัดแต่งซากแบบสากลของของแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา (*Lentinus sajor–caju*, LSc)ในสูตรอาหารผสมเสร็จ พบว่าแพะที่ได้รับ UOPF และ FT (FTOPF และ FTOPFU) มีสัดส่วนของสันสะเอว (loins) สันซี่โครง (rack) ไหล่ (shoulder)ขาหน้า (fore leg) อก (breast) และคอ (neck) ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.15–9.48, 8.52–8.68, 9.45–9.66, 21.11–21.86, 12.38–12.63 และ 6.94–7.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ยกเว้น ขาหลัง (hind leg) และสะโพก (chump) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสิถิติ (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับ FTOPF มีค่าขาหลัง (%) สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ และกลุ่มที่ได้รับ FTOPFU มีค่าสะโพก (%) สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนซากสากลของแพะลูกผสมในการศึกษาครั้งนี้ ใกล้เคียงกับการศึกษาของสาธิต (2552) ที่รายงานว่า แพะพื้นเมืองที่ปล่อยแทะเล็มในแปลงหญ้าพลิแคททูลัมเสริมอาหารข้นที่มีโปรตีนรวม 14 เปอร์เซ็นต์ มีสัดส่วนของสันสะเอว (10.13 เปอร์เซ็นต์) ขาหลัง (21.13 เปอร์เซ็นต์) สะโพก (6.91 เปอร์เซ็นต์) สันซี่โครง (10.38 เปอร์เซ็นต์) ไหล่ (8.63 เปอร์เซ็นต์) ขาหน้า (19.73 เปอร์เซ็นต์) อก (10.54 เปอร์เซ็นต์) และคอ (10.52 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ขณะที่ สุทธิพงศ์ และคณะ (2550) รายงานว่า แพะลูกผสมมีเปอร์เซ็นต์ซากของส่วนคอ ไหล่ ซี่โครง อก แข้ง เนื้อสัน พื้นท้อง และขาเฉลี่ย 8.22, 24.07, 8.65, 9.29, 7.77, 7.33, 1.99 และ 29.02% ตามลำดับ และสุนทร (2555) รายงานว่า แพะลูกผสมที่เลี้ยงด้วยอาหาร TMR ที่มีสัดสัดส่วนของทางใบปาล์มหมัก (OPF silage) และอาหารข้น (80:20, 70:30, 60:540 และ 50:50) พบว่ามี

ค่าเฉลี่ยของไหล่ ขาหลัง สะโพก อก คอ และขาหน้า เท่ากับ 11.49, 24.65, 6.81, 6.99, 6.76 และ 19.30% ตามลำดับ

Table 4.2.3 Effects of diet on body and gut composition of finishing goats (Exp. 2)

Item	Dietary treatments[1]			SEM[2]	Contrast, *P*-value[3]	
	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
Body and gut contents[4], %						
Head	8.42	8.19	8.12	0.45	0.66	0.91
Skin	10.64	9.97	10.43	0.73	0.64	0.54
Tail	0.17	0.18	0.19	0.02	0.52	0.57
Shank	3.15[a]	2.83[ab]	2.75[b]	0.10	0.05	0.61
Heart	0.41	0.42	0.44	0.02	0.64	0.55
Lung	1.32	1.23	1.57	0.13	0.66	0.13
Spleen	0.20	0.18	0.19	0.02	0.70	0.64
Diaphragm	0.33	1.03	0.26	0.45	0.60	0.30
Kidney	0.27	0.25	0.28	0.02	0.89	0.30
Liver	1.71	1.53	1.64	0.13	0.47	0.57
Blood	4.10	3.94	4.05	0.20	0.67	0.72
Penis	1.16	1.13	1.02	0.06	0.31	0.29
Rumen	1.75[a]	1.50[b]	1.52[ab]	0.08	0.01	0.79
Reticulum	0.27	0.28	0.25	0.01	0.90	0.10
Omasum	0.27	0.28	0.24	0.01	0.32	0.03
Abomasum	0.37	0.38	0.38	0.05	0.96	0.99
Small intestine	1.08	1.08	1.51	0.29	0.57	0.36
Large intestine	0.85	0.99	1.01	0.18	0.53	0.93
Visceral fat	3.06	5.11	2.99	0.93	0.43	0.18
Kidney fat, %	3.72	3.35	3.83	0.80	0.90	0.69
Pelvic fat, %	0.50	2.20	0.66	0.97	0.46	0.30
Heart fat, %	1.02	0.75	0.55	0.22	0.23	0.54
Gallbladder, %	0.41	0.46	0.62	0.11	0.40	0.37

[a-c] Means within rows followed with different superscript letters are statistically different (P<0.05).

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea, FT = Fungal treated.

[2] SEM = Standard error of the mean.

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

[4] Body and gut contents = as a percentage of fasted live weight of goat.

Table 4.2.4 Effects of diet on carcass composition of finishing goats (Exp. 2)

Item	Dietary treatments[1]			SEM[2]	Contrast, *P*–value[3]	
	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
Carcass composition[4]						
Loin, %	9.15	9.48	9.26	0.19	0.41	0.47
Hind leg, %	22.37^{b}	24.92^{a}	21.55^{b}	0.30	0.08	0.05
Chump, %	8.07^{b}	8.49^{b}	9.19^{a}	0.10	0.05	0.05
Rack, %	8.61	8.52	8.68	0.44	0.98	0.80
Shoulder, %	9.66	9.45	9.53	0.15	0.54	0.81
Fore leg, %	21.11	21.35	21.86	0.78	0.63	0.67
Breast, %	12.46	12.63	12.38	0.45	0.93	0.72
Neck, %	6.94	7.01	7.04	0.19	0.75	0.91

$^{a–c}$ Means within rows followed with different superscript letters are statistically different (P<0.05).

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea, FT = Fungal treated.

[2] SEM = Standard error of the mean (n = 3).

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

[4] Carcass composition = as a percentage of chilled carcass weight

4.2.2.4 คุณค่าทางโภชนาการ และสมบัติทางกายภาพของเนื้อแพะ

คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะแต่ละกลุ่มทดลองได้รับทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา (*Lentinus sajor–caju*, LSc) ในสูตรอาหารผสมเสร็จ (Table 4.2.5) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ของวัตถุแห้ง เถ้า โปรตีน และไขมัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 26.15–26.35, 1.52–1.59, 22.06–22.12 และ 1.41–1.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำนองเดียวกับค่าแคลเซียม (Ca) และฟอสฟอรัส (P) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.10–0.11 และ 0.62–0.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา ไม่อิทธิพลต่อคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ อาจเนื่องจาก การทดลองครั้งนี้แพะทุกกลุ่มมีปริมาณการกินได้ของออาหาร และได้รับโภชนะใกล้เคียงกัน และเป็นแพะพันธุ์เดียวกัน

จากการทดลองนี้ ค่า % โปรตีน และเถ้าสูงกว่ารายงานของ Beserra et al. (2004) ที่รายงานว่าโปรตีน และเถ้าเนื้อแพะที่ฆ่าที่อายุ 8–10 เดือน มีโปรตีน และเถ้าช่วง 20.7–21.9 และ 1.1–1.1% ตามลำดับ แต่มี % ไขมันต่ำกว่า (1.5–2.7%) ขณะที่ % ไขมันที่ศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่ารายงานของเฉลิมขวัญ (2552) ที่รายงานว่า แพะลูกผสมแองโกลนูเบียน 50% x พื้นเมือง 50% และแพะพื้นเมืองมีไขมัน 1.35 และ 0.90% ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างน่าเป็นผลจากอาหารทดลองที่แตกต่างกัน ปริมาณอาหารที่กิน อายุ และเพศ เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้แพะลูกผสมแองโกลนูเบียน 50% x พื้นเมือง 50% เพศผู้ที่ไม่ตอน ปริมาณการสะสมไขมันในเนื้อจึงมีค่าสูงกว่าแพะพื้นเมือง ซึ่ง Evan et al. (1976) รายงานว่า สายพันธุ์แพะที่แตกต่างกันมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อแพะ โดยสัตว์พันธุ์ต่างประเทศ หรือสัตว์ลูกผสมจะมีการสะสมไขมันสูงกว่าสัตว์พันธุ์พื้นเมือง (Xiong et al., 1993) และ Tshabalala et al. (2003) รายงานว่า พันธุ์มีผลต่อคุณภาพ

เนื้อแพะ จากการศึกษาพบว่ากล้ามเนื้อแพะพันธุ์บอร์ มีไขมันสูงกว่าแต่มีโปรตีนต่ำกว่าแพะพันธุ์พื้นเมืองแอฟริกา ขณะที่ Sheredin et al. (2003) รายงานว่าแพะพันธุ์บอร์ที่อายุขุน 56 วัน มีไขมันสูงกว่าที่อายุขุน 28 วัน แต่มีโปรตีนใกล้เคียงกัน ขณะที่ Schönfeldt et al. (1993) รายงานว่า แพะพันธุ์บอร์ และพันธุ์แองโกร่า มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น และโปรตีนใกล้เคียงกัน

Table 4.2.5 Effects of diet on chemical composition of *Longissimus dorsi* muscle of finishing goats (Exp. 2)

Item	Dietary treatments[1]			SEM[2]	Contrast, *P*–value[3]	
	UOPF	FTOPF	FTOPFU		UOPF vs. FT	FTOPF vs. FTOPFU
Nutritional composition						
DM, %	26.35	25.62	26.15	0.31	0.31	0.30
Ash, %	1.59	1.53	1.52	0.08	0.58	0.97
Protein, %	22.06	22.11	22.12	0.16	0.80	0.96
Ether extract, %	1.48	1.41	1.72	0.11	0.59	0.13
Calcium, %	0.10	0.11	0.10	0.01	1.00	0.56
Phosphorus, %	0.67	0.62	0.69	0.04	0.86	0.35

[a-c] Means within rows followed with different superscript letters are statistically different (P<0.05).

[1] Treatments: UOPF = untreated oil palm frond, FTOPF = Fungal treated oil palm frond, FTOPFU = Fungal treated oil palm frond with 1% urea, FT = Fungal treated.

[2] SEM = Standard error of the mean.

[3] Compares the effects of UOPF with the combined FT treatment.

มากกว่านั้น องค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันอาจเป็นผลเนื่องมาจากพันธุกรรม รูปแบบการให้อาหาร อายุ และสิ่งแวดล้อมที่สัตว์ได้รับ โดยจะมีผลตอบสนองที่เด่นชัดกับการสะสมไขมันในกล้ามเนื้อ หรือไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (ชัยณรงค์, 2529; Swatland, 1994) นอกจากนี้ ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณค่าทางโภชนะของเนื้อแพะ เฉลิมขวัญ (2552) รายงานว่า ระบบการเลี้ยงแบบประณีต โดยแพะถูกเลี้ยงภายในโรงเรือน ตัดหญ้าพลิแคทูลั่มสดให้กินอย่างเต็มที่ และเสริมอาหารข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เปรียบเทียบกับการเลี้ยงแบบกึ่งประณีต คือเลี้ยงปล่อยให้เล็มกินหญ้าพลิแคทูลั่มในแปลง 8 ชั่วโมง/วัน และเสริมด้วยอาหารข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่ามีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อ โดยการศึกษาในกล้ามเนื้อสันนอก กล้ามเนื้อสะโพกและกล้ามเนื้อไหล่พบว่า การเลี้ยงแบบประณีตมีความชื้นของกล้ามเนื้อสันนอกมากกว่าแต่มีโปรตีนต่ำกว่าการเลี้ยงแบบกึ่งประณีต การเลี้ยงแบบประณีตมีคอลลาเจนที่ละลายได้ และปริมาณคอเลสเตอรอล มากกว่าการเลี้ยงแบบกึ่งประณีต ในส่วนของกล้ามเนื้อสะโพกพบว่าการเลี้ยงแบบประณีตมีคอลลาเจนที่ละลายได้ในกล้ามเนื้อมากกว่า แต่มีคอเลสเตอรอลต่ำกว่าการเลี้ยงแบบกึ่งประณีต และกล้ามเนื้อไหล่ พบว่าการเลี้ยงแบบประณีตมีความชื้นในกล้ามเนื้อมากกว่า แต่มีโปรตีนต่ำกว่าการเลี้ยงแบบกึ่งประณีต การเลี้ยงแบบประณีตมีคอลลาเจนที่ละลายได้มากกว่า แต่มีคอเลสเตอรอลต่ำกว่าการเลี้ยงแบบกึ่งประณีต

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษา ผลของ fungal treatment ต่อการย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมรรถภาพการผลิตของแพะขุน เพื่อจะนำไปสู่เป้าหมายในการพัฒนาเทคโนโลยีอาหารแพะ โดยอาศัยอาหารที่มีอยู่ในท้องถิ่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ จากการวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปการดำเนินการทดลองโดยรวมได้ ดังนี้

5.1 การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจนในแพะ

ผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา หรือเชื้อเห็ดตีนปลอก (*Lentinus sajor-caju*, LSc) ในสูตรอาหารผสมเสร็จ เปรียบเทียบกับทางใบปาล์มน้ำมัน (UOPF) หรือสูตรควบคุม พบว่าสามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อรา (FTOPF) และทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราร่วมกับยูเรีย (FTOPFU) ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินอาหารทั้งหมดโดยรวมของอาหาร ขณะที่ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, OM, CP, NDF, ADF และ ADL) ของกลุ่มที่ได้รับ FTOPF และ FTOPFU มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ UOPF ส่วนสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเถ้าไม่มีความแตกต่างกัน ทำนองเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) และค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (BUN) กลูโคส และ PCV ในกระแสเลือด ประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในแพะ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

ดังนั้น สามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จของแพะเป็นแหล่งอาหารหยาบได้ในสูตรอาหารได้ระดับ 30% โดยไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ การย่อยได้ กระบวนการหมักและสมดุลไนโตรเจน หรือสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง

5.2 การศึกษาปริมาณการกินได้ การเจริญเติบโต และคุณภาพซากในแพะ

การศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแพะ พบว่าน้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมด (วัตถุแห้งปริมาณการกินได้ของโภชนะต่างๆ (OM, CP, NDF และ ADF) อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่มของแพะพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของร่างกายของแพะ จากการศึกษาพบว่า น้ำหนักตัวก่อนอดอาหาร น้ำหนักตัวหลังอดอาหาร น้ำหนักซากอุ่น เปอร์เซ็นต์ซาก ความยาวซาก ความกว้างของซาก และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ทำนองเดียวกับองค์ประกอบของร่างกายของแพะ ได้แก่ หัว หนัง หาง หัวใจ ปอดรวมหลอดลม ม้าม กระบังลม ไต ตับ เลือด อัณฑะรวมองคชาต ระบบทางเดินอาหาร ลำไส้ใหญ่ ไขมันในช่องท้อง และไขมันหุ้มไต การตัดแต่งซากแบบสากล คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อของกล้ามเนื้อแพะ ค่าสีของกล้ามเนื้อสันนอก พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการทดลองครั้งนี้ สามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราในสูตรอาหารผสมเสร็จของแพะเป็นแหล่งอาหารหยาบได้ในสูตรอาหารได้ระดับ 30% โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซากของแพะ และสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง ดังนั้น สามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรามาเป็นแหล่งอาหารหยาบทดแทนในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษารูปแบบการให้อาหารที่เหมาะสมเพื่อกระตุ้นการกิน รวมทั้งศึกษาในแพะขุน หรือแพะรีดนมในระยะต่างๆ ในสภาวะการเลี้ยงของเกษตรกร ต่อไป

บทที่ 6
เอกสารอ้างอิง

กิตติพงศ์ ศิริวานิชกุล และปัญญา โพธิ์ฐิติรัตน์. 2533. เทคโนโลยีการเพาะเห็ด. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

เกตวรรณ บุญเทพ, วันวิศาข์ งามผ่องใส และไชยวรรณ วัฒนจันทร์. 2557. การประเมินอินทรียวัตถุที่ย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารผสมสำเร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบเสริมเอนไซม์ระดับต่างๆ โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส. แก่นเกษตร. 42:169–180.

ขวัญดาว แต่งตั้ง, เจษฎา เนรมิตศรัทธา และวุฒิชัย ผอมทอง. 2549. การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับแพะ. รายงานปัญหาพิเศษ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ขวัญชนก รัตนะ วันวิศาข์ งามผ่องใส ปิ่น จันจุฬา และอภิชาติ หล่อเพชร. 2553. ผลของระดับเยื่อในลำต้นสาคูในอาหารข้นต่อการใช้ประโยชน์ของโภชนะ กระบวนการหมักในรูเมน และสมรรถภาพการผลิตของแพะพื้นเมืองไทยเพศผู้. ว. แก่นเกษตร. 38:249–260.

จีระชัย กาญจนพฤฒิพงศ์. 2529. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ฟางข้าวราดสารละลายยูเรีย–กากน้ำตาลเป็นอาหารหยาบสำหรับวัวนมรุ่นเพศผู้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฉลอง วชิราภากร. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

เฉลิมขวัญ สุขเนียม. 2552. องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพและโครงสร้างทางกายภาพของกล้ามเนื้อแพะพื้นเมืองและแพะลูกผสมแองโกลนูเบียน 50% x พื้นเมือง 50% ที่เลี้ยงภายใต้ระบบที่แตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

ไชยวรรณ วัฒนจันทร์ และวันวิศาข์ งามผ่องใส. 2555. ผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบร่วมกับการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและลักษณะซากแพะ. แก่นเกษตร. 40:331–342.

ณัฐฐา รัตนโกศล, วันวิศาข์ งามผ่องใส, ไชยวรรณ วัฒนจันทร์ และเสาวนิต คูประเสริฐ. 2552. ผลการหมักทางใบปาล์มน้ำมันร่วมกับกากน้ำตาลระดับต่างๆ ต่อการกินได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในแพะ. แก่นเกษตร. 37:235–244.

ณัฐพล เพ็งบุญโสม. 2548. ผลของระดับโปรตีนในอาหารข้นที่มีต่อลักษณะและองค์ประกอบของซากแพะเพศผู้พื้นเมืองไทยและลูกผสมพื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้รับข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

ถนัด รัตนานุพงศ์. 2531. การเสริมยูเรีย – กากน้ำตาล และใบกระถิน – กากน้ำตาลในฟางข้าวสำหรับโคนมในฤดูแล้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทิศสานติ์ สังขไพฑูรย์. 2544. ปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของโภชนะของหญ้าขน (*Brachiaria mutica*) ในแพะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ, นิทัศน์ สองศรี และยงยุทธ เชื้อมงคล. 2545. การปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลผลิตของปาล์มน้ำมัน. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2546. ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์. หจก. ธนบรรณการพิมพ์, เชียงใหม่.

ประดิษฐ์ อาจชมภู ศิริศักดิ์ บริรักษ์ธนกุล เกียรติศักดิ์ สร้อยสุวรรณ สมจิตร ถนอมวงศ์วัฒนะ และสมพร จันทระ. 2551. การพัฒนาทางใบปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับแพะ. เอกสารประกอบสัมมนาวิชาการ การพัฒนาอาชีพการเลี้ยงแพะอย่างยั่งยืน งานแพะแห่งชาติครั้งที่ 5 ณ สวนสมเด็จพระศรีนครินทร์ นครศรีธรรมราช 23 เมษายน 2551 หน้า 57-66.

ประธาน เสนีย์วงศ์ ณ. อยุธยา. 2536. การปรับปรุงคุณค่าของฟางข้าวโดยการหมักด้วยเชื้อราเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปาณิสรา สงครามมะลิ. 2548. การเพิ่มปริมาณโปรตีนและคุณค่าทางอาหารในฟางข้าวเพื่อเป็นอาหารสัตว์โดยใช้จุลินทรีย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปิ่น จันจุฬา พัชรินทร์ ภักดีฉนวน และสุธา วัฒนสิทธิ์. 2557. ผลของระดับกลีเซอรีนดิบในอาหารผสมเสร็จต่อนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน และสมดุลไนโตรเจนในแพะ. วารสารเกษตร. 30:291-304.

พนอม ศรีวัฒนสมบัติ. 2526. ผลของการเสริมใบกระถินและ/ หรือใบผักตบชวาป่นร่วมกับฟางหมักยูเรียในสูตรอาหารกระบือปลักต่อการย่อยได้และความสมดุลของไนโตรเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2539. หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 2. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ภิญญดา แซ่ตั้ง. 2546. การโคลนและวิเคราะห์โครงสร้างของยีนลิกนิเนสที่สำคัญจากเห็ดหิ้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภูวดล เหมชะรา ปิ่น จันจุฬา และอนุสรณ์ เชิดทอง. 2559. ปริมาณการกินได้ และเมแทบอไลท์ในกระแสเลือดของแพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรา. วารสารแก่นเกษตร. 44 (ฉบับพิเศษ) 2:397-408

มาลี ศรีสดสุข และนวลจันทร์ พารักษา. 2551. การเพิ่มปริมาณโปรตีนและคุณค่าทางอาหารในฟางข้าวเพื่อเป็นอาหารสัตว์โดยใช้จุลินทรีย์. ใน: ปรีชา อินนุรักษ์ และทวีพร เรืองพริ้ม (บรรณาธิการ). โครงการถ่ายทอดเทนโนโลยีการเพิ่มศักยภาพการใช้ฟางข้าวเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. หน้า 87-103.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตกระบือและโค สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจเพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี่พลับบลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

ยิ่งลักษณ์ คุ้มสุพรรณ. 2543. ผลของการปรับปรุงคุณภาพหญ้าแฝกโดยเชื้อเห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor-caju*) ต่อการยอมรับและการใช้ประโยชน์ในแกะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิชัย ปานสมุทร วิทยา พงศ์พฤทธิ์ และชวน อินต๊ะรังสี. 2546. ปาล์มน้ำมัน. สำนักพัฒนาพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ.

วิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ. 2530. ผลของการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวต่อการเจริญเติบโตและการย่อยได้ในแกะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วุฒิชัย สีเผือก. 2549. การเพิ่มศักยภาพการเลี้ยงโคเนื้อและแพะโดยใช้ผลพลอยได้จากปาล์มน้ำมันและอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในพื้นที่ภาคใต้. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์นครศรีธรรมราช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. เอกสารประกอบการบรรยายพิเศษ โครงการอบรมบริการวิชาการเรื่อง หลักการใช้ผลพลอยได้จากการปลูกปาล์มน้ำมันและอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อเป็นอาหารโคและแพะ. คณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี วันที่ 28 เมษายน 2549. 12 น.

ศุภรัตน์ บุญคง. 2553. การสกัดเอ็นไซม์โพลีแซคคาไรด์จากก้อนเห็ดใช้แล้วเพื่อเสริมอาหารสัตว์. ปัญหาพิเศษ. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์. 2555. เกษตร/ปศุสัตว์ในประเทศไทย (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.dld.go.th/ict/th/index.php?option=com_content&view=section&id=4 5 &Itemid=1 2 3 . (เข้าถึงเมื่อ 24 เมษายน 2555).

ศิริชัย ศรีพงศ์พันธุ์ วินัย ประลมพ์กาญจน์ และสุรศักดิ์ คชภักดี. 2533. เปรียบเทียบการเจริญ เติบโตและลักษณะซากระหว่างเพศในแพะพื้นเมือง. ว. สงขลานครินทร์ 12:265-271.

สาธิต เขาไข่แก้ว. 2552. ผลของพันธุ์และระบบการเลี้ยงที่มีต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะซากและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในแพะเพศผู้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์. 2537. หลักวิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์ เทอดศักดิ์ คำเหม็ง ฉลอง วชิราภากร และพรพรรณ แสนภูมิ. 2550. ผลของระดับโปรตีนในอาหารข้นร่วมกับฟางข้าวหรือฟางข้าวหมักยูเรียต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะซาก และการยอมรับของผู้บริโภคเนื้อแพะและแกะ. ใน: การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 3 23 มกราคม 2550 ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 237-246.

สุนทร รอดด้วง. 2555. ผลของการใช้ทางใบปาล์มหมักในอาหารผสมสำเร็จต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากแพะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร-ปาล์มน้ำมัน. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http:// www.oae.go.th/download/prcai/farmcrop/palm.pdf (เข้าถึงเมื่อ 12 ตุลาคม 2557).

สัญชัย จตุรสิทธา. 2543. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. เชียงใหม่: ธนบรรณการพิมพ์.

สันติ หมัดหมัน, ไชยวรรณ วัฒนจันทร์, วันวิศาข์ งามผ่องใส และเสาวนิต คูประเสริฐ. 2555. ผลของการหมักทางใบปาล์มน้ำมันร่วมกับกากน้ำตาลระดับต่างๆต่อปริมาณการกินได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในโคพื้นเมือง. แก่นเกษตร. 40(1):79-92.

โอภาส พิมพา. 2556. การใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อเป็นอาหารสัตว์. นิรันดร์ สุมาลี (บก). ทุกส่วนของปาล์มน้ำมันล้วนนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้น. โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮาส์ จำกัด. กรุงเทพฯ. หน้า 131-145.

Abdul Khalil, H. P. S., M. Siti Alwani and A. K. Mohd Omar. 2006. Chemical composition, anatomy, lignin distribution, and cell wall structure of Malaysian plant waste fibres. Bioresource. 1:220-232.

Abu Hassan, O., A. R. Azizan, M. Ishida and C. Abu Bakar. 1993. Oil palm fronds silage as a roughage source for milk production in Sahiwal-Friesian cows. *Proc. of 16th. Malaysian Society of Animal Production.* 8-9th June 1993, Pulau Langkawi, Malaysia, pp. 34-35.

Abu Hassan, O. and M. Ishida. 1991. Effect of water, molasses and urea addition on oil palm frond silage quality-Fermentation characteristics and palatability to Kedah-Kelantan bulls. Proc. of the 3rd. Int. Symp. on the Nutrition of Herbivores. 25-30th August 1991, Penang, Malaysia, pp. 94.

Abu Hassan, O. and M. Ishida. 1992. Status of Utilization of select fibrous crop residues and animal performance with emphasis on processing of oil palm fronds (OPF) for ruminant feed in Malaysia. Tropical Agriculture Research Center (TARC @ JIRCAS), TARS No.25. Ministry of Agriculture, Forestry and Fishery, Japan. pp. 134-143.

Abu Hassan, O., M. Ishida, I. Mohd. Shugri and Z. Ahmud Tajuddin. 2006. Oil-palm fronds as a rougphage feed source for ruminant in Malaysia. Livestock research division. Malaysia Agriculture Reserch and Development Institute (MARDI). Kuala Lumpur. Malaysia 8p.

Abu Hassan, O., M. Ishida, S. Oshio and Z. Ahmud Tajuddin. 1995. Utilization of oil palm trunk and fronds as feed for ruminant. Proc. 1st International Symposium on the Integration of Livestock and Oil palm Production. 25 – 27 May 1995. Kuala Lumpur. pp. 127-136.

Abu Hassan, O., S. Oshio, A. R. Ismail, D. Mohd. Jaafar, N. Nakanishi, I. Dahlan and S. H. Ong. 1991. Experiences and challenges in processing, treatment, storage and feeding of oil palm trunks based diets for beef production. Proc. of Seminar on Oil Palm Trunks and Other Palmwood

Utilization. (Oil Palm Tree Utilization Committee of Malaysia). 4–5th March 1991, Kuala Lumpur Malaysia, pp. 231–245.

Adamovic, M., G. Grubic, I. Milenkovic, R. Jovanovic, R. Protic, L. Sretenovic, and Lj. Stoicevic. 1998. The biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus* mushrooms and its use in cattle feeding. Anim. Feed Sci. Technol. 71:357–362.

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. 66:407–422.

Akmar, P. F., W. Rashida, W. A. Kadir, W. A. Ibrahim and S. Noraklakman. 1996. Products from oil palm residues. In: Proceedings of the Agricultural Conference on International Palm Oil Congress, 23–28 September, 1996, Kuala Lumpur. Palm Oil Research Institute of Malaysia. pp. 588–590.

Alimon, A. R. and M. Hair Bejo. 1995. Feeding systems based on oil palm byproducts in Malaysia. 1st International Symposium on the integration of livestock to oil palm production. MSAP/FAO and UPM, 25–27th June 1995, Kuala Lumpur, Malaysia.

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.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16Th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA.

Ball, A. S. and A. M. Jackson. 1995. The recovery of lignocelluloses–degrading enzymes from spent mushroom compost. Bioresource Technol. 54: 311–314.

Bengaly, K. 2002. Enhancing the Utilization of Oil Palm Fronds (*Elaeis guineensis*) by Stream Treatment and Nitrogen Supplementation in Ruminant. Ph.D. Thesis, Universiti Putra Malaysia.

Beriain, M. J., A. Horcada, A. Purroyt, G. Lizaso, J. Chasco and J. A. Mendizasabal. 2000. Characteristics of lacha and rasa aragonessa lambs slaughtered at three live weights. J. Anim. Sci. 78:3070–3077.

Beserra, F. J., M. S. Madruga, A. M. Leite, E. M. C. da Silva and E. L. Maia. 2004. Effect of age at slaughter on chemical composition of meat from Moxotó goats and their crosses. Small Rumin. Res. 55:177–181.

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

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., P. Pakdeechanuan, S. Wattanasit. 2015. Effects of feeding crude glycerin on feedlot performance and carcass characteristics in finishing goats. Small Rumin. Res. 123:95–102.

Chanjula, P., V. Petcharat and C. Promkot. 2015. Nutritive value of oil palm frond treated with white rot fungi. Proceedings of the 5th International Conference on Sustainable Animal Agricultural for Developing Countries (5th SAADC 2015), Chonburi, Thailand, 27–30 October 2015, pp. 135–138.

Charline, W. S. 2000. Yeast in Animal Feeds. Available Source: http://members.aol.com/ChazStone/Yeast.html, October 31, 2002.

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

Cowling, E. B. 1961. Comparative biochemistry of the decay of sweetgum sapwood by white rot and brown–rot fungi. Dep of Agr. Tech Bull No. 12. Washington, D. C. 75p.

Crocker, C. L. 1967. Rapid determination of urea–nitrogen in serum or plasma without deproteinization. Am. J. Med. Technol. 33:361–365.

Crosthwaite, C., M. Ishihara and G. N. Richards. 1984. Acid–ageing of lignocellulosics to improve ruminant digestibility–Application to bagasse wheat and rice straw and oat hulls. J. Sci. Food Agric. 35:1041–1050.

Dahlan, I. 1996. Oil Palm by–product: its utilization and contribution for livestock industry. Proceedings of the Agricultural Conference on International Palm Oil Congress, Kuala Lumpur, Malaysia, 23–28 September 1996, pp. 269–274.

Dahlan, I., M. Islam and A. M. Rajion. 2000. Nutrient intake and digestibility of fresh ensiled and pelleted oil palm (*Elaeis guineensis*) frond by goats. Asian–Aust. J. Anim. Sci. 13:1407–1413.

Dhanda, J. S., D. G. Taylor and P. J. Murray. 2003a. Part I. Growth, carcass and meat quality parameters of male goats: effects of genotype and live weight at slaughter. Small Rumin. Res. 50:57–66.

Dhanda, J. S., D. G. Taylor and P. J. Murray. 2003b. Part II. Carcass composition and fatty acid profiles of adipose tissue of male goats: effects of genotype and live weight at slaughter. Small Rumin. Res. 50:67–74.

Diaz, A., J. L. Toullec., A. Blandino., I. D. Ory and I. Caro. 2013. Pretreatment of rice hulls with alkaline peroxide to enhance enzyme hydrolysis for ethanol production. Chemical Engineering Transactions. 32: 949–954.

Dorado, J., G. Almendros, S. Camarero, A. T. Martinez, T. Vares and A. Hatakka. 1999. Transformation of wheat straw in the course of solid–state fermentation by four ligninolytic basidiomycetes. Enzyme. Microb. Technol. 25:605–612.

Doyle, P. T. 1982. The Utilization of Fibrous Agricultural Residues as Animal Feeds (Ed. P. T. Doyle). Univ. of Melbourne Printing Services, Parkville, Australia.

Doyle, P. T., C. Devendra and G. R. Pearce. 1986. Rice straw as feed for ruminant. International Development Program of Australian University and Collage, Canberra. 117p.

Evan, D. G., T. L. Goodwin and L. D. Andrews. 1976. Chemical composition, carcass yield, and tenderness of broilers as influenced by rearing methods and genetic strains. Poult. Sci. 55:748–755.

Fazaeli, H., H. Mahmodzadeh, Z. A. Y. Rouzbehan, J. B. Liang, and A. Azizi. 2004. Utilization of fungal treated wheat straw in the diet of late lactating cow. Asian–Aust. J. Anim. Sci. 17:467–472.

Fazaeli, H., Z. A. Jelan, H. Mahmodzadeh, J. B. Liang, A. Azizi, and A. Osman. 2002. Effect of fungal treated wheat straw on the diet of lactating cows. Asian–Aust. J. Anim. Sci. 11:1573–1578.

Fazaeli, H., and A. R. Talebian Masoodi. 2006. Spent wheat straw compost of *Agaricus bisporus* mushroom as ruminant feed. Asian–Aust. J. Anim. Sci. 6:845–851.

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

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.

Garnsworthy, P. C. 1988. Nutrition and Lactation in Dairy Cow. Anchor–Brenden Butterworths Press. Nottingham.

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

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. 80:1977–1985.

Gilbertson, R. L. 1980. Wood–rotting fungi of North America. Mycologia. 72:1–49.

Hadder, Y., Z. Kerem and B. Gorodecki. 1993. Biodegradation of ligno cellulosic agricultural waste by *Pleurotus sajor–caju.* J. of Biotechnol. 30:133–139.

Hamed, A. H. M. and M. E. Elimam. 2010. Performance and digestibility in Nubian goats fed stream treated sorghum stover. Pak. J. Nutr. 9:298–301.

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.

Hassim, H. A., M. Lourenc, Y. M. Goh, S. De Smet and V. Fievez. 2013. Dietary inclusion of oil palm fronds does not change n–6 nor n–3 content of lamb tissue. Small Rumin. Res. 112:69–72.

Heldt, J. S., R. C. Cochran, C. P. Mathis, B. C. Woods, K. C. Olson, E. C. Titgemeyer, T. G. Nagaraja, E. S. Vanzant and D. E. Johnson. 1999. Effects of level and source of carbohydrates and level of degradable intake protein on intake and digestion of low–quality tallgrass–prairie hay by beef steers. J. Anim. Sci. 77:2846–2854.

Hungate, R. E. 1966. The Rumen and Its Microbe. Academic Press, New York. NY. 533p.

Hungate, R. E. 1969. A roll tube method for cultivation of strict anaerobes. In: Methods in Microbiology. (Eds.) J. R. Norris and D. W. Ribbons. New York. Academic. 313:117.

Ibrahim, M. N. N. 1983. Physical, chemical, physico–chemical and biological treatments of crop residues, pp. 53–68. In G. R. Pearce (ed.). The Utilization of Fibrous Agricultural Residues. Australian government publishing service, Canberra.

Ishida, M. and O. Abu Hassan. 1997. Utilization of oil palm frond as cattle feed. Japan Agric. Res. Quart. 31:41–47.

Islam, M., I. Dahlan, M. A. Rajion and Z. A. Jelan. 2000. Productivity and nutritive values of different fractions of oil palm (*Elaeis guineensis*) frond. Asian–Aust. J. Anim. Sci. 13:1113–1120.

Jackson, M. B. 1977. Review article: The alkali treatment of straw. Anim. Feed Sci. Technol. 2:105–130.

Jalc, D., F. Nerud, R. Zitnan and P. Siroka. 1996. The effect of white–rot *Basidiomycetes* on chemical composition and *in vitro* digestibility of wheat straw. Folica Microbiol. 41:73–75.

Jain, N. C. 1993. Essentials of Veterinary Hematology. 1st ed. Philadelphia, USA: Lea & Febiger; pp. 295–306.

Jouany, J. P. and K. Ushida. 1999. The role of protozoa in feed digestion. Asian–Aust. J. Anim. Sci. 12:113–126.

Kaneko, J. J. 1982. Appendixes. In: Chinical Biochemistry of Domestic Animal, 3rd ed. In J. J. Kaneko (ed). New York, Academic Press.

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.

Karunanandaa, K., D. E. Akin, L. L. Rigsby and D. J. Royse. 1995. Botanical fractions of rice straw colonized by white rot fungi: Changes in chemical composition and structure. J. Anim. Feed Sci. Technol. 55: 179–199.

Kawamoto, H., W. Z. Mohamed, N. I. M. Sukur, M. S. M. Ali, Y. Islam and S. Oshio. 2001. Palatability, digestibility and voluntary intake of processed oil palm fronds in cattle. Japan Agric. Res. Quart. 35:195–200.

Kearl, L. C. 1982. Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries. Logan: International Feedstuffs Institute. Utah State University, Utah.

Khampa, S., M. Wanapat, C. Wachirapakorn, N. Nontaso, M. A. Wattiaux and P. Rowlinson. 2006. Effect of levels of sodium DL–malate supplementation on ruminal fermentation efficiency of concentrates containing high levels of cassava chip in dairy steers. Asian–Aust. J. Anim. Sci. 19: 368–375.

Khamseekhiew, B., J. B. Liang, Z. A. Jelan and C. C. Wong. 2002. Fibre degradability of oil palm frond pellet, supplemented with *Arachis pintoi* in cattle. Songklanakarin J. Sci. Technol. 24:209–216.

Koohmaraie M., G. Whipple, D. H. Kretchmar, J. D. Crouse and H. J. Mersmann. 1991. Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb and pork carcasses J. Anim. Sci. 69:617–624.

Kirk, T. K., Schultz, W. J. Connors, L. F. Lorenz and J. G. Zeikus. 1978. Influence of culture parameters on lignin metabolism by *Phanerochaete chrysosporium.* Arch. Microbiol. 117:277–285.

Kirk, T. K., and K. E. Hammol. 1992. What is thoprimary agont of lignin degradation in white rot fungi. In Kuwahara, M. and M. Shimada. Biotechnology in plup and paper industry, Tokyo, pp. 535–540.

Lawrie, R. A. 1991. Meat Science. 5th ed. Pergamon Press, New York, NY.

Lee, J. H., B. Kouakou and G. Kannan. 2008. Chemical composition and quality characteristics of chevon from goats fed three different post–weaning diets. Small Rumin. Res. 75:177–184.

Leng, R. A. 1990. Factors affecting the utilization of poor–quality forages by ruminants particularly under tropical conditions. Nutri. Res. Rev. pp. 3–5.

Lloyd, S. 1982. Blood characteristics and the nutrition of ruminants. Br. Vet. J. 138:70–85.

López, S., F. D. D. Hovell, J. Dijkstra and J. France. 2003. Effects of volatile fatty acid supply on their absorption and water kinetics in the rumen of sheep sustained by intragastric infusions. J. Anim. Sci. 81:2609–2616.

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.

Marwaha, C. L., S. Manoj, B. Singh, B. S. Katoch and M. Sharma. 1990. Comparative feeding value of untreated, ureaammoniated and fungal treated wheat straw in growing Jersey calves. Ind. J. Dairy Sci. 43:308–313.

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.

Mohd Suki, H. I. 2003. Fattening of beef cattle with oil palm by–products–oil palm frond based diets. Proceedings of the 8th Meeting of the Regional Working Group on Grazing and Feed Resources for Southeast Asia, (eds. Ridzwan, A.H., A.H. Nor Raizan and M. N. Samiyah). Kuala Lumpur, Malaysia, 22–28 September 2003, pp. 71–75.

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

Moyson, E. and H. Verachtert. 1991. Growth of higher fungi on wheat straw and their impact on the digestibility of substrate. J. Appl. Microb. Biotechnol. 36:421–424.

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. National Academy press, Washington, D.C., USA.

Okano, K., M. Kitagawa, Y. Sasaki and T. Watanabe. 2005. Conversion of Japanese red cedar (*Cryptomeria japonica*) into a feed for ruminants by white–rot basidiomycetes. Anim. Feed Sci. Technol. 120:235–243.

Okano, K., N. Ohkoshi, A. Nishiyama, T. Usagawa and M. Kitagawa. 2009. Improving the nutritive value of madake bamboo, phyllostachys bambusoides, for ruminants by culturing the white rot fungus Ceriporiopsis subvermispora. Anim. Feed Sci. Technol. 152:278–285.

Oshio, S., O. Abu Hassan, A. Takigawa, D. M. Jafar, A. Abe, I. Dahlan and N. Nakanishi. 1990. Processing and utilization of oil palm by–products for ruminants. In MARDI/TARC Collaborative Study Report, pp. 110.

Ørskov, E. R., G. W. Reid and M. Kay. 1988. Prediction of intake by cattle from degradation characteristic of roughages. Anim. Prod. 46 : 29–34.

Paengkoum, P., J. B. Liang, Z. A. Jelan and M. Basery. 2006. Utilization of steam–treated oil palm frond in growing goats : I Supplementation with dietary urea. Asian–Aust. J. Anim. Sci. 19:1305–1313.

Phan, C. W. and V. Sabaratnam. 2012. Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. Applied Microbiology and Biotechnology 96:863–873.

Playne, M. J. 1972. Australian Journal of Experimental Agriculture. Animal Husbandry. 12:378.

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.

Punj, M. L. 1967. The Utilization of Agricultural By–products and industrial Waste Materials for Evolving Economic Rations for Livestock. Research Highlight of All India Coordinated Research Project. College of Veterinary Science and Animal Hasbandry, J. N. Krishi Vidyalaya, Jabalpur (M. P.).

Ragunathan, R., R. Gurusamy, M. Palaniswamy and M. Swaminathan. 1996. Cultivation of *Pleurotus* spp. *o*n various agro–residues. Food Chem. 55:139–144.

Rahman, M. M., M. Lourenc, H. A. Hassim, J. J. P. Baars, A. S. M. Sonnenberg, J. W. Cone, J. De Boever and V. Fievez. 2011. Improving ruminal degradability of oil palm fronds using white rot fungi. Anim. Feed Sci. Technol. 169:157–166.

Raj, S. N., T. K. Walli and B. N. Gupta. 1989. The chemical composition and nutritive value of rice straw after treatment with urea or *Coprinus fimetarius* in solid state fermentation system. Anim. Feed Sci. Technol. 26:81–92.

Romeo, V. A. 1983. Growing edible fungi on fibrous agricultural residue–an appropriate technology for the village. pp. 261–265.

Russell, J. B. and D. B. Wilson. 1996. Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? J. Dairy Sci. 79:1503–1509.

Russell, J. B. and R. B. Hespell. 1981. Microbial rumen fermentation. J. Dairy Sci. 64: 1250–1268.

Russel, R. W. and S. A. Gahr. 2000. Glucose available and associated metabolism (chapter 6). In: Modeling Nutrient in Farm Animals. pp. 121–147. New York: CABI Publishing.

Saha, B. C., L. B. Iten, M. A. Cotta and Y. V. Wu. 2005. Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification, and fermentation of rice hulls to ethanol. Biotechnology Progress. 21:819–822.

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.

Sanudo, C., M. P. Santolaria, G. Maria, M. Osorio and I. Sierra. 1996. Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive production system. Meat Sci. 42:195–202.

Sarwar, M., J. L. Firkins and M. L. Eastridge. 1992. Effect of varying forage or concentrate carbohydrate on nutrient digestibilities and milk production by dairy cows. J. Dairy Sci. 75:1533–1542.

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.

Schnieder, B. H. and W. P. Flatt. 1975. The Evaluation of Feed through Digestibility Experiment Athens: The Univ. of Georgia Press. Georgia, USA.

Schrader, P. 1994. The performance of Siamese Long tail Lambs fed oil palm frond based ration. A Preliminary report of Malaysian Agricultural Research and Development Institute (MARDI), Bukit Ridan, Pahang, Malaysia.

Schönfeldt, H. C., R. T. Naude, W. Bok, S. M. Van Heerden, L. Swoden and E. Boshoff. 1993. Cooking and juiciness related quality characteristics of goat and sheep meat. Meat Sci. 34:381–394.

Sheradin, R., L. C. Hoffman and A. V. Ferreira. 2003. Meat quality of Boer kids and Mutton Merino Lambs 1 commercial yields and chemical composition. Anim. Sci. 76:63–71.

Singh, K., S. N. Rai. Rakatan and Y. W. Han. 1990. Biochemical profiles of solid state fermented wheat straw with *Coprinus fimetarius.* Ind. J. Dairy Sci. 60:984–990.

Singh, K., S. Neclakantan and P.K. Gupta. 1979. A note on laboratory ensilage of paddy straw (*oryza sativa.* L.*)* and Couch grass (*Cynodon dactylon*) along with *Lactobacillus planarum* inoculum and whey. Ind. J. Anim. Sci. 49: 746–774.

Solaiman, S., C. Kerth, K. Willian, B. R. Min, C. Shoemaker, W. Jones and D. Bransby. 2011. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of boer–cross wether and buck goats grazing marshall ryegrass. Asian–Aust. J. Anim. Sci. 24:351–357.

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.

Sutton, J. D., R. Knight, A. B. McAllan and R. H. Smith. 1983. Digestion and synthesis in the rumen of sheep given diets supplemented with free and protected oils. Br. J. Nutr. 49: 419–432.

Sutton, J. D., S. V. Morant, J. A. Bines, D. J. Napper and D. I. Givens. 1993. Effect of altering the starch: fibre ratio in the concentrates on hay intake and milk production by Friesian cows. J. Agric. Sci. (Camb). 120:379–390.

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

Streeter, C. L., K. E. Conway, G. W. Horn and T. L. Mader. 1982. Nutritional evaluation of wheat straw incubated with the edible mushroom. Pleurotus ostreatus J. Anim. Sci. 54:183–188.

Swatland, H. J. 1994. Structure and Development of Meat Animals and Poultry. Technomic Publishing, Lancaster, UK.

Tan, H. T. 1982. Sago palm–a review. Abstr. Trop. Agric. 8:9–23.

Tshabalala, P. A., P. E. Strydom, E. C. Webb and H. L. De Kock. 2003. Meat quality of designated South African indigenous goat and sheep breeds. Meat Sci. 65:563–570.

Van Soest, P. J., J. B. Robertson 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.

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

Viola, E., F. Zimbardi, M. Cardinale, G. Cardinale, G. Braccio and E. Gambacorta. 2008. Processing cereal straws by steam explosion in a pilot plant to enhance digestibility in ruminants. Bioresour. Technol. 99:681–689.

Walli, T. K., S. N. Rai, Gupta and S. Kishan. 1991. Influence of fungal treated and urea treated wheat straw on nutrient utilization in calves. Ind. J. Anim. Nutr. 8:227–230.

Wanapat, M. 2000. Rumen manipulation to increase the efficient use of local feed resources and productivity of ruminants in the tropics. Asian–Aus. J. Anim. Sci. 13 (Suppl.):59.

Wanrosli, W. P., Z. Zainuddin and L. K. Lee. 2004. Influence of pulping variables on the properties of Elaeis guineensis soda pulp as evaluated by response surface methodology. Wood Sci. and Technol. 38:191–2005.

Wan Rosli, W. D., K.N. Law, Z. Zainuddin and R. Asro. 2004. Effect of pulping variables on the characteristics of oil–palm frond–fibre. Bioresour. Technol. 93:233–240.

Wan Zahari, M. and A. R. Alimon. 2004. Use of palm kernel cake and oil palm by–products in compound feed. *In* Oil Palm Developments. pp. 5–9. Selangor: Universiti Putra Malaysia.

Wan Zahari, M., S. Oshio, D. Mohd Jaffar, M. A. Najib, I. Mohd Yunus and M. S. Nor Ismail. 2000. Voluntary intake and digestibility of treated oil plam fronds. In: Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders. (ed. L. 't Mannetje). pp. 114–118.

Warriss, P. D. 2000. Meat science: An introductory text. CAB International, Cambridge University Press, Cambridge, 223p.

Webb, E. C., N. H. Casey and L. Simele. 2005. Goat meat quality. Small Rumin. Res. 60:153–166.

Xiong, Y. L., A. H. Cantor, A. J. Pescator, S. P. Blanchard and M. L. Straw. 1993. Variations in muscle chemical composition, pH, and protein extractability among eight different broiler crosses. Poult. Sci. 72:583–588.

Zadrazil, F. 1984. Microbial conversion of lignocelllose into feed. In: F. Sunstol and F. N. Owen (eds.). Straw and Other Fibrous by–Products as Feed. pp. 276–286. Elsevier, Netherlands.

Zadrazil, F. 1997. Changes in *In vitro* digestibility of wheat straw during fungal growth and after harvest of oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) on laboratory and industrial scale. J. Appl. Anim. Res. 11: 37–48.

Zadrazil, F., K. Puniya and K. Singh. 1995. Pilot scale reactor for biological treatment of lignocellulosics for animal feed production. Ind. J. Dairy Sci. 48: 110–117.

Zadrazil, F., D. N. Kamra, O. S. Isikhuemhen, F. Schuchardt and G. Flachowsky. 1996. Bioconversion of lignocellulose into ruminant feed with white rot fungi — review of work done at the FAL. Braunschweig J. Appl. Anim. Res. 10:105–24.

Zahari, M. W. and A. R. Alimon. 2003. Use of palm kernel cake and oil palm by-products in compound feed. Palm oil developments, Vol. 40. Malaysian Palm Oil Board. pp.5–9.

Zahari, M. W., O. Abu Hassan, H. K. Wong and J. B. Liang. 2003. Utilization of oil palm frond: base diets for beef and dairy production in Malaysia. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 16:625-636.

Zahari, M. W. and A. R. Alimon. 2005. Use of palm kernel cake and oil palm by-products in compound feed. Palm Oil Developments, Vol. 40. Malaysian Palm Oil Board, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 5–8.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เอกสารงานวิจัยภายใต้โครงการที่ได้รับการตีพิมพ์ และที่ได้รับการนำเสนอในการประชุมสัมมนาระดับประเทศและ/ หรือนานาชาติ

1. การนำเสนอในการประชุมสัมมนาระดับนานาชาติ

Chanjula, P., V. Petcharat, P. Hamchara and A. Cherdthong. 2016. Effect of fungal treated oil palm frond in the diet of goats. In: Proceedings of Animal Science congress (17th AAAP 2016), August 22–25, 2016, Kyushu Sangyo University, Fuguoka, Japan, pp. 885–888. **(ดังเอกสารแนบ).**

2. ผลงานวิจัยที่อยู่ระหว่างการนำเสนอเพื่อตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

Chanjula, P., V. Petcharat, A. Cherdthong and S. Kang. 2016. Utilization of fungal (*Lentinus sajor–caju*) treated oil palm frond in the diet on nutrient digestibility, ruminal fermentation and nitrogen utilization of goats. Livest. Sci. (Impress).

ภาคผนวก ข
ประวัติผู้จัดทำรายงานวิจัย

ชื่อ – สกุล นาย ปิ่น จันจุฬา

วัน เดือน ปีเกิด 28 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2507

ตำแหน่งปัจจุบัน – รองศาสตราจารย์ ภาควิชาสัตวศาสตร์
– คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ว. หาดใหญ่

สาขาชำนาญการ – โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง

อายุราชการ – 24 ปี

เครื่องราชอิสริยาภรณ์ – ต.ม., ต.ช., ท.ม., ท.ช., ป.ม., ป.ช.

ผลงานทางวิชาการ
– งานแต่งหนังสือ 1 เล่ม
– บทความวิจัยตีพิมพ์ (ภาษาไทย) 27 เรื่อง
– บทความวิจัยตีพิมพ์ (ภาษาอังกฤษ) 20 เรื่อง
– บทความวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการ (ภาษาไทย) 20 เรื่อง
– บทความวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการ (ภาษาอังกฤษ) 19 เรื่อง
– บทความทางวิชาการ 13 เรื่อง

รางวัลที่ได้รับ
– 11th AJAS/CAPI Outstanding Research Award, 2012 from the Asian–Australasian Association of Animal Production Societies
– รางวัลดีเด่น การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย เครือข่ายการวิจัยภาคใต้ตอนล่าง ครั้งที่ 22 ประจำปี 2555

หน่วยงาน/ ที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
– ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่ 90112
– โทร: (074) 558805; (074) 286074
– โทรสาร (074) 558805
E–mail: pin.c@psu.ac.th