รายงานวิจัยสมบูรณ์

รหัสโครงการ NAT610007S

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันโดยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นอาหารแพะ

Research and Development Nutritive Quality Improvement Value of Oil Palm Frond by Urea and Calcium Hydroxide Treatments as Goat Feeds

Fermented oil palm frond, FOFP Urea treated oil palm frond, UOPF $Ca(OH)_2$–treated oil palm frond, COPF UOPF+COPF, UCOPF

โดย

รศ.ดร. ปิ่น จันจุฬา

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ประเภททั่วไป

ประจำปีงบประมาณ 2561

รายงานวิจัยสมบูรณ์

รหัสโครงการ NAT610007S

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันโดยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นอาหารแพะ

Research and Development Nutritive Quality Improvement Value of Oil Palm Frond by Urea and Calcium Hydroxide Treatments as Goat Feeds

โดย

รศ.ดร. ปิ่น จันจุฬา

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ประเภททั่วไป

ประจำปีงบประมาณ 2561

*** การสนับสนุนทุนนักศึกษา:**

1. **นาย สุรเดช เพชรอาวุธ** **รหัส** 5810620048

*** นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาสัตวศาสตร์**

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่โครงการวิจัยเรื่อง **"**การวิจัยและพัฒนาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันโดยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นอาหารแพะ**"** ซึ่งดำเนินการวิจัยโดยได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (**รหัสสัญญาโครงการ เลขที่ NAT610007S**) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 โดยเริ่มโครงการวิจัยเมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2562 ตลอดจน ภาควิชาสัตว-ศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110 ที่ได้ให้ความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในด้านสถานที่ อุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ สถานีวิจัยและฝึก-ภาคสนามคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110 ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางใบปาล์มน้ำมันสด และรวมทั้งคณาจารย์ นักศึกษาบัณฑิตศึกษา และบุคลากรทุกท่านที่มีส่วนที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดียิ่ง

คณะผู้วิจัย

มกราคม พ.ศ. 2562

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ประเภททั่วไป

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของอาหารผสมเสร็จที่มีทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (UCOPF) โดยมี 4 ทรีทเมนต์ ดังนี้ 1) ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก 2) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ 3) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ และ 4) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และสมดุลไนโตรเจนในแพะ โดยศึกษาในแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้ อายุประมาณ 24-26 เดือน มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 31.63± 1.0 กิโลกรัม จำนวน 4 ตัว ใช้แผนการทดลองแบบ 4x4 จัตุรัสลาติน ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณการกินได้ (วัตถุแห้ง) ของแพะที่ได้รับอาหารผสมเสร็จที่มีทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทั้ง 4 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และอินทรียวัตถุของอาหารผสมเสร็จที่มีทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ ทางใบปาล์มน้ำมันหมักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ และทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียแคลเซียม ไฮดรอกไซด์ 2.5 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าระดับทางใบปาล์มน้ำมันหมัก (P<0.01) ขณะที่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในของเหลวกระเพาะรูเมนของอาหารทั้ง 4 สูตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมด พบว่า แพะที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ ทางใบปาล์มน้ำมันหมักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ และทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสูงกว่าทางใบปาล์มน้ำมันหมัก (P<0.01) ขณะที่ค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด ความเข้มข้นของกลูโคสในกระแสเลือด และปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นมีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05)

ดังนั้น สามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียแคลเซียมไดรอกไซด์ (UCOPF) ในสูตรอาหารผสมเสร็จสำหรับเลี้ยงแพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของโภชนะ นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน และสมดุลไนโตรเจนของแพะ

คำสำคัญ: ทางใบปาล์มน้ำมัน ยูเรีย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ คุณค่าทางโภชนะ อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Abstract

This study aimed to examine the effects of total mixed ration (TMR) containing urea–calcium hydroxide treated with oil palm frond (UCOPF) by 4 treatments as 1) ensiled oil palm frond, 2) oil palm frond treated with 5% urea, 3) oil palm frond treated with 5% calcium hydroxide, and 4) oil palm frond treated with 2.5% urea–calcium hydroxide on intake, digestibility, rumen ecology, and nitrogen utilization in goats. Four crossbred Thai native and 50% Anglo–Nubian male goats at ages 24–26 months with average initial weights 31.63±1.0 kg were randomly assigned according to a 4x4 Latin Square Design. The results indicated that dry matte (DM) intake of goats fed TMR containing urea–calcium hydroxide treated oil palm frond (UCOPF) had no statistical difference among dietary treatments (P>0.05). However, digestion coefficients of DM, CP, and OM of TMR containing oil palm frond treated with 5% urea, oil palm frond treated with 5% calcium hydroxide, and oil palm frond treated with 2.5% urea–calcium hydroxide were statistical significance (P<0.01) higher than that of ensiled oil palm frond. In the meantime, the values of pH, ammonia–nitrogen concentration, and microorganism population in the liquid of rumen fluid of those 4 treatments had no statistically significant difference (P>0.05). Considering for total volatile fatty acid concentration the study found that goats fed TMR containing oil palm frond treated with 5% urea, oil palm frond treated with 5% calcium hydroxide, and oil palm frond treated with 2.5% urea–calcium hydroxide had significantly higher than that of ensiled oil palm frond (P<0.01). Also, the values of blood urea–nitrogen concentration, blood glucose concentration, and pack cell volume had similar values (P>0.05).

Then urea–calcium hydroxide treated with oil palm frond (UCOPF) can be used in TMR for raising Thai native and 50% Anglo–Nubian goats without an effect on the utilization of nutrition, ecology in rumen stomach, and nitrogen balance of goats

Keywords: Oil palm fronds, urea and calcium hydroxide, nutritive value, ruminant feeds

สารบาญ

	เรื่อง	หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	(ก)
	บทคัดย่อภาษาไทย	(ข)
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ค)
	สารบาญ	(1)
	สารบาญตาราง	(2)
	สารบาญภาพ	(3)
บทที่ 1	1.1 บทนำ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	3
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
	1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ	4
บทที่ 2	การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
	2.1 ปาล์มน้ำมันและผลพลอยได้	5
	2.2 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของอาหารหยาบ	13
	2.3 พืชหมัก และกระบวนการหมักพืชอาหารสัตว์	16
	2.4 ยูเรีย สมบัติของยูเรีย และการนำไปใช้ประโยชน์	20
	2.5 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ สมบัติของแคลเซียมไฮดรอกไซด์	21
	2.6 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	21
	2.7 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการปรับปรุง และการเพิ่มคุณภาพของอาหารหยาบโดยการใช้ยูเรีย หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการปรับปรุงอาหารหยาบในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	25
บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	27
บทที่ 4	ผลการทดลอง และวิจารณ์	33
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	47
บทที่ 6	เอกสารอ้างอิง	48
	ภาคผนวก	60
	ภาคผนวก ก	60
	ภาคผนวก ข	61

สารบาญตาราง

Table		Page
2.1	Distribution of oil palm area in Thailand in 2012–2014	7
2.2	Chemical composition of oil palm frond (OPF) (% DM basis)	8
2.3	Evaluated method and physical quality of silage	19
3.1	Ingredients and chemical composition of goat diets containing amounts of FOPF[1] (% DM basis)	28
4.1	Chemical composition of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond	33
4.2	Characterization and physicochemical parameter of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond (UOPF) dietary	34
4.3	Chemical composition of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond	35
4.4	Effect of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond on feed intake in goat	37
4.5	Effect of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond on nutrient digestibility and digestible nutrient intake of goats	38
4.6	Effect of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond on ruminal pH, NH_3–N and blood metabolites in goats	39
4.7	Effect of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond on volatile fatty acid profiles in goats	41
4.8	Effect of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond on rumen microbes in goats	43
4.9	Effect of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond on N balance of goats	45

สารบาญภาพ

Figure		Page
2.1	Anatomy of an oil palm tree and oil palm frond (OPF)	6
2.2	Composition of oil palm frond	6
2.3	Fresh whole OPF was chopped by machine (1–2 cm) and fed to beef cattle	10
2.4	Outline of the pathways of protein in the rumen	23
2.5	Outline of the pathways of carbohydrate in the rumen	24
2.6	Utilization of protein and carbohydrates by rumen bacteria in the rumen	25

บทที่ 1

การวิจัยและพัฒนาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันโดยยูเรียและแคลเซียม-ไฮดรอกไซด์เป็นอาหารแพะ

Research and Development Nutritive Quality Improvement Value of Oil Palm Frond by Urea and Calcium Hydroxide Treatments as Goat Feeds

1.1 บทนำ

แพะเป็นสัตว์เลี้ยงขนาดเล็กที่มีความสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมต่างๆ และมีความสามารถกินอาหารได้หลากหลายชนิด และที่น่าสนใจคือ แพะสามารถใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือหรืออาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำได้ดี (วินัย, 2542) ซึ่งในการผลิตแพะ การจัดการด้านอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการให้ผลผลิตของแพะ ซึ่งอาหารที่มีบทบาท และสำคัญอย่างยิ่งต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องคือ แหล่งอาหารหยาบ และอาหารข้นเสริม ที่สัตว์จำเป็นจะต้องได้รับอย่างเพียงพอทั้งปริมาณ และคุณภาพเพื่อจะนำไปใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ที่กระเพาะรูเมน (rumen) หรือกระเพาะหมัก ในการหมักอาหารให้ได้ผลผลิตสุดท้ายคือกรดไขมันที่ระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA) แต่แหล่งอาหารหยาบคุณภาพดีโดยเฉพาะอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งนั้นมีปริมาณลดลงทั้งทางด้านปริมาณ และคุณภาพ จึงมีการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาทดแทนเป็นแหล่งอาหาร ซึ่งทางใบปาล์มน้ำมัน (oil palm frond, OPF) ก็นิยมนำมาทดแทนเป็นแหล่งอาหารหยาบได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคใต้นั้นเป็นแหล่งผลิตปาล์มน้ำมันมากกว่าครึ่งหนึ่งของประเทศไทย ทำให้ปริมาณการผลิตทางใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นผลพลอยได้เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

ทางใบปาล์มน้ำมัน (OPF) เป็นผลพลอยได้จากการปลูกปาล์มน้ำมัน ที่สามารถใช้ทดแทนอาหารหยาบในช่วงที่มีการขาดแคลนอาหารหยาบได้ดี และสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ประโยชน์ได้ อย่างไรก็ตาม ทางใบปาล์มน้ำมันมีส่วนของผนังเซลล์ (cell wall) ลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) สูง (70.0 และ 45.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) (Ishida and Abu Hassan, 1997) และมีปริมาณลิกนิน (lignin) ประมาณ 20.5–26.6 เปอร์เซ็นต์ (Ishida and Abu Hassan, 1997) ขณะที่ มีโปรตีนรวม (crude protein) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) ต่ำ (4.2–6.25 เปอร์เซ็นต์ และ 4.9 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม) (Ishida and Abu Hassan, 1997) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดการใช้ประโยชน์ของทางใบปาล์มน้ำมันเป็นอาหารสัตว์ เพราะองค์ประกอบเหล่านี้ทำให้ความสามารถในการย่อยได้ทางใบปาล์มน้ำมันของในโคต่ำ (35.6–40.0 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) (Ishida and Abu Hassan, 1997; Kawamoto, 2001) ดังนั้น จึงควรที่จะมีการหาแนวทางใหม่ในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มปริมาณการกินได้ ประสิทธิภาพภาพการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ของสัตว์ให้สูงขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตสัตว์ (Ørskov, 1999) มากกว่านั้น คุณค่าทางโภชนะของ OPF ยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สภาพอากาศ ระยะเวลาในการเก็บ สภาพของสวน และการจัดการสวนปาล์ม เป็นต้น มีหลากหลายวิธีในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะโดยการลด หรือสลายพันธะ lingocellulosis ทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ที่ทำให้พันธะ lingocellulosis สลายตัว และทำให้สามารถเพิ่มคุณค่า และการย่อยได้ของ

โภชนะในสัตว์เพิ่มขึ้น ซึ่งได้มีการนำมาใช้ปรับปรุงผลพลอยได้ทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย เช่น ฟางข้าว (Wanapat et al., 1996) และฟางข้าวสาลี (Hamed and Eliman, 2010) พบว่าวิธีการปรับปรุงคุณภาพแหล่งอาหารหยาบด้วยด้วยยูเรียถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ จากการศึกษาพบว่า การปรับปรุงคุณภาพแหล่งอาหารหยาบด้วยด้วยยูเรียช่วยการเพิ่มปริมาณการกินได้ การย่อยได้ และเพิ่มคุณค่าทางโภชนะโดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนหยาบ (Sundstol et al., 1979; Wanapat et al., 1985; Zaman and Owen, 1990) นอกจากนี้ยังสามารถนำแหล่งอาหารหยาบหลากหลายประเภทมาหมักร่วมกับยูเรียได้ เช่น ฟางข้าว ยอดอ้อย ต้นข้าวฟ่าง และต้นข้าวโพด ตลอดจนหญ้าชนิดต่างๆ เป็นต้น Wanapat et al. (1985) ได้รายงานว่า การใช้ฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรียจะช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้รวม และการย่อยได้ ดังนั้น ผลการศึกษาที่ได้จึงช่วยเพิ่มสมรรถนะของสัตว์เคี้ยวเอื้องเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวที่ไม่ได้มีการปรับปรุงคุณภาพ สอดคล้องกับการทดลองของ Hart and Wanapat (1992) ที่ศึกษาการใช้ยูเรียปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองที่ใช้ยูเรีย-แอมโมเนีย (5%, w/w) พบว่า โคเนื้อมีปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น 46% และการย่อยได้ของอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น 17% และจากการศึกษาของ Cao et al. (2014) ที่ได้นำ pruned persimmon branch (PPB) chips มาหมักร่วมกับยูเรีย (urea-treated PPB) เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบโคเนื้อ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ยูเรียหมัก PPB ทำให้คุณค่าโภชนะมีค่าสูงขึ้นตลอดทั้งสามารถปรับปรุงการย่อยได้ของโภชนะในโคเนื้อได้ นอกจากนี้ ยังพบอีกว่าการใช้ยูเรียยังสามารถป้องกันการเกิดเชื้อรากับ PPB หมักได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการหมักยูเรียอย่างเดียวมีต้นทุนค่อนข้างสูง (Wanapat, 1994) ซึ่ง Wanapat et al. (2009); Fadel Elseed et al. (2003) ได้แนะนำว่า การลดปริมาณยูเรียลง โดยการหมักร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide; $Ca(OH)_2$ หรือลาม (lime) สามารถเพิ่มการย่อยได้ของฟางข้าวในกระเพาะรูเมนได้เช่นเดียวกับการหมักด้วยยูเรีย เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายด่างสามารถทำลายพันธะเคมีของเอสเทอร์ที่เชื่อมระหว่างลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส และทำให้โครงสร้างทางกายภาพของผนังเซลล์พองตัว ลักษณะเหล่านี้จะมีผลให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถย่อยสลายโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตได้ง่ายยิ่งขึ้น เป็นการเพิ่มความสามารถในการย่อย และยังเป็นการเพิ่มความน่ากินของฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย นอกจากนี้ $Ca(OH)_2$ ยังมีราคาถูก และใช้ประโยชน์ได้ง่าย ตลอดทั้งแคลเซียม (Ca) ที่ได้จากกระบวนการหมักฟาง สามารถเป็นแหล่งของแคลเซียมให้กับสัตว์ ทำให้ลดปัญหาการขาดแคลเซียมในสัตว์ได้ จากการศึกษาวิจัยของ Wanapat et al. (2009) ได้ทดลองเปรียบเทียบการใช้ฟางข้าว ฟางข้าวหมักยูเรีย (5%) ฟางหมักยู-ลาม (ฟางข้าวหมักยูเรีย 2% และแคลซียมไฮดรอกไซด์ 2%) ในโคนมระยะให้น้ำนมพบว่า กลุ่มที่ได้รับฟางข้าวหมักยูเรีย 5% และฟางข้าวหมักยู-ลามสามารถเพิ่มการกินได้ การย่อยได้ ผลผลิตของกรดไขมันที่ระเหยได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพิ่มสัดส่วนของกรดโพรพิออนิก (propionic acid, C_3) สูงขึ้น และลดสัดส่วนของกรดอะซิติก (acetic acid, C_2) ลง ส่งผลให้สัดส่วน C_2:C_3 ลดลง จาก 3.7 เป็น 2.8 และยังสามารถเพิ่มสัดส่วนของโปรตีน และไขมันในน้ำนมได้เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้ฟางข้าว (กลุ่มควบคุม) เป็นแหล่งอาหารหยาบ นอกจากนี้ อนุสรณ์ และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาระดับที่เหมาะสมในการใช้ยูเรีย และลามเพื่อหมักชานข้าวฟ่างหวาน โดยใช้วิธีการศึกษาด้วยเทคนิคการผลิตแก๊สในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลอง

พบว่าการหมักโดยใช้ยูเรีย 2.0% + ลาม 1.0% $Ca(OH)_2$ หรือ ยูเรีย 1.5% + ลาม 1.5% ต่อการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของชานข้าวฟ่างหวานไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบในด้านต้นทุนการหมักแล้ว การใช้ยูเรีย 1.5% + ลาม 1.5% มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ขณะที่ Dias et al. (2011) ได้แนะนำการใช้ $Ca(OH)_2$ ในการปรับปรุงอาหารหยาบ คือ ยอดอ้อย โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 12 กรัมต่อกิโลกรัมยอดอ้อยสดในการหมัก พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณการกินได้ และความสามารถในการย่อยได้ในโค อย่างไรก็ตาม การเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วยยูเรีย และแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ในประเทศไทยยังมีจำกัด และมีผู้ศึกษาน้อยมาก และยังไม่มีการนำไปใช้ในการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง ดังนั้นการทดลองนี้ จึงได้ทำการศึกษาผลของทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วยยูเรีย และแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ต่อคุณภาพของอาหารหมัก ปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในรูเมน และการใช้ประโยชน์ไนโตรเจนในแพะ

1.2 วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วยยูเรีย และแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ต่อคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก

2. เพื่อศึกษาผลของทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วยยูเรีย และแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ต่อการกินได้ การย่อยได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในแพะ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาผลของทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วยยูเรีย และแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ต่อคุณภาพของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก การกินได้ การย่อยได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในแพะ

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของแผนงานวิจัย

จากการตรวจเอกสาร ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และมีผลพลอยได้จากการจัดการสวนปาล์มที่สำคัญคือ ทางใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันมีค่อนข้างต่ำเนื่องจากทางใบปาล์มน้ำมันมีลิกนิน (lignin) ที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของลิกนินและเซลลูโลส (lignocellulose) เป็นส่วนประกอบจึงทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนไม่สามารถย่อยเยื่อใยในทางใบปาล์มน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันมีค่าต่ำ สัตว์ที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันเป็นอาหารหยาบหลักให้ผลผลิตที่ลดลง ดังนั้น จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของทางใบปาล์มน้ำมันโดยใช้วิธีการต่างๆ เพื่อให้สัตว์ที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันเป็นอาหารหยาบหลักมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้น โดยมีสมมติฐานคือ

1. การใช้ยูเรีย และแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์มาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้ทางใบปาล์มน้ำมันมีโภชนะ และการย่อยได้ที่สูงขึ้น ทำให้สัตว์ที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันเป็นอาหารหยาบมีผลผลิตที่สูงขึ้นตามไปด้วย โดยไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ และสมรรถภาพการผลิตของสัตว์

2. การใช้ยูเรีย และแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์มาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมัน เพื่อเป็นแหล่งอาหารหยาบ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถปฏิบัติได้ โดยใช้อาหารสัตว์ในท้องถิ่น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่ใช้ประโยชน์จากผลการวิจัย

1.5.1 ได้ข้อมูลคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยยูเรียและแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์เป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก

1.5.2 ได้ข้อมูลแพะที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยยูเรียและแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์เป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก และใช้ร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆ ในรูปแบบอาหารผสมครบส่วน (total mixed ration, TMR) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของเนื้อ และนมสามารถปฏิบัติได้โดยใช้อาหารสัตว์ในท้องถิ่น

ข้อมูลที่ได้ทั้งหมด สามารถนำไปเผยแพร่แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์รายย่อยในเขตภาคใต้ และภาคอื่นๆ และหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมปศุสัตว์ กรมอาชีวศึกษา และมหาวิทยาลัยต่างๆ รวมทั้งหน่วยงานอื่นๆ ที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตสัตว์ สามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ได้

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ศึกษาเกี่ยวกับ “**การวิจัยและพัฒนาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันโดยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นอาหารแพะ**” ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.1 ปาล์มน้ำมันและผลพลอยได้

2.2 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของอาหารหยาบ

2.3 พืชหมัก และกระบวนการหมักพืชอาหารสัตว์

2.4 ยูเรีย สมบัติของยูเรีย และการนำไปใช้ประโยชน์

2.5 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ สมบัติของแคลเซียมไฮดรอกไซด์

2.6 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.7 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการปรับปรุง และการเพิ่มคุณภาพของอาหารหยาบโดยการใช้ยูเรีย หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการปรับปรุงอาหารหยาบในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.1 ปาล์มน้ำมันและผลพลอยได้

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพร้อนชื้นมีฝนตกชุกในทวีปแอฟริกา อเมริกาใต้ และแถบเอเชีย (Abu Hassan et al., 1995) เป็นพืชตระกูลปาล์ม (Palmae หรือ Arecaceae) เช่นเดียวกับมะพร้าว จาก อินทผาลัม และตาลโตนด เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ออกดอกเป็นช่อ เป็นจั่นแยกสาขาเป็นทลาย ช่อดอกมีดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียอยู่แยกกันคนละดอก แต่อยู่ในต้นเดียวกัน (monoecious) เป็นพืชผสมข้ามตัวเอง (cross-pollinated) ในแต่ละต้นจะเกิดช่อดอกได้ประมาณ 10–15 ช่อดอกมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 24–30 เดือนหลังจากปลูก แต่ละต้นให้ทลายปาล์มสด 15 ทลาย แต่ละทลายมีน้ำหนักประมาณ 15–20 กิโลกรัมต่อทลาย ขึ้นกับวิธีการปลูก และอายุของปาล์ม ส่วนผล มีผลเป็นทะลาย ประกอบด้วยก้านทะลาย ช่อทะลาย และผล (fruitlets) มีประมาณ 1,000–1,300 ผลต่อทลาย

ปาล์มน้ำมันมีลำต้นตั้งเดี่ยวตรง ทรงกระบอกมีเนื้อเยื่อเจริญเฉพาะตรงปลายยอด ลำต้นอาจสูงถึง 20–30 เมตร เมื่ออายุมากกว่า 10 ปี ขึ้นไป จะมีทางใบ (frond หรือ oil palm 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 และ 2.2) ขณะที่ โคนทางปาล์มกว้างประมาณ 12–20 เซนติเมตร

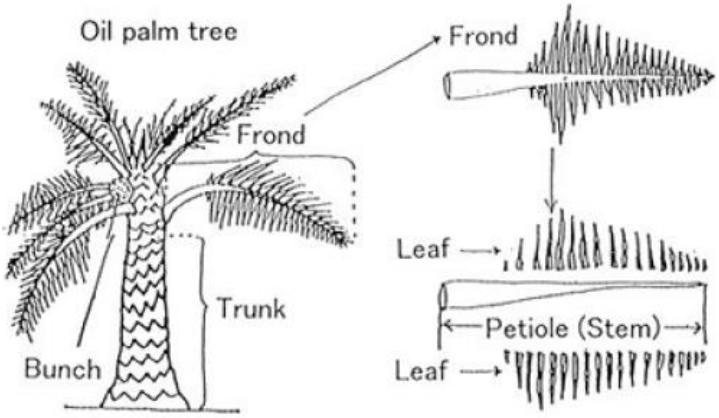

Figure 2.1 Anatomy of an oil palm tree and oil palm frond (OPF)

ที่มา: Ishida and Abu Hassan (1997)

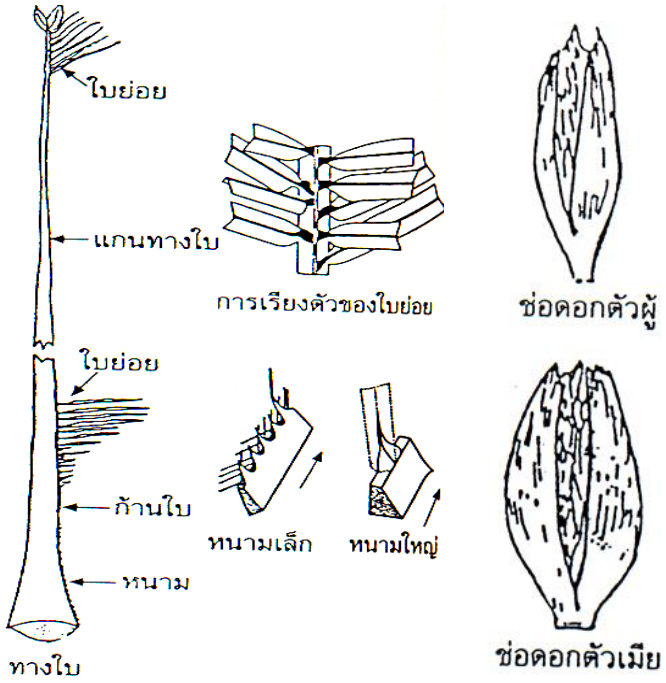

Figure 2.2 Composition of oil palm frond

ที่มา: ธีระ และคณะ (2545)

2.1.1 ปริมาณผลผลิตของทางใบปาล์มน้ำมัน

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 และน้ำหนักใบปาล์มน้ำมันมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุมาก

ขึ้น และทางใบปาล์มที่มีอายุระหว่าง 3 และ18 ปี มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 3.3 และ 13.0 กิโลกรัม/ทางใบปาล์ม 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 (ปิ่น, 2558) (Table 2.1) จากตัวเลขดังกล่าว คาดว่าจะมีผลผลิตทางใบปาล์มน้ำมันสดประมาณ 20.87 ล้านตัน/ปี (น้ำหนักสดประมาณ 9.53 กิโลกรัมต่อทางใบ) (Islam et al., 2000) ประกอบกับในปัจจุบันพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันกำลังขยายมากขึ้น พบว่า ในปี พ.ศ. 2559 มีพื้นที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันประมาณ 4.25 ล้านไร่ และผลผลิต 11.68 ล้านตันเพิ่มขึ้นจากพื้นที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน 4.28 ล้านไร่ ผลผลิต 11.01 ล้านตัน ในปี พ. ศ. 2558 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ทำให้ผลพลอยได้เหล่านี้มีมากขึ้นด้วย ขณะที่ ในประเทศมาเลเซียมีผลพลอยได้ของทางใบปาล์มน้ำมันประมาณ 26 ล้านตันต่อปี (Wanrosli et al., 2004) ดังนั้น การนำทางใบปาล์มน้ำมันมาพัฒนาเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบ เพราะนอกจากจะเป็นการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ที่เหลือใช้จากการปลูกปาล์มน้ำมันแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของทางใบปาล์มน้ำมันอีกด้วย ทางใบปาล์มน้ำมันจำนวนนี้สามารถนำไปใช้เป็นอาหารหยาบทดแทนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ในภาวะที่มีการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ หรือในช่วงที่อาหารหยาบประเภทอื่นมีราคาแพงได้

Table 2.1 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 (ปิ่น, 2558).

[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)

2.1.2 คุณค่าทางโภชนะและการใช้ประโยชน์จากทางใบปาล์มน้ำมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.1.2.1 คุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมัน (oil plam frond, OPF)

จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนะ OPF มีโปรตีนประมาณ 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) รายงานว่า องค์ประกอบทางโภชนะของทางปาล์มน้ำมันสด (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 ความอุดมสมบรูณ์ของดิน และสภาพอากาศ เป็นต้น สรุป OPF ประกอบด้วยวัตถุแห้ง 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 2.2)

Table 2.2 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]	Rice straw[7]
DM	39.6	38.2	31.1	–	36.4	–	31.6	90.8
OM	–	–	–	94.70	–	95.7	–	–
CP	5.1	5.3	4.2	6.3	5.8	4.7	6.2	3.1
EE	3.3	2.7	2.0	–	1.2	2.1	1.9	0.89
Ash	10.0	8.2	4.7	5.3	6.6	3.2	6.8	9.9
NDF	60.2	68.7	69.5	67.6	–	78.7	63.7	78.2
ADF	54.1	54.6	–	45.5	–	55.6	40.1	53.8
ADL	47.4	22.5	–	26.6	–	–	–	–
Tannin	–	–	–	8.5	–	–	–	–
TDN	–	–	–	–	35.1	–	56.9	44.0
IVDMD[6]	–	–	35.6	–	–	–	–	–
ME (Mcal/kg)DM	–	–	–	–	4.9	5.6	5.9	2.3

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]Mohd Suki (2003), and [7]Fazaeli and Talebian Masoodi (2006).

[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.

ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะโปรตีน ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน จะผันแปรไปตามส่วนประกอบของทางใบคือ OPF ทั้งทางใบจะมีปริมาณเยื่อใยมากกว่า OPF ที่ตัดส่วนก้านใบออก เนื่องจากส่วนก้านใบจะเป็นส่วนที่มีปริมาณเยื่อใยมากที่สุด และมีโปรตีนต่ำสุด ขณะที่ ใบย่อยปาล์มน้ำมัน (leaflets) มีโปรตีนเฉลี่ย 11.0 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่า OPF แสดงให้เห็นว่าใบย่อยปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีศักยภาพสูงสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าระดับความต้องการเพื่อการดำรงชีพ (6.25 เปอร์เซ็นต์) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Playne, 1972) สอดคล้องกับรายงานของ Oshio et al. (1990)

ที่รายงานว่า ใบย่อยปาล์มน้ำมันมีโปรตีน และไขมันสูงกว่าทางใบปาล์มน้ำมัน ขณะที่ ทางใบปาล์มน้ำมัน และใบย่อยปาล์มน้ำมันมีเซลลูโลส (cellulose) ต่ำกว่าเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ดังนั้น ในอนาคตเฉพาะใบย่อยปาล์มน้ำมันน่าจะเป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีศักยภาพสูงสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดี

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางโภชนะของทางปาล์มสดนั้นกับอาหารหยาบชนิดอื่น เช่น ฟางข้าว พบว่ามีค่าการย่อยได้ใกล้เคียงกับ (Abu Hassan et al., 1991) ขณะที่ มีโปรตีนสูงกว่า และมีปริมาณโภชนะใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์ (Mohd Suki, 2003) ชี้ให้เห็นว่าทางใบปาล์มน้ำมันมีความเหมาะสมสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง และสัตว์กินพืชอื่นๆ (herbivores) ได้ (Alimon and Hair Bejo 1995) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์โภชนะที่ย่อยได้รวม (TDN) และการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter digestibility) ของ OPF พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ โดย OPF 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 OPF ต้องอยู่ในกระเพาะรูเมนนาน (long rumen retention time) ทำให้อัตราการไหลผ่านออกจากกระเพาะรูเมนช้าลง (จีระชัย และบุญล้อม, 2529) ทำให้สัตว์กิน OPF เพิ่มเข้าไปใหม่ได้น้อยลงเนื่องจากมีอาหารเต็มอยู่กระเพาะ

นอกจากนี้ ปริมาณของลิกนินก็เป็นปัจจัยสำคัญในการบ่งชี้ถึงปริมาณการย่อยได้ของอาหาร ซึ่ง Akmar et al. (1996) รายงานว่า OPF มีปริมาณลิกนิน (lignin) และซิลิก้า (silica) สูง ทำให้คุณค่าทางโภชนะและการย่อยได้ลดลง ดังนั้น ถ้ามีการขจัดเอาลิกนินออกจะช่วยให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น (พันทิพา, 2539) ดังนั้น หากนำทางใบปาล์มน้ำมันสดมาผ่านการปรับปรุงคุณภาพ เช่น นำไปหมักในแบบรูปทางใบปาล์มน้ำมันหมัก (oil palm frond silage) นำไปอัดเม็ด (oil palm frond pellet) ก็จะช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ของโภชนะในสัตว์ได้ (Dahlan et al., 2000; 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) ที่ศึกษา OPF หมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊ส ค่าปริมาณแก๊ส ค่าอัตราการผลิตแก๊ส และค่าศักยภาพในการผลิตแก๊สไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) สำหรับค่าอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ของ OPF หมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 32.30, 33.42, 32.93 และ 36.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (P>0.05) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของ OPF หมักร่วมกับกากน้ำตาลทั้ง 4 ทรีทเมนต์ เท่ากับ 4.75, 4.93, 4.86 และ 5.33 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ (P>0.05) ทำนองเดียวกับปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และสำหรับสมดุลไนโตรเจนของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) นอกจากนี้ Bengaly (2002) พบว่าการนำ OPF ทรีตส์ โดยการนึ่งด้วยแรงดันสูงทำให้การย่อย

ได้เพิ่มขึ้น เนื่องจาก ทำให้พันธะการเกาะกันของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่เกาะกับลิกนินลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Paengkoum et al. (2006) ที่รายงานว่า ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุของ OPF ทรีตส์โดยการนึ่งด้วยแรงดันสูงสูงกว่ากลุ่มควบคุม (OPF ที่ไม่ทรีตส์โดยการนึ่งด้วยแรงดันสูง) ดังนั้น จึงสามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันสด หมัก หรือการนึ่งด้วยแรงดันสูงเป็นแหล่งอาหารหยาบในสัตว์ได้

2.1.2.2 การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันรูปแบบต่างๆ เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

1. การเตรียมทางใบปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งอาหารหยาบ

โดยทั่วไปเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวทะลายทุกๆ 15 วัน ดังนั้น ในแต่ละเดือนจะมีการตัดทางใบปาล์มออกอย่างน้อย 2 ทางใบต่อต้น หลังจากนั้น นำไปสับกับเครื่องสับให้มีขนาด 1–2 ซม. (Figure 2.3) แล้วนำไปให้สัตว์กินรูปแบบต่างๆ เช่น แบบสด (fresh or green OPF) แบบหมัก (silage) อัดเม็ด (pellet) อัดก้อน หรือให้สัตว์กินเป็นอาหารในรูปแบบผสมเสร็จ (TMR) หรืออาหารแบบแยกส่วน (Abu Hassan and Ishida, 1991)

Figure 2.3 Fresh whole OPF was chopped by machine (1–2 cm) and fed to beef cattle
ที่มา: ปิ่น (2558)

2. แนวทางการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันรูปแบบต่างๆ เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การใช้ประโยชน์จากทางใบปาล์มน้ำมันในสัตว์ได้มีการศึกษาวิจัยมาเป็นเวลานาน เนื่องจากสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากพืชอาหารชนิดต่างๆ (อาหารหยาบ) ได้สูง โดยอาศัยกิจกรรม และเอ็นไซม์ของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกระเพาะรูเมน สำหรับแนวทางการนำทางปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค กระบือ แพะ และแกะ มีอยู่ 3 แบบ (ปิ่น, 2558) ได้แก่

แบบที่ 1 ให้กินสด โดยนำมาแขวนในคอกหรือนำมาหั่น เสริมด้วยอาหารข้น

แบบที่ 2 ให้กินในรูปหมัก โดยนำทางปาล์มน้ำมันมาผ่านกระบวนการหมักก่อนนำไปใช้เลี้ยงสัตว์เสริมด้วยอาหารข้น ระดับที่เหมาะสมในการใช้ทางปาล์มหมักเลี้ยงสัตว์ ในโคเนื้อ โคนม แกะ หรือแพะเท่ากับ 50, 30 และ 30 เปอร์เซ็นต์

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

การศึกษาการใช้ OPF รูปแบบต่างๆ เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีดังนี้ Mohd Sukri et al. (1999) ได้ทำการศึกษา ระดับของ OPF สับร่วมกับอาหารพื้นฐานกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเป็นองค์ประกอบ โดยมี

ระดับของ OPF บด 5 ระดับ 60, 50, 40, 30 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้เป็นอาหารผสมเสร็จ ได้ทำการศึกษาในโคเนื้อพันธุ์ ออสเตรเลียน-บราห์มัน จากการศึกษา พบว่า ระดับของ OPF สับทั้ง 5 ระดับ ทำให้การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวต่อวัน (ADG) และการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนราคาอาหาร พบว่า อาหารผสมเสร็จที่มีระดับของ OPF บด 40 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนราคาอาหารถูกกว่าการใช้อาหารผสมเสร็จที่มี OPF สับที่ระดับอื่นๆ เนื่องจาก OPF มีโปรตีนต่ำ ดังนั้นการเพิ่มระดับของ OPF ในระดับสูงอาจทำให้สัตว์ขาดโปรตีนได้

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

Khamseekhiew et al. (2002) ทำการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะและกระบวนการหมักในกระเพาะ-รูเมนของโคพื้นเมือง ที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับอัดเม็ดเสริมถั่วลิสงเถา (*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 ($P<0.05$) โดยโคที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับอัดเม็ดเสริมถั่วลิสง-เถา 50 เปอร์เซ็นต์ มีระดับกรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้งหมดในของเหลวจากกระเพาะรูเมนสูงสุด คือ 69.2 มิลลิโมลต่อลิตร ขณะที่ Islam (1999) อ้างโดย Khamseekhiew et al. (2002) รายงานว่า ทางใบ (frond) ของ

ปาล์มน้ำมันมีผนังเซลล์สูงกว่าใบ (leaf) ทาง (petiole) และเส้นกึ่งกลางใบ (midrib) ของปาล์มน้ำมัน ทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และผนังเซลล์ค่อนข้างต่ำ ซึ่งการเสริมถั่วลิสงเถาในระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปร่วมกับทางใบปาล์มน้ำมันสดสับอัดเม็ด จะช่วยให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และผนังเซลล์ของทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ดสูงขึ้น เนื่องจาก จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้รับไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจากถั่วลิสงเถา ส่งผลให้กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนเกิดได้ดีขึ้น

ณัฐฐา และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาล 4 ระดับ ดังนี้ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ โดยการเสริมอาหารข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ซึ่งทำการศึกษาในแพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ อินทรียวัตถุที่กินได้ ปริมาณโปรตีนที่กินได้ และการย่อยได้ของอินทรียวัตถุของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลทั้ง 4 ระดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) อาจเนื่องจากทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับต่างๆ มีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และอินทรียวัตถุที่ย่อยได้อยู่ในช่วง 1.14-1.27 เมกกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง และ 32.30-36.08 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการเติมกากน้ำตาล 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันหมักเพิ่มขึ้น

Musnandar et al. (2011) ได้ทำการศึกษาระดับของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก 3 ระดับ คือ 0, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นอาหารผสมเสร็จ ต่อคุณภาพซากแพะ จากการศึกษาพบว่า การใช้อาหารผสมเสร็จที่มีทางใบปาล์มน้ำมันหมักระดับ 0, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าโภชนะที่ย่อยได้ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) แต่การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้การเพิ่มน้ำหนักตัวต่อวัน และเปอร์เซ็นต์ซากสูงกว่า ($P<0.05$) การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ สุนทร (2555) ได้ทำการศึกษาระดับทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับอาหารข้นเพื่อใช้เป็นอาหาร TMR ในแพะ โดยใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับอาหารข้นแตกต่างกัน 4 สูตร ดังนี้ คือ 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษา พบว่า การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับอาหารข้นที่ระดับ 50:50 และ 60:40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงกว่า ($P<0.05$) การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับอาหารข้นที่ระดับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่า เปอร์เซ็นต์ซากอุ่นในการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักแต่ละระดับไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

Chanjula et al. (2016) ได้ทำการศึกษาการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรา *Lentinussajor-caju* ในอาหารผสมเสร็จมีสัดส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ 70:30 เปอร์เซ็นต์ ในการขุนแพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยมี 3 ปัจจัยทดลองที่ศึกษา ดังนี้ 1) ทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่หมักเชื้อรา 30 เปอร์เซ็นต์ 2) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรา 30 เปอร์เซ็นต์ และ 3) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราร่วมกับยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณการกินได้ (วัตถุแห้ง) ในแพะทั้ง 3 กลุ่ม มีค่า (0.992, 1.051 และ 1.095 กิโลกรัมต่อวัน) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน ในแพะกลุ่มที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรา 30 เปอร์เซ็นต์ และแพะกลุ่มที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราร่วมกับยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ 30 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าแพะกลุ่มที่

ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันไม่หมักเชื้อรา 30 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างไปเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง สอดคล้องกับการศึกษาของ Tan et al. (2002) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นภายในของเหลวกระเพาะรูเมน พบว่า แพะแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ทำนองเดียวกับ ค่าปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ปริมาณกลูโคสในกระแสเลือด ค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด และปริมาณเบต้าไฮดรอกซีบิวทีเรทในแพะแต่ละกลุ่ม ไม่แตกต่าง ($P>0.05$) และพบว่า ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่างในของเหลวกระเพาะรูเมนของแพะ ค่าปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ปริมาณกลูโคสในกระแสเลือด และค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือดของแพะอยู่ในระดับปกติ

2.2 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของอาหารหยาบ

2.2.1 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 สอดคล้องกับการทดลองของ 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 รำข้าว พบว่าการย่อยได้เพิ่มขึ้น

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) ที่ศึกษาการใช้ alkaline peroxide ปรับสภาพ (pretreatment) รำข้าวพบว่าการย่อยได้เพิ่มขึ้น แต่การปรับสภาพรำด้วยสารเคมีต่างๆ นั้น ต้องคำนึงถึงอันตรายจากสารเคมีที่อาจตกค้างเมื่อนำไปเป็นอาหารสัตว์ด้วย

3. ตัวออกซิไดส์ที่ใช้ในการเพิ่มค่าการย่อยได้ของอาหารหยาบ ได้แก่ ก๊าซคลอรีน และซัลเฟอร์ได–ออกไซด์ เป็นต้น โดยตัวออกซิไดส์จะมีผลทำให้พันธะระหว่างลิกนิน และคาร์โบไฮเดรตแตกตัว เพื่อเพิ่มการย่อยได้ของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสแต่ไม่มีผลต่อการลดปริมาณของลิกนิน แต่มีการพบว่าถ้าหากใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงจะมีผลทำให้ลิกนินละลายได้สูงขึ้นโดยไปลดแรงดึงดูดระหว่างจุดเชื่อมของลิกนิน

หรือ 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; Kirk and Alder, 1970; Kirk et al., 1978; 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 (กิตติพงศ์ และปัญญา, 2533) เป็นพวกที่ชอบเซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) วัสดุที่ใช้ในการเพาะเห็ดเหล่านี้จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพก่อน นอกจากนี้ ยังใช้วัสดุเพาะได้อย่างกว้างขวาง สามารถใช้วัสดุแทบทุกชนิดที่เป็นผลพลอยได้จากการเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมจากต้นพืช โดยเฉพาะฟางข้าว 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) และ

องค์ประกอบภายในเซลล์ที่ละลายน้ำได้ (neutral detergent soluble, NDS) และทำให้ลดความสามารถในการสลายได้ของลิกนิน (Raj et al., 1989; Singh et al., 1990) นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเชื้อรา อาหารเลี้ยงเชื้อ และสภาพของการเพาะเลี้ยง (culture condition) เป็นต้น (Tripathi and Yadav, 1992)

ในประเทศไทย Chanjula et al. (2017) ได้ศึกษาถึงผลของทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อราต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ 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 สามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อรามาเป็นแหล่งอาหารหยาบทดแทนในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องสอดคล้องกับการศึกษาของ Hamchara et al. (2018) ที่รายงานว่า สามารถใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราได้ 10–30 เปอร์เซ็นต์ ทดแทนทางใบปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารผสมเสร็จสำหรับเลี้ยงแพะ

2.3 พืชหมัก และกระบวนการหมักพืชอาหารสัตว์

พืชหมัก (silage) หมายถึง พืชอาหารสัตว์ต่างๆ เช่น ต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง หญ้า และถั่วต่างๆ ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่มีความชื้นพอเหมาะ นำมาหมักเก็บไว้ในสภาพสุญญากาศ เก็บถนอมไว้ในสภาพหมักดอง เมื่อพืชอาหารสัตว์สดๆ เหล่านี้ได้เปลี่ยนสภาพเป็นพืชหมักแล้ว จะสามารถอยู่ได้เป็นเวลานาน โดยคุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งพืชที่นำมาหมักควรมีความชื้นประมาณ 60–75 เปอร์เซ็นต์ มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ไม่ต่ำกว่า 15 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง มีค่า buffering capacity ต่ำ ซึ่งจะทำให้พืชหมักเป็นกรดเร็วขึ้น นอกจากนี้พืชที่นำมาหมักควรมีขนาดประมาณ 3–5 เซนติเมตร (เมธา, 2533; สายัณห์, 2547) พืชหมักมีข้อดี คือ สามารถทำได้ทุกฤดูกาล เป็นการถนอมและเก็บรักษาพืชอาหารสัตว์รูปแบบหนึ่งให้สามารถทำได้ตลอดปี โดยการหมักจะทำให้ลำต้นของพืชอาหารสัตว์ที่แข็ง อ่อนนุ่ม ช่วยเพิ่มความน่ากิน ทำให้สัตว์กินอาหารเพิ่มขึ้น สำหรับข้อเสียของพืชหมัก คือ ก่อนนำพืชอาหารสัตว์มาหมักต้องสับพืชอาหารสัตว์ก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้สัตว์เลือกกิน และในกรณีที่อากาศร้อน ถ้าสัตว์กินพืชหมักไม่หมด จะทำให้เกิดเชื้อราและเน่าเสียได้ง่าย (เมธา, 2533; สายัณห์, 2547)

กระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายหลังการปิดถังหรือหลุมหมัก แบ่งได้ 2 กระบวนการ ใหญ่ คือ กระบวนการที่ต้องใช้ออกซิเจน และกระบวนการที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน โดยสายัณห์ (2547) กล่าวว่า กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ปริมาณอากาศที่ยังเหลือภายหลังการ

นำพืชเข้าถังหมักแล้ว และองค์ประกอบต่างๆ ภายในพืชที่นำมาทำพืชหมัก เช่น ปริมาณน้ำตาล ความชื้น และแร่ธาตุอาหาร เป็นต้น โดย Oude Elferink et al. (2000) สรุปว่า กระบวนการหมักพืชหมักสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ

1. Aerobic phase ปกติจะเกิดขึ้น 2-3 ชั่วโมงแรก โดยหลังจากที่ทำการอัดพืชหมักลงในถังหมักแล้ว ออกซิเจนที่เหลืออยู่ภายในถังหมัก จะถูกเซลล์ของพืชที่มีชีวิตอยู่ ใช้ในกระบวน การหายใจ ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน เช่น ยีสต์ (yeast) และ enterobacteria จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน (สายัณห์, 2547) นอกจากนี้เอ็นไซม์ในพืช เช่น โปรติเอส (proteases) และคาร์โบไฮเดรส (carbohydrases) จะทำงานในช่วงนี้ด้วย โดยความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 6.5-6.0

2. Fermentation phase ระยะนี้จะเริ่มขึ้น เมื่อออกซิเจนภายในถังหมักถูกใช้จนหมดหรืออยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic) โดยเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหลายวันและหลายสัปดาห์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพืชที่นำมาหมัก และสภาวะของถังหมัก หากกระบวนการหมักเกิดสมบูรณ์จุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลกติก (lactic acid bacteria, LAB) จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนมากขึ้นทำให้เกิดการผลิตกรดแลกติก และกรดอื่นๆ ส่งผลทำให้ความเป็นกรด-ด่างลดลงอยู่ในช่วง 3.8-5.0

3. Stable phase ระยะนี้ไม่มีปฏิกิริยาใดเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในระยะ fermentation phase จะลดจำนวนลงอย่างช้าๆ ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ทนกรดจะอยู่รอด การทำงานของเอ็นไซม์โปรติเอส เอ็นไซม์คาร์โบไฮเดรส และจุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Lactobacillus buchneri* จะลดลง

4. Aerobic spoilage phase จะเริ่มเมื่อพืชหมักโดนอากาศ ระหว่างที่นำออกมาจากถังหมัก โดยอาจเกิดการหมักย่อยกรดอินทรีย์ (organic acid) โดย ยีสต์ และแบคทีเรียผลิตกรดแอซิติก (acetic acid bacteria) ทำให้ความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น และเกิดจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น bacilli และจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน เช่น เชื้อรา และ enterobacteria

2.3.1 ปัจจัยที่ควบคุมคุณภาพของพืชหมัก

สายัณห์ (2547) กล่าวว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำพืชหมัก และมีอิทธิพลต่อคุณภาพของพืชหมักตลอดจนปฏิกิริยาต่างๆ เกิดขึ้นในการหมัก ได้แก่

1. ชนิดและอายุพืชขณะที่ตัด พืชแต่ละชนิด มีความเหมาะสมในการนำมาหมักแตกต่างกัน เช่น ข้าวโพดควรตัดมาทำพืชหมักเมื่อข้าวโพดกำลังอยู่ในระยะเป็นน้ำนมก่อนเมล็ดจะแข็ง ขณะที่ ข้าวฟ่างควรตัดในระยะก่อนที่พืชจะสิ้นสุดระยะการออกดอก เป็นต้น

2. ขนาดของชิ้นพืชที่หมัก การทำให้ชิ้นของพืชที่นำมาหมักมีขนาดเล็กลง ทำให้น้ำตาลถูกปล่อยออกมาเร็ว ส่งผลให้เกิดกรดแลกติกเร็วขึ้น ทำให้อัดได้แน่น และชิ้นส่วนของพืชยังสามารถคลุกเคล้ากันได้ทั่วถึง โดยความยาวของชิ้นพืชที่นำมาหมัก ถ้าต้องการให้พืชหมักอัดแน่นดีควรมีความยาว 1-5 เซนติเมตร แต่ถ้าพืชมีความชื้นน้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ควรสับให้มีขนาดระหว่าง 0.5-1.5 เซนติเมตร เพื่อให้พืชอัดแน่นได้ดียิ่งขึ้น

3. การปรับระดับความชื้นในพืช ระดับความชื้นในพืชที่เหมาะสมกับการทำพืชหมักอยู่ระหว่าง 65–70 เปอร์เซ็นต์ ถ้าความชื้นต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ การอัดแน่นของพืชหมักจะไม่ดีและเกิดเชื้อราขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าความชื้นมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ โอกาสที่จะได้พืชหมักที่มีคุณภาพเลวมีมาก เพราะของเหลวที่ไหลออกมาจากพืชที่กำลังหมักอยู่ทำให้สูญเสียกรดและธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อสัตว์โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรต

4. การควบคุมอุณหภูมิและการเกิดกรด ในช่วงแรกผลของการหายใจของเซลล์พืชจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ และความร้อน หลังจากเซลล์ของพืชตาย เชื้อราและยีสต์จะเจริญขึ้นทำให้พืชหมักมีคุณภาพไม่ดี โดยปกติเมื่ออากาศถูกใช้ไปหมด เซลล์พืชจะตายเชื้อแบคทีเรียที่อยู่บนใบและลำต้นจะผลิตกรดแลกติกช่วยให้พืชอยู่ในรูปของสิ่งหมักดอง ดังนั้น หากอัดกองพืชหมักให้แน่นและอากาศหลงเหลืออยู่น้อย อุณหภูมิที่เกิดขึ้นก็จะต่ำ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการก่อให้เกิดกรดแลกติกมีค่าประมาณ 38 องศาเซลเซียส

5. การใช้สารเสริม (additive) สารเสริมอาจจะไปชะงักการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทางตรงหรือทางอ้อม กระตุ้นให้เกิดการหมักดองธรรมชาติ (nature fermentation) เร็วขึ้นซึ่งสารเสริมที่ใช้ในการหมักพืชออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

5.1 สารกระตุ้นหรือเร่งกระบวนการหมัก ช่วยทำให้เกิดการหมักเร็วขึ้น โดยเพิ่มปริมาณของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลกติก เช่น การใส่เชื้อแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลกติกลงในพืชหมักโดยตรง หรือใส่เอนไซม์ต่างๆ

5.2 สารเสริมที่เพิ่มความเป็นกรดให้กับพืชหมักโดยตรง เพื่อป้องกันแบคทีเรียในกลุ่ม clostridium ลดการสูญเสียโปรตีนและป้องกันการเกิดแอมโมเนีย กรดที่ใช้ ได้แก่ กรดฟอร์มิก กรดเกลือ และกรดกำมะถัน เป็นต้น

5.3 สารเสริมที่ช่วยชะงักหรือยับยั้งกระบวนการหมัก ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) และโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ (sodium metabisulphite) ซึ่งช่วยชะงักหรือยับยั้งจุลินทรีย์ ไม่ให้ทำงาน

5.4 สารเคมีที่ยับยั้งเชื้อ clostridium โดยตรง เช่น โซเดียมไนเตรต (sodiumnitrate) และสารปฏิชีวนะ เป็นต้น

5.5 สารที่ช่วยดูดซับความชื้น เช่น การใช้ธัญพืชเพื่อช่วยซับความชื้นจากพืชที่มีมากเกินไป นอกจากนี้ยังช่วยเร่งให้เกิดกรดแลกติกเร็วขึ้น

การจัดชั้นคุณภาพของพืชหมักทำให้เราสามารถพิจารณาถึงคุณภาพเบื้องต้นของพืชหมักด้วยการใช้ประสาทสัมผัสทั้งในการตรวจสอบคุณภาพ ทั้ง การดู การสัมผัส การดมกลิ่น จากรายงานของกรมปศุสัตว์ (2547) ได้จำแนกชั้นคุณภาพของพืชหมักโดยการประเมินและให้เป็นคะแนน โดยถ้าหากพืชหมักมีคะแนนรวมตั้งแต่ 20–25 คะแนน จัดเป็นพืชอาหารหมักคุณภาพดีมาก คะแนนรวม 15–19 คะแนน จัดเป็นพืชอาหารหมักคุณภาพดี 6–14 คะแนน จัดเป็นพืชอาหารหมักคุณภาพปานกลาง 0–5 คะแนน จัดเป็นพืชอาหารหมักคุณภาพต่ำ (Table 2.3)

2.3.2 ค่าความเป็นกรด–ด่างของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก

จากการศึกษาของขวัญดาว และคณะ (2549) พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรด–ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 5.25 และ 5.78 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของณัฐฐา (2552) พบว่าทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 0–6

เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรด–ด่าง อยู่ในช่วง 4.60– 4.95 ทำนองเดียวกับการศึกษาของ ประดิษฐ์ และคณะ (2551) ที่รายงานว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรด–ด่าง 4.29 และ 4.48 ตามลำดับ

Table 2.3 Evaluated method and physical quality of silage

	ลักษณะทางกายภาพ	คะแนน
1. กลิ่น	หอมคล้ายกลิ่นผลไม้ดอง หรือน้ำส้มสายชู	12
	– ไม่หอม มีกลิ่นฉุนเล็กน้อย	8
	– มีกลิ่นฉุนมาก และเหม็นเล็กน้อย	4
	– เหม็นเน่า หรือมีกลิ่นรา	0
2. เนื้อสัมผัส	– แน่น มีส่วนใบและลำต้นที่ยังคงสภาพเดิม และไม่มีสิ่งเจือปน	4
	– แน่น ส่วนใบและลำต้นเปื่อยยุ่ยเล็กน้อย ลื่นเป็นเมือก	2
	– แน่น ส่วนใบและลำต้นเปื่อยยุ่ยมาก มีสิ่งเจือปน	1
	– เละเป็นเมือกและสกปรกมาก	0
3. สี	– เหลืองอมเขียว หรือสีกากี	3
	– เขียวอมเหลือง หรือเขียวเข้ม	2
	– น้ำตาลทอง	1
	– น้ำตาลเข้มหรือดำ	0
4. pH	– 3.6 – 4.3	6
	– 4.4 – 4.7	4
	– 4.8 – 5.1	2
	– > 5.1	0
ผลการประเมินคุณภาพ 20–25 ดีมาก, 15–19 ดี, 6–14 ปานกลาง และ 0–5 ต่ำ		

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2547)

2.3.3 ค่า สี กลิ่นของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก

จากการศึกษาของ ณัฐฐา (2552) พบว่าลักษณะ สี และกลิ่น ของทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาล 0–6 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะแน่น เขียวอมสีเหลือง มีกลิ่นหอมเปรี้ยวอ่อนๆ เมื่อระดับของกากน้ำตาลเพิ่มขึ้นอาจทำให้สีของทางใบปาล์มน้ำมันหมักมีสีน้ำตาล ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของขวัญดาว และคณะ (2549) ที่รายงานว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก มีสีเขียวอมเหลืองและมีกลิ่นหอม ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ มีสีน้ำตาลอมส้ม มีกลิ่นหอมของกากน้ำตาลเล็กน้อย ขณะที่ ประดิษฐ์ และคณะ (2551) รายงานว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก และทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ มีสีเขียวอมเหลือง กลิ่นเปรี้ยวปานกลาง โดยเมื่อพิจารณาจากลักษณะ ค่าความเป็นกรด–ด่าง สี และกลิ่นพืชหมักจะต้องมีลักษณะของผลไม้ดองทุกประการจึงจัดเป็น พืชหมักคุณภาพดี ตามเกณฑ์ของ Trinder (1983 อ้างโดย บุญล้อม และบุญเสริม, 2525)

2.4 ยูเรีย สมบัติของยูเรีย และการนำไปใช้ประโยชน์

ยูเรีย (urea) จัดเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) ที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน (N) ของจุลินทรีย์โดยยูเรียมีการนำมาใช้มากที่สุดในบรรดาสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน เนื่องจากหาได้ง่าย และมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนอื่นๆ อย่างเช่น ปลาป่น เนื้อป่น และกากถั่วเหลือง เป็นต้น (Wanapat, 2009)

ยูเรียมีลักษณะเป็นผลึกสีขาวสามารถดูดซึมความชื้นจากอากาศได้ ทำให้บางส่วนจับตัวกันเป็นก้อน แต่ละลายน้ำได้ดี มีสูตรทางเคมี คือ CH_4N_2O หรือ $CO(NH_2)_2$ บางครั้งอาจเขียน NH_2CONH_2 เพื่อแสดงถึงลักษณะโครงสร้างของยูเรีย และการจับตัวของโมเลกุลกลุ่มอะมิโน (NH_2) 2 กลุ่ม กับโมเลกุลกลุ่มคาร์บอนิล (C=O) ยูเรียที่บริสุทธิ์มีไนโตรเจนประกอบอยู่ 46.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเท่ากับมีโปรตีนหยาบ 291 เปอร์เซ็นต์ (46.6x6.25) ยูเรียประเภทนี้ส่วนใหญ่ใช้เป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับพืช แต่ก็พบว่า สามารถนำมาเสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ เนื่องจากมีราคาถูกกว่ายูเรียที่ผลิตขึ้นสำหรับเป็นอาหารสัตว์โดยเฉพาะ (feed grade urea) ที่เคลือบด้วยสารป้องกันการดูดความชื้น ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดีเช่นเดียวกัน แต่จะมีไนโตรเจนประกอบอยู่น้อยกว่า โดยมีไนโตรเจนเพียง 42 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับโปรตีนหยาบ 262 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น

ยูเรียเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมนจะถูกไฮโดรไลซีส (hydrolysis) โดยเอนไซม์ยูริเอส (urease) จากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้เป็นแอมโมเนีย (NH_3) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งจะเกิดขึ้นค่อนข้างเร็ว แอมโมเนียที่ได้นี้จะถูกจุลินทรีย์นำไปทำปฏิกิริยากับกรดคีโตที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมนได้เป็นกรดอะมิโนซึ่งจะนำไปสร้างเป็นโปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ (microbial protein, MCP) แต่ถ้าหากจุลินทรีย์ใช้แอมโมเนียไม่ทันจะทำให้มีปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงในกระเพาะรูเมน โดยสัตว์จะมีการดูดซึมแอมโมเนียไปที่ตับเพื่อลดความเป็นพิษโดยเปลี่ยนเป็นยูเรีย และขับทิ้งทางปัสสาวะ แต่มียูเรียบางส่วนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยผ่านทางน้ำลาย และผนังกระเพาะรูเมน โดยเฉพาะในช่วงที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำ หรืออยู่ในระยะอดอาหาร

Cherdthong and Wanapat (2010) ได้อธิบายว่า การให้อาหารสัตว์อย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยลดปริมาณของยูเรีย และการปล่อยก๊าซแอมโมเนีย โดยที่ระบบการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของมลพิษ ไม่ว่าจะเป็นมลพิษในดิน ในน้ำ และการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์(NO_2) จะมีผลต่อคุณภาพอากาศ นอกจากนี้ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ยูเรียก็สามารถลดการปลดปล่อยแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนให้ช้าลงได้โดยใช้สารประกอบยูเรียสลายช้า (slow-release urea) ได้แก่ ไบยูเร็ต (biuret) สเตเรีย (starea) ยูเรียฟอสเฟต (urea phosphate) ฟอร์มันดีไฮด์เคลือบยูเรีย (formaldehyde treated urea) และ พอลิเมอร์เคลือบยูเรีย (polymer-coated urea) นอกจากนี้ แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) ถือว่าเป็นสารที่ช่วยลดอัตราการปล่อยแอมโมเนียจากยูเรียได้ผลดี การทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ส่วนผสมของยูเรียและแคลเซียมซัลเฟต (urea-calcium sulphate mixture) ช่วยลดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ตลอดจนช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเมื่อเปรียบเทียบกับยูเรียที่ผลิตสำหรับเป็นอาหารสัตว์โดยเฉพาะ (feed grade urea)

2.5 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ สมบัติของแคลเซียมไฮดรอกไซด์

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) มีสูตรทางเคมี คือ $Ca(OH)_2$ มีชื่อพ้องอื่นๆ เช่น calcium hydrate, slaked lime, hydrated lime, carboxide, calcium dihydroxide และ lime water องค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย แคลเซียม (calcium, Ca) 54.09 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน (hydrogen, H) 2.72 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน (oxygen, O) 43.19 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 74.10 ลักษณะเป็นผง หรือของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น จุดเดือด 580 องศาเซลเซียส มีสภาพเป็นด่างแก่ เมื่อละลายน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 14 (USDA, 2002)

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เกิดจากการนำวัสดุที่ได้จากการเผาหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) โดยใช้ความร้อนสูง จะได้เป็นปูนสุก (แคลเซียมออกไซด์, CaO, lime) เมื่อเย็นตัวลงแล้วพรมน้ำให้ชุ่ม ปูนสุกจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนที่เป็นผงแห้งได้เป็นปูนขาว และส่วนที่เป็นสารแขวนลอย คือ น้ำปูนไลม์ (milk of lime) เหมาะกับการนำไปใช้ในกระบวนการที่ไม่ผ่านความร้อน เช่น ระบบบำบัดน้ำเสีย การตึงสารเจือปนในการผลิตน้ำประปา เป็นต้น

การใช้ประโยชน์ในด้านปศุสัตว์ โดยใช้ควบคุมสภาพของวัสดุรองพื้น เช่น แกลบ ฟาง ขี้กบ เป็นต้น ให้มีสภาพเป็นด่างเพื่อลดปัญหาต่างๆ เหล่านี้ ช่วยลดหรือเจือจางความเป็นพิษของสารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ต่างๆ ที่ปนมากับมูลสัตว์ในฟาร์ม เช่น ฟาร์มไก่ สุกร ลดผลกระทบจากแก๊สพิษที่เป็นปัญหาต่อระบบทางเดินหายใจของสัตว์ ลดปัญหาการเพาะฟักของไข่แมลงวัน ไร แมลงปีกแข็งในวัสดุรองพื้น นอกจากนี้ประโยชน์ทางด้านอาหารสัตว์ Dias et al. (2011) ได้ศึกษา การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์หมักยอดอ้อยเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบในโค พบว่า ปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ของยอดอ้อยหมักเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ระดับแคลเซียม ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม คือ 12 กรัมต่อกิโลกรัมยอดอ้อยสด

2.6 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 จะไหลผ่านออกจากกระเพาะรูเมน

เข้าสู่ทางเดินอาหารส่วนล่าง 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

2.6.1 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 (บุญล้อม, 2527; เมธา, 2533) ซึ่งมีอัตราการย่อยสลายแตกต่างกัน พบว่าสาร non–protein nitrogen (NPN) มีอัตราการสลายเร็วที่สุด ซึ่งการย่อยและการเมแทบอลิซึมของสารประกอบไนโตรเจนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Figure 2.4) ได้เป็น peptide กรดแอมิโน และแอมโมเนีย ต่อจากนั้นจะมีการสลายตัวกรดแอมิโนส่วนหนึ่งโดยกระบวนการ deamination โดยอาศัยเอ็นไซม์จากจุลินทรีย์ได้เป็นแอมโมเนีย และ α–keto acid (บุญล้อม, 2527; เมธา, 2533) แล้วจุลินทรีย์ หรือตัวสัตว์เองจะนำไปใช้ประโยชน์สังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน เมธา (2533) กล่าวว่า 80% ของไนโตรเจนของจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์โดยการใช้แอมโมเนีย ส่วนอีก 20% ใช้กรดแอมิโนโดยตรง ส่วน α–keto acid อาจถูกสลายตัวต่อไปเพื่อใช้ในการสร้างสารประกอบอื่นๆ หรือเป็นแหล่งพลังงาน เช่น acetic, propionic, butyric, iso–butyric และ iso–valeric เป็นต้น

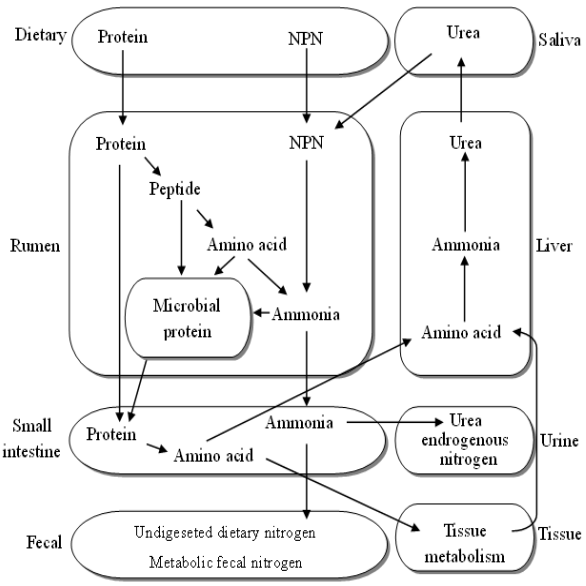

Figure 2.4 Outline of the pathways of protein in the rumen

ที่มา: Leng and Nolan (1984)

2.6.2 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในรูปของโพลิแซ็กคาร์ไรด์ จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดียว เช่น กลูโคส หรือเพนโตส โดยผ่านวิถีต่างๆ จากนั้นกลูโคสหรือเพนโตสจะถูกหมักในกระเพาะรูเมนอย่างรวดเร็ว และถูกสังเคราะห์ไปเป็นกรดไพรูวิก (pyruvic acid) หรือไพรูเวท (pyruvate) ซึ่งเป็นตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acids, VFAs) ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้าย (end–products) ที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid, C_2) กรดบิวทีริก (butyric acid, C_4) กรดโพรพิออนิก (propionic acid, C_3) เป็นหลัก (Figure 2.5) และกรดวาลาริก (valeric acid, C_5) ไอโซวาลาริก (isovaleric acid) และไอโซบิวทีริก (isobutyric acid) อาจพบบ้างแต่ในปริมาณน้อย ซึ่งสัตว์จะดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป จากการศึกษาพบว่า น้ำตาลจะถูกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว รองลงมาคือแป้ง และพวกที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช เช่น เซลยูโลส และเฮมิเซลยูโลส จะถูกเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด นอกจากนี้ยังมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สเมทเธน (CH_4) และความร้อนมีประมาณ 20% (ME) ส่วนพลังงานที่ผลิตได้ในรูป ATP จากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ

1) ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์

2) ใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อการดำรงชีพ ซึ่ง Nocek and Russell (1988) กล่าวว่า ตัวที่จำกัดการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ที่สำคัญ คือ พลังงาน ดังนั้น อาหารโคนมจึงต้องมีโภชนะพลังงานแก่จุลินทรีย์อย่างเพียงพอ และในสัดส่วนที่เหมาะสมกัน จึงจะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนมีประสิทธิภาพสูงสุด

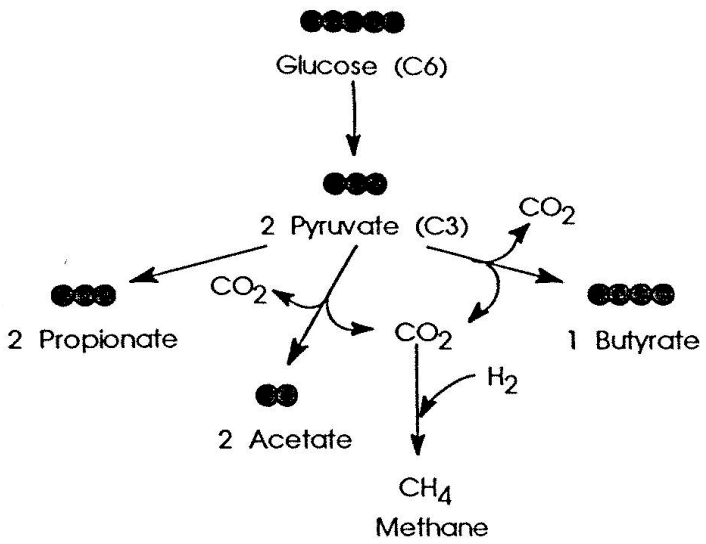

Figure 2.5 Outline of the pathways of carbohydrate in the rumen

ที่มา: Preston and Leng (1987)

2.6.3 การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะรูเมนสังเคราะห์จากกรดแอมมิโน และเปปไทด์ที่ได้จากการย่อย สลายโปรตีนหรือพวกที่อยู่ในรูปอิสระร่วมกับ α-keto acid ที่ได้จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน (microbial protein, MCP) (Figure 2.6) อย่างไรก็ตามพบว่าแอมโมเนียที่หมุนเวียนอยู่ภายในกระเพาะรูเมนเป็นแหล่งไนโตรเจนหลักในการสังเคราะห์โปรตีนเช่นกัน (Aharoni et al., 1991) Al-Rabbat et al. (1971) รายงานว่า 61 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์โปรตีนมาจากแอมโมเนีย และ 39 เปอร์เซ็นต์มาจากกรดแอมมิโน และเปปไทด์ อย่างไรก็ตาม Maeng et al. (1976) รายงานว่า สัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแอมโมเนียและกรดแอมมิโนในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนคือ 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

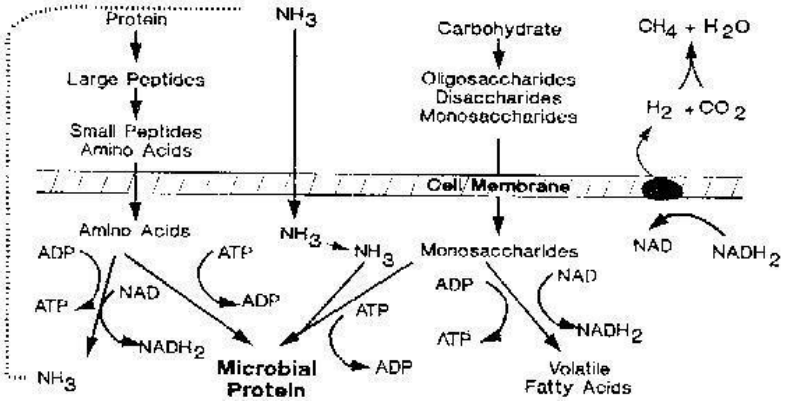

Figure 2.6 Utilization of protein and carbohydrates by rumen bacteria in the rumen

ที่มา: Nocek and Russell (1988)

2.7 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการปรับปรุง และการเพิ่มคุณภาพของอาหารหยาบโดยการใช้ยูเรีย หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการปรับปรุงอาหารหยาบในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Wanapat et al. (2009) ได้ศึกษาการใช้ฟางข้าวหมักด้วยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นแหล่งอาหารหยาบในแม่โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ โดยแบ่งกลุ่มประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) กลุ่มที่ 2 เลี้ยงด้วยฟางข้าวหมักยูเรีย 5.5 เปอร์เซ็นต์ (ยูเรียปริมาณ 5 กรัม ในน้ำ 100 ลิตร ร่วมกับฟางข้าว 100 กรัมวัตถุแห้ง) และกลุ่มที่ 3 เลี้ยงด้วยฟางข้าวหมักยูเรีย 2.2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2.2 เปอร์เซ็นต์ (ยูเรียปริมาณ 2.0 กรัม และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2.0 กรัมในน้ำ 100 มิลลิลิตร ร่วมกับฟางข้าว 100 กรัมวัตถุแห้ง) พบว่า ค่าปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ และความสามารถในการย่อยอาหารของโคนมมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในกลุ่มที่ใช้ฟางข้าวหมักด้วยยูเรีย 5.5 เปอร์เซ็นต์ และในกลุ่มที่ใช้ฟางข้าวหมักด้วยยูเรีย 2.2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ Polyorach and Wanapat (2014) ที่ศึกษาในโคเนื้อลูกผสมพื้นเมือง พบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งในฟางข้าวที่หมักยูเรีย 50 กรัมต่อกิโลกรัม ฟางข้าวหมักด้วยยูเรีย 20 กรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 20 กรัมต่อกิโลกรัม และฟางข้าวหมักด้วยยูเรีย 30 กรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 20 กรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทำนองเดียวกับการทดลองของ Sahoo et al. (2002) ที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวสาลีด้วยยูเรีย และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อศึกษาปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ในแกะพันธุ์มูซาฟฟาร์นาการี (Muzaffarnagari) ด้วยสูตรอาหาร 3 กลุ่มการทดลอง ประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 ฟางข้าวสาลีปรับปรุงคุณภาพด้วยการหมักยูเรีย 21 วัน (ยูเรีย 4 กิโลกรัม ต่อฟางข้าวสาลี 100 กิโลกรัมวัตถุแห้ง) กลุ่มที่ 2 ฟางข้าวสาลีปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรียโดยไม่หมัก (ยูเรีย 1.5 กิโลกรัม ต่อฟางข้าวสาลี 100 กิโลกรัมวัตถุแห้ง) กลุ่มที่ 3 ฟางข้าวสาลีปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรียร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์หมักไว้ 21 วัน (ยูเรีย 3 กิโลกรัม ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 3 กิโลกรัม ต่อฟางข้าวสาลี 100 กิโลกรัมวัตถุแห้ง) พบว่า ปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ของโภชนะ วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส ในกลุ่มที่ 1 และ 3 สูงกว่า ในกลุ่มที่ 2 ($P<0.05$) เช่นเดียวกับ การย่อยได้ของเซลลูโลส ขณะที่ การย่อยได้ของโปรตีนรวม ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่การย่อยได้ของ

อินทรียวัตถุ ผนังเซลล์ และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) แตกต่างกัน (P<0.01) ซึ่งมีค่าสูงสุดในกลุ่มที่ 1, 3 และ 2 ตามลำดับ ขณะที่ Gunan et al. (2016) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์หมักชานอ้อย เพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโคเนื้อลูกผสมโคพื้นเมือง โดยแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม เลี้ยงด้วยฟางข้าวไม่หมัก) กลุ่มที่ 2 เลี้ยงด้วยชานอ้อยไม่หมัก กลุ่มที่ 3 เลี้ยงด้วยชานอ้อยหมักยูเรีย 4 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 4 เลี้ยงด้วยชานอ้อยหมักยูเรีย 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์พบว่า ปริมาณการกินได้ทั้งหมดของวัตถุแห้ง ในกลุ่มที่ 1, 3 และ กลุ่มที่ 4 มีค่าสูงกว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งในกลุ่มที่ 2 (P<0.05) และปริมาณการย่อยได้ของผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส ในกลุ่มที่ 3 และ 4 สูงกว่าในกลุ่มที่ 1 และ 2 (P<0.05) อาจเนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายด่างสามารถทำลายพันธะเคมีของเอสเทอร์ที่เชื่อมระหว่างลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ทำให้โครงสร้างทางกายภาพของผนังเซลล์พองตัว ลักษณะเหล่านี้จะมีผลให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถย่อยสลายโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตได้ง่ายยิ่งขึ้น (Fadel Elseed et al., 2003) ทำนองเดียวกันความเข้มข้นของด่างสามารถทำลายพันธะของลิกนินภายในโครงสร้างเซลล์ของผนังเซลล์พืชที่ต่อกันเป็นโครงสร้างยาว จึงทำให้สัมประสิทธิ์การย่อยได้เพิ่มขึ้น (Rezende et al., 2011)

โดยสรุปจากการตรวจเอกสารจะเห็นได้ว่า สามารถใช้ยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาหมักกับทางใบปาล์มน้ำมันสด เพื่อเพิ่มคุณค่า หรือคุณภาพให้กับอาหารหยาบเพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ อย่างไรก็ตาม ยังมีการศึกษาวิจัยที่จำกัด ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีงานทดลองใดที่ได้มีการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้น จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิ์ภาพการใช้ประโยชน์ของโภชนะตลอดจนส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพในการผลิตสัตว์ได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือเพื่อให้เกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทยสามารถนำผลการทดลองนี้ไปใช้ในการพัฒนาเป็นแหล่งอาหารหยาบ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องได้อย่างเป็นรูปธรรม และมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต อีกทั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปสู่การพัฒนาการใช้ประโยชน์ทางใบปาล์มน้ำมันในอาหารผสมครบส่วน หรืออาหารผสมสำเร็จรูป (total mixed ration, TMR) สำหรับเลี้ยงโคเนื้อ โคนม กระบือ แพะ และแกะต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วยยูเรียและแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์

การเตรียมทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วยยูเรีย และแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ โดยทางใบปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นทางใบปาล์มน้ำมันที่ตัดออกระหว่างการเก็บทะลายปาล์มน้ำมัน ณ สถานีวิจัย และฝึกภาคสนามคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. คลองหอยโข่ง จ.สงขลา 90110 โดยนำทางใบปาล์มน้ำมันมาสับด้วยเครื่องสับหญ้าเพื่อให้มีขนาดเล็กประมาณ 1.00–1.50 เซนติเมตร มาทำการหมักด้วยยูเรีย และแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ โดยมีสัดส่วนตามปัจจัยที่ศึกษา คือยูเรีย หรือแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์: น้ำ: ทางใบปาล์มน้ำมันสด = 5: 5: 100 แล้วนำมาใส่ในถังพลาสติกขนาด 50 ลิตร อัดให้แน่น และปิดฝาให้สนิท ใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 30 วัน และทำการวัดพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงการเกิดกระบวนการหมักสมบูรณ์ เช่น pH, lactic acid, NH_3–N และดูลักษณะทางกายภาพ เช่น สี และกลิ่น เป็นต้น

3.2 การศึกษาการย่อยได้ และสมดุลไนโตรเจนในแพะ

1. แผนการทดลอง และกลุ่มทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ 4x4 Latin square design โดยมีกลุ่มทดลอง (treatment) เป็นอาหารทดลอง แบ่งเป็น 4 สูตร ดังต่อไปนี้

ทรีทเมนต์ที่ 1 (T_1) อาหารผสมเสร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก (กลุ่มควบคุม) (fermented oil palm frond, FOFP)

ทรีทเมนต์ที่ 2 (T_2) อาหารผสมเสร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วย 5% ยูเรีย (urea treated oil palm frond, UOPF)

ทรีทเมนต์ที่ 3 (T_3) อาหารผสมเสร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วย 5% แคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$–treated oil palm frond, COPF)

ทรีทเมนต์ที่ 4 (T_4) อาหารผสมเสร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วย 2.5% ยูเรีย และ 2.5% แคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ (urea+$Ca(OH)_2$–treated oil palm frond, UCOPF)

โดยสุ่มแพะแต่ละตัวให้ได้รับอาหารตามที่กำหนด ในการทดลองแบ่งระยะเวลาการทดลองออกเป็น 4 ช่วงการทดลอง (period) แต่ละช่วงการทดลองใช้เวลาทั้งหมด 22 วัน ประกอบด้วยระยะปรับตัวสัตว์ 15 วัน และระยะเก็บข้อมูล 7 วัน รวมระยะเวลาการทดลองทั้งหมด 88 วัน

2. สัตว์ทดลอง และการจัดการ

ใช้แพะลูกผสมพื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50% เพศผู้ จำนวน 4 ตัว อายุเฉลี่ยประมาณ 24–26 เดือน โดยแพะมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 31.63$\pm$1.0 กิโลกรัม ในช่วงปรับสัตว์ก่อนเข้างานทดลองฉีดยาถ่ายพยาธิไอเวอร์เมกติน (Ivermectin) (ไอเดกติน, IDECTIN®, The British Dispensary (L.P.) Co., Ltd., ประเทศไทย) เพื่อควบคุมพยาธิภายนอกและภายใน อัตราการใช้ยา 1 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว 50 กิโลกรัม และฉีดไวตามิน เอดีอี (AD_3E) (VITAMIN AD_3E 80/40/20, บริษัท ไอ วี เว็ท จำกัด) อัตราการใช้ยา 2 มิลลิลิตร ต่อตัวทุกตัว

3. การให้อาหารสัตว์ทดลอง

1. ระยะปรับสัตว์ (adjusting period) ทำการสุ่มสัตว์ทดลองตามแผนการทดลองแบบ 4 x 4 Latin Square Design โดยสัตว์จะได้รับอาหารตามกลุ่มทดลองเป็นเวลา 15 วัน อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารผสมครบส่วน (total mixed ration, TMR) ที่มีสัดส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ (ทางใบปาล์มน้ำมันหมัก) 60:40 โดยใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักตามแผนการทดลอง (Table 3.1)

Table 3.1 Ingredients and chemical composition of goat diets containing amounts of FOPF[1] (% DM basis)

Item	Dietary treatments[1]			
	FOPF (T_1)	UOPF 5%(T_2)	COPF 5.0% (T_3)	UCOPF 2.5% (T_4)
Ingredients, %				
FOPF[1]	40.0	00.0	00.0	00.0
UOPF 5%	00.0	40.0	00.0	00.0
COPF 5%	00.0	00.0	40.0	00.0
UCOPF 2.5%	00.0	00.0	00.0	40.0
Ground corn, GC	35.8	35.8	35.8	35.8
Soybean meal, SBM (44% CP)	7.9	7.9	7.9	7.9
Fish meal, 55% CP	0.4	0.4	0.4	0.4
Leucaena leave meal, LLM	5.4	5.4	5.4	5.4
Oil palm meal	7.2	7.2	7.2	7.2
Molasses	2.2	2.2	2.2	2.2
Dicalcium phosphate	0.3	0.3	0.3	0.3
Salt	0.2	0.2	0.2	0.2
Mineral and vitamin mix[2]	0.6	0.6	0.6	0.6
Total	100.0	100.0	100.0	100.0
Estimated nutrients (%)				
CP, %	12.50	17.50	12.50	15.50
TDN, %	64.54	65.50	63.57	65.90

[1]Diets= FOPF=Fermented oil palm frond (T_1), UOPF= Urea treated oil palm frond (T_2), COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond (T_3), UCOPF= Urea–calcium hydroxide treated oil palm frond (T_4).

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

สูตรอาหารมีโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 12–15 เปอร์เซ็นต์ แพะทุกตัวถูกขังในคอกขังเดี่ยวได้รับอาหารอย่างอิสระ เพื่อทำการวัดหาปริมาณการกินได้อย่างอิสระ (voluntary feed intake, VFI) โดยแบ่งการให้อาหารออกเป็น 2 เวลา คือ ช่วงเช้าให้อาหารเวลา 08.00 น. และช่วงบ่ายให้อาหารเวลา 16.00 น. โดยในการให้อาหารช่วงเช้า ทำการชั่งให้ (ให้เช้า) และชั่งอาหารที่เหลือ (เหลือเย็น) และในช่วงบ่ายทำการชั่งอาหารให้ (ให้เย็น) และชั่งอาหารที่เหลือ (เหลือเช้า) เพื่อนำไปหาปริมาณการกินได้ในแต่ละวัน โดยทำการจดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้และอาหารที่เหลือทั้งเช้าและเย็นทุกวัน ปริมาณการกินได้ต่อวันคำนวณโดยสูตร

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

ในระยะนี้สัตว์อยู่ในกรงขังเดี่ยวที่มีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา และมีการทำความสะอาดอ่างน้ำทุกๆ วัน (เช้า–เย็น) และทำความสะอาดคอกในช่วงเช้าทุกวัน

2. ระยะเก็บตัวอย่าง (collection period) ระยะนี้สัตว์อยู่บนกรงเมแทบอลิซึม (metabolism crates) ทำการปรับสัตว์ให้มีความคุ้นเคยกับกรงเป็นเวลา 2 วันแรก และในช่วง 6 วันหลัง ทำการเก็บตัวอย่างอาหาร มูล และปัสสาวะติดต่อกันในช่วง 5 วันของแต่ละช่วงการทดลอง ตามวิธีการเก็บแบบทั้งหมด (total collection) (Schnieder and Flatt, 1975) และทำการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักและเลือด ในวันที่ 22 (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 มิลลิลิตร 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) และคำนวณปริมาณแก๊สมีเทนตามวิธีการของ Moss et al. (2000)

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 มิลลิลิตร ใส่หลอดที่มีเฮพพารีน (heparinized) เพื่อป้องกันไม่ให้เลือดแข็งตัว หลังจากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 10 นาทีและเก็บส่วน plasma ใส่ตู้เย็นแช่แข็งที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์หาระดับยูเรีย–ไนโตรเจนในเลือด (blood urea–nitrogen, BUN) (Crocker, 1967), PCV และ blood glucose เป็นต้น ใช้วิธี GOD–PAP method โดยใช้น้ำยาสำเร็จรูป Glucose Liquicolor® ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณ PCV ใช้วิธีการ Liqui Color Procedure No. 2440 (Bull et al., 2000)

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 ทำการวัดปริมาตรทั้งหมดที่ได้ในแต่ละ

วันและทำการสุ่มเก็บไว้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของปัสสาวะทั้งหมด เพื่อนำไปรวมกับวันที่ 2, 3, 4 และ 5 แล้วทำการสุ่มอีกครั้งประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 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 เปอร์เซ็นต์ และนำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะแห้งสนิท แล้วนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 0.1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในอาหาร เพื่อนำไปคำนวณหาการย่อยได้ตามวิธีการของ Schnieder and Flatt (1975) ดังสมการต่อไปนี้

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

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

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) ตามแผนการทดลอง 4 x 4 Latin square design โดยใช้ Proc GLM และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan' s New Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980)

6. สถานที่ทำการทดลอง และเก็บข้อมูล

1. หมวดแพะ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

3. โรงผสมอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

7. ระยะเวลาทำการวิจัย

ระยะเวลาทำการวิจัย ตุลาคม พ.ศ. 2560 – กันยายน พ.ศ. 2561

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์

4.1 ส่วนประกอบทางเคมีและลักษณะกายภาพของทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก (FOPF) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรีย 5.0 เปอร์เซ็นต์ (UOPF) ทางใบปาล์มน้ำมันหมักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 5.0 เปอร์เซ็นต์ (COPF) และทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2.5 เปอร์เซ็นต์ (UCOPF) ที่ใช้ในการทดลอง (Table 4.1) พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาปริมาณวัตถุแห้งทางใบปาล์มน้ำมันหมัก (FOPF) มีค่าสูงกว่าทางใบปาล์มน้ำมันหมักกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เนื่องมาจากในกระบวนการหมักไม่ได้เติมน้ำ ขณะที่ ในทางใบปาล์มน้ำหมักกลุ่มอื่นๆ มีการนำยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาละลายน้ำก่อนผสมเข้าไปในทางใบปาล์มหมัก ส่งผลให้ความชื้นในทางใบปาล์มน้ำมันหมักมีค่าสูงกว่า

Table 4.1 Chemical composition of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond

Item	Dietary treatments[1]				SEM[3]
	FOPF (T_1)	UOPF 5.0%(T_2)	COPF 5.0% (T_3)	UCOPF 2.5% (T_4)	
DM[2]	37.16^{a}	31.33^{c}	34.33^{b}	34.00^{b}	0.31**
Ash	7.34^{c}	6.94^{c}	13.66^{a}	9.89^{b}	0.54**
OM	92.66^{a}	93.06^{a}	86.34^{c}	90.11^{b}	0.52*
CP	7.98^{c}	16.26^{a}	5.61^{d}	12.07^{b}	0.26**
EE	0.78	0.88	0.89	0.88	0.07
NDF	82.18^{a}	78.98^{ab}	67.29^{c}	74.27^{b}	1.87**
ADF	66.50^{a}	65.61^{a}	56.59^{b}	63.47^{a}	1.73**
ADL	26.45^{a}	24.29^{a}	19.36^{b}	22.81^{ab}	1.28*
GE, Mcal/kg DM	4.14	4.26	3.61	3.59	–

[1]Diets= FOPF=Fermented oil palm frond (T_1), UOPF= Urea treated oil palm frond (T_2), COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond (T_3), UCOPF= Urea–calcium hydroxide treated oil palm frond (T_4).

[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; GE = gross energy.

$^{a–c}$ Means within the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<.05$)

* $P<.05$, ** $P<.001$. [3]SEM = Standard error of the mean (n=3).

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงค่าความชื้นของทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในระดับต่างๆ พบว่า มีความชื้นที่เหมาะสมในการทำพืชหมัก ซึ่งพบว่า ความชื้นที่เหมาะสมของพืชหมักควรอยู่ที่ระดับ 65–70 เปอร์เซ็นต์ (วิโรจน์, 2559) ส่วนปริมาณเถ้า พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 5.0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นแร่ธาตุจึงส่งผลให้มีปริมาณเถ้าสูงกว่า ขณะที่ปริมาณโปรตีนรวม พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรีย 5.0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าโปรตีนรวมสูงกว่าทางใบปาล์มน้ำมัน

หมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิต (P<0.01) เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส มีปริมาณลดลงในทางใบปาล์มน้ำมันหมักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบกับทางใบปาล์มน้ำมันหมักกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) สอดคล้องกับ Wanapat et al. (2013) ที่ได้รายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว ฟางข้าวหมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และฟางข้าวหมักยูเรีย พบว่า ฟางข้าวหมักยูเรียแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณของผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลสต่ำกว่าฟางที่ไม่ได้หมัก ส่วนพลังงานรวม พบว่าทางใบปาล์มหมักทั้ง 4 สูตร มีค่าพลังงานรวมอยู่ในช่วง 3.61–4.26 ME cal/ kg GE อย่างไรก็ตาม พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Wan Zahari et al., (2003); ณัฐฐา (2552); Chanjula et al. (2015); Suryani et al. (2016) ที่รายงานว่า ทางใบปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วยอินทรียวัตถุ 96.8–89.3 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม 4.7–7.9 เปอร์เซ็นต์ ไขมันรวม 1.2–2.9 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 3.9–10.7 เปอร์เซ็นต์ ผนังเซลล์ 66.9–76.1 เปอร์เซ็นต์ ลิกโน–เซลลูโลส 55.6–58.1 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงานรวมประมาณ 3.61–4.26 เมกะแคลอรี/กิโลกรัมวัตถุแห้ง

ค่าความเป็นกรด–ด่าง หลังจากหมักทางใบปาล์มน้ำมัน 30 วัน พบว่า กลุ่ม UOPF, COPF และ UCOPF มีค่าความเป็นกรด–ด่างสูงกว่ากลุ่ม FOPF อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) (Table 4.2)

Table 4.2 Characterization and physicochemical parameter of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond (UOPF) dietary

Items	Dietary treatments[1]				SEM
	FOPF (T_1)	UOPF 5.0%(T_2)	COPF 5.0% (T_3)	UCOPF 2.5% (T_4)	
pH	4.54^{c}	8.82^{a}	8.09^{b}	8.19^{b}	0.06**
Lactic acid, % of DM	7.23	7.13	7.15	7.08	0.89
NH_3–N, % total N	6.23	8.37	6.01	8.05	0.57
Color value[3]					
L*	33.83^{a}	23.90^{b}	21.74^{b}	23.67^{b}	1.39**
a*	1.09^{b}	3.39^{a}	4.12^{a}	3.70^{a}	0.50**
b*	21.30^{a}	16.27^{ab}	14.04^{b}	14.27^{b}	1.11**
Odor	fragrant like pickle (lactic, fruit aroma)	the smell of ammonia from urea	fragrant like pickle (lactic, fruit aroma)	the smell of ammonia from urea slight (very small)	–
Texture	little soft, medium hard part	soft medium, little hard part	very soft, scurvy, without hard part	very soft, scurvy, without hard part	–
Visual assessment	yellowish green	little–dark green	little–dark green	little–dark green	–

$^{a–c}$ Means within the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<.05).

* P<.05, ** P<.001.

[1]Diets= FOPF=Fermented oil palm frond (T_1), UOPF= Urea treated oil palm frond (T_2), COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond (T_3), UCOPF= Urea–calcium hydroxide treated oil palm frond (T_4).

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

[3]L (lightness)*: 0 = black to 100 = white; a (redness)*: 0 = green to 100 = red; b (yellowness)*: 0 = blue to 100 = yellow.

อย่างไรก็ตาม เมื่อตรวจสอบลักษณะทางคุณภาพ พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด่างที่แตกต่างกันมีกลิ่นเฉพาะตัวโดยเฉพาะทางใบปาล์มน้ำมันที่มีส่วนผสมของยูเรียมีกลิ่นค่อนข้างเหม็นแอมโมเนีย ส่วนค่าสีจากการประเมินด้วยสายตา พบว่า สีส่วนใหญ่จะไปในทางสีเขียวคล้ำสอดคล้องกับแนวภาพมาตรฐานแกนเทียบค่าสี โดยมีค่าสี L*, a*และ b* ที่ได้จากเครื่องวัดสี (CHROMA METER CR-400) เฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.74-33.83, 1.09-4.12 และ 14.04-21.30 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารผสมเสร็จ (total mixed ration, TMR) ที่มีทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นองค์ประกอบ (Table 4.3) พบว่ามีค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง (DM) ไขมัน (EE) ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL) ของอาหารผสมเสร็จทั้ง 4 สูตร มีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกัน และมีพลังงานรวมของ T_1-T_4 เท่ากับ 4.33, 4.30, 4.09 และ 4.21 Mcal /kg DM GE แต่อาหารผสมเสร็จกลุ่ม T_2 (UOPF) และอาหารผสมเสร็จกลุ่ม T_4 (UCOPF) มีปริมาณโปรตีนรวมเท่ากับ 17.77 และ 15.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าอาหารผสมเสร็จกลุ่ม T_1 และ T_3 อาจเนื่องจากความแตกต่างของระดับโปรตีนในทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่แตกต่างกัน (Table 4.1) ซึ่งไม่มีส่วนผสมของยูเรียส่งผลทำให้ระดับโปรตีนในอาหาร TMR แตกต่างกัน

Table 4.3 Chemical composition of urea-calcium hydroxide treated oil palm frond

	Dietary treatments[1]			
Item	FOPF (T_1)	UOPF 5.0%(T_2)	COPF 5.0% (T_3)	UCOPF 2.5% (T_4)
DM[2]	97.71	97.23	97.90	97.58
Ash	6.24	5.43	8.60	7.43
OM	93.76	94.57	91.40	92.57
CP	12.62	17.77	11.98	15.12
EE	2.36	2.45	2.59	2.47
NSC[3]	20.99	17.52	18.22	19.09
NDF	57.80	56.83	58.61	55.89
ADF	31.87	32.71	32.56	31.43
ADL	9.63	10.03	10.24	10.05
Hemicellulos[4]	25.93	24.11	26.05	24.46
Cellulose[5]	22.23	22.69	22.32	21.38
GE, Mcal/kg DM	4.33	4.30	4.09	4.21

[1]Diets= FOPF=Fermented oil palm frond (T_1), UOPF= Urea treated oil palm frond (T_2), COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond (T_3), UCOPF= Urea-calcium hydroxide treated oil palm frond (T_4).

[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; GE = gross energy.

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

[4]Estimated: Hemicellulose = NDF-ADF.

[5]Estimated: Cellulose = ADF-ADL.

4.2 ปริมาณการกินวัตถุแห้งได้อย่างอิสระ และปริมาณการกินได้ของโภชนะจากอาหาร

ผลการใช้สูตรอาหารผสมเสร็จที่มีทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นองค์ประกอบต่อต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมดทั้งที่คิดเป็นปริมาณเฉลี่ย (kg/d) และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) หรือกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก (g/kg $W^{0.75}$) ของทุกกลุ่ม (Table 4.4) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยปริมาณการกินได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 1.05–1.13 kg/d แตกต่างจากการศึกษาของ Wanapat et al. (2009) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ฟางข้าว ฟางข้าวหมักยูเรีย 5.5 เปอร์เซ็นต์ และฟางข้าวหมักยูเรียร่วมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2.2 เปอร์เซ็นต์ ในโคนม พบว่าโคนมที่ได้รับฟางข้าวหมักยูเรียและฟางข้าวหมักยูเรียร่วมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณการกินได้อย่างอิสระ และการย่อยได้ของโภชนะสูงกว่าฟางข้าว (P< 0.05) ปริมาณการกินได้ที่แตกต่างอาจเนื่องจากชนิดของสัตว์ ระยะการเจริญเติบโตของสัตว์ และลักษณะของฟางข้าวหมักยูเรียมีความน่ากินมากกว่าทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรีย 5.0 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม แพะกลุ่ม T_3 และT_4 มีแนวโน้มปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มT_2 อาจเนื่องมาจากกลิ่นเหม็นของแอมโมเนีย และความน่ากินของทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรีย สอดคล้องกับรายงานของ Paengkoum et al. (2006) ที่ทำ การศึกษาการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียที่ระดับ 10–50 กรัมต่อกิโลกรัม ในแพะ พบว่าเมื่อแพะได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียที่ระดับ 10–30 กรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณการกินอย่างอิสระเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มของระดับยูเรียมากกว่า 30 กรัมต่อกิโลกรัม แพะมีปริมาณการกินได้อย่างอิสระลดลง (P<0.05) เนื่องจากความน่ากินลดลง และกลิ่นของแอมโมเนีย อย่างไรก็ตามจากรายงานของ Wanapat et al. (1985) พบว่า ฟางข้าวหมักยูเรีย 5.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถปรับปรุงการย่อยได้ และเพิ่มปริมาณการกินอาหาร อาจเนื่องจากความเข้มข้นของด่างสามารถทำลายพันธะเอสเทอร์ระหว่างลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสจนทำให้เส้นใยโครงสร้างเซลล์พืชพองได้ ส่งผลให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถย่อยโครงสร้างคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างได้ง่ายขึ้น ทำให้เพิ่มการย่อยได้ของโภชนะได้ดีขึ้น และเพิ่มปริมาณการกินได้ให้สูงขึ้น ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในฟางข้าวสามารถช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้ในโค จาก 6.56 เป็น 6.89 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน (Qingxiang, 2002)

ทำนองเดียวกับปริมาณการกินของโภชนะ (OMI, NDFI, ADFI และ ADLI) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุมีค่าเท่ากับ 1.035, 0.965, 1.015 และ 1.007 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ (P>0.05) สอดคล้องกับการศึกษาของ ภูวดล (2560) ซึ่งได้ทำการศึกษาการใช้อาหารผสมเสร็จที่มีระดับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราที่ระดับ 0, 33, 67 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในแพะ พบว่าแพะมีปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 1.030–1.130 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน อย่างไรก็ตาม พบว่า ปริมาณการกินได้ของโปรตีนรวมของแพะกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมเสร็จที่มีทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรีย 5.0 เปอร์เซ็นต์ (T_2) มีการกินได้ของโปรตีนรวมสูงกว่ากลุ่ม T_1 และ T_3 (P<0.05) เนื่องจากปริมาณของยูเรียที่สูงในกลุ่ม T_2 ทำให้สัตว์สามารถกินโปรตีนได้สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณการกินได้ของผนังเซลล์ ลิกเซลลูโลส และลิกนิน พบว่าแพะทุกกลุ่ม (T_1–T_4) มีปริมาณการกินได้ของผนังเซลล์ เท่ากับ 0.632, 0.577, 0.652 และ 0.607 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ทำนองเดียวกัน ปริมาณ การกินได้ของลิกโนเซลลูโลสและลิกนินของแพะ

ทุกกลุ่ม เท่ากับ 0.350, 0.335, 0.365 และ 0.346 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ และ 0.115, 0.100, 0.112 และ 0.107 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

Table 4.4 Effect of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond on feed intake in goat

Item	Dietary treatments[1]				SEM[2]
	FOPF (T_1)	UOPF 5.0%(T_2)	COPF 5.0% (T_3)	UCOPF 2.5% (T_4)	
Total DMI, kg/d	1.10	1.05	1.13	1.11	0.04
DMI, %BW	2.98	2.81	3.16	2.99	0.16
DMI, g/kg $W^{0.75}$	73.52	69.39	77.09	73.08	3.69
OMI, kg/d	1.035	0.965	1.015	1.007	0.03
CPI, kg/d	0.140^{b}	0.182^{a}	0.135^{b}	0.165^{ab}	0.009*
NDFI, kg/d	0.632	0.577	0.652	0.607	0.03
ADFI, kg/d	0.350	0.335	0.365	0.342	0.01
ADLI, kg/d	0.115	0.100	0.112	0.107	0.006

$^{a-b}$Means within the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<.05).

* P<.05, ** P<.001.

[1]Diets= FOPF=Fermented oil palm frond (T_1), UOPF= Urea treated oil palm frond (T_2), COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond (T_3), UCOPF= Urea–calcium hydroxide treated oil palm frond (T_4).

[2]SEM = Standard error of the mean (n=4).

DMI = Dry matter intake, OMI = organic matter intake, CPI = crude protein intake, NDFI = neutral detergent fiber intake, ADFI = acid detergent fiber intake, and ADLI = acid detergent lignin intake.

4.3 ความสามารถในการย่อยได้ และปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (EE, ADF, ADL และ TDN) (Table 4.5) พบว่าทุกกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) ขณะที่ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ DM, OM, CP และ NDF แตกต่างกัน (P<0.05) โดยกลุ่ม T_1 (FOPF) มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ สอดคล้องกับ Wannapat et al. (1996) ที่รายงานว่าการใช้ด่างในการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบสามารถทำให้สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ และปริมาณการกินได้ของสัตว์เพิ่มขึ้น นอกจากนั้น ด่างสามารถทำลายพันธะเอสเตอร์ระหว่างลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และ เซลลูโลส ซึ่งสามารถเปลี่ยนโครงสร้างของพืช จึงทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การใช้ด่างในการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวช่วยส่งผลให้โครงสร้างพืชมีพื้นผิวที่เพิ่มขึ้น ทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถเข้าไปย่อยได้สูงขึ้นและทำให้เพิ่มอัตราการไหลผ่านของฟางข้าวที่ผ่านการย่อยในทางเดินอาหารของโคเร็วขึ้น (Mapato et al., 2010)

เมื่อพิจารณาโภชนะที่ย่อยได้รวมของแพะที่ได้รับอาหารผสมเสร็จทุกกลุ่ม มีค่าอยู่ในช่วง 63.57–65.90 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) อาจเนื่องจากอาหารที่ใช้ทดลองในครั้งนี้เป็นอาหารผสมเสร็จ ซึ่งโภชนะที่ใช้อาจแตกต่างกันไม่มากจึงทำโภชนะที่ย่อยได้รวมของแพะไม่แตกต่างกัน ปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหารของแพะ (DOM, DCP, DEE, DNDF, DADF และ DADL) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ยกเว้นค่า DCP กลุ่ม T_1 และ T_3 มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่น (P<0.05) สอดคล้องกับ Gunun et

al. (2013) ที่รายงานว่า การใช้ยูเรียหมักร่วมกับฟางข้าวทำให้ปริมาณของโภชนะที่ย่อยได้สูงขึ้น และจากการคำนวณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Mcal/d และ Mcal/kg ME) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ยกเว้นกลุ่มที่ T_1 มีค่า Mcal/kg ME) ต่ำกว่ากลุ่มอื่น ขณะที่ ค่า Mcal/d ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.37–2.58 Mcal/kg ซึ่งใกล้เคียงกับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่คำนวณ และเพียงพอต่อความต้องการของแพะเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (NRC, 1981)

Table 4.5 Effect of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond on nutrient digestibility and digestible nutrient intake of goats

Item	Dietary treatments[1]				SEM[2]
	FOPF (T_1)	UOPF 5.0%(T_2)	COPF 5.0% (T_3)	UCOPF 2.5% (T_4)	
Apparent total tract digestibility, %					
DM	62.09^{c}	62.89^{bc}	63.60^{b}	65.14^{a}	0.38**
OM	64.03^{b}	64.78^{b}	67.01^{a}	67.96^{a}	0.35**
CP	56.04^{b}	67.09^{a}	61.18^{ab}	65.60^{a}	2.11*
EE	55.98	56.51	65.48	63.42	3.19
NDF	55.25^{b}	56.24^{ab}	61.31^{a}	60.72^{a}	1.46*
ADF	36.31	38.63	42.41	41.66	2.33
ADL	23.99	21.19	32.31	25.97	3.37
TDN[3]	64.54	65.50	63.57	65.90	0.84
Digestible nutrient intake, kg/d					
DOM	0.657	0.627	0.680	0.680	0.03
DCP	0.075^{b}	0.125^{a}	0.080^{b}	0.107^{ab}	0.01
DEE	0.017	0.012	0.020	0.017	0.002
DNDF	0.347	0.325	0.402	0.365	0.02
DADF	0.122	0.130	0.155	0.142	0.01
DADL	0.025	0.022	0.037	0.027	0.004
Estimated energy intake[3]					
ME Mcal/d	2.50	2.37	2.58	2.58	0.10
ME Mcal/kg DM	2.28^{b}	2.33^{ab}	2.32^{ab}	2.39^{a}	0.01*

$^{a-b}$Means within the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<.05).

* P<.05, ** P<.001.

[1]Diets= FOPF=Fermented oil palm frond (T_1), UOPF= Urea treated oil palm frond (T_2), COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond (T_3), UCOPF= Urea–calcium hydroxide treated oil palm frond (T_4).

[2]SEM = Standard error of the mean (n=4).

[3]TDN = DCP + DCF + DNFE + (DEE x 2.25).

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

4.4 ผลผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และยูเรีย–ไนโตรเจนในกระแสเลือด

ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน (ruminal pH) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของเหลวกระเพาะรูเมน (NH_3-N) และค่าเมแทบอไลท์ของเลือด (blood metabolite) ของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย แสดงดัง Table 4.6 พบว่าค่า pH ในกระเพาะรูเมนที่ 0 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยของแพะที่ได้รับ UCOPF 2.5% มีค่าสูงกว่าแพะกลุ่มที่ได้รับ FTOPF ($P<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับแพะกลุ่มที่ได้รับ UOPF 5.0% และ COPF 5.0% ($P>0.05$) ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Polyorach and Wanapat (2014) พบว่า การใช้ยูเรียและยูเรียร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์หมักฟางข้าวทำให้ค่า pH ในกระเพาะรูเมนสูงกว่าโคเนื้อที่ได้รับฟางข้าว ($P< 0.05$)

Table 4.6 Effect of urea-calcium hydroxide treated oil palm frond on ruminal pH, NH_3-N and blood metabolites in goats

Item	Dietary treatments[1]				SEM[2]
	FOPF (T_1)	UOPF 5.0%(T_2)	COPF 5.0% (T_3)	UCOPF 2.5% (T_4)	
Ruminal pH					
0 h-post feeding	6.59^{b}	6.69^{ab}	6.732^{ab}	6.94^{a}	0.08*
4 h-post feeding	6.38	6.53	6.51	6.50	0.08
Mean	6.49^{b}	6.61^{ab}	6.62^{ab}	6.72^{a}	0.04
NH_3-N mg/dL					
0 h-post feeding	12.14^{b}	17.50^{a}	11.43^{b}	13.57^{b}	0.91*
4 h-post feeding	12.86^{c}	22.86^{a}	13.21^{c}	16.43^{b}	0.64*
Mean	12.50^{c}	20.18^{a}	12.32^{c}	15.00^{b}	0.60*
BUN, mg/dL					
0 h-post feeding	14.74^{b}	27.04^{a}	14.00^{b}	24.92^{b}	0.96*
4 h-post feeding	14.81^{b}	28.01^{a}	14.79^{b}	25.31^{a}	0.92*
Mean	14.78^{b}	27.53^{a}	14.39^{b}	25.12^{a}	0.90*
Glucose, mg/dL					
0 h-post feeding	62.25	64.75	60.00	63.00	1.28
4 h-post feeding	61.50^{b}	64.25^{ab}	62.50^{ab}	65.00^{a}	0.91*
Mean	61.88	64.50	61.25	64.00	0.92
PCV, %					
0 h-post feeding	29.00^{a}	27.00^{b}	27.75^{ab}	26.50^{b}	0.40*
4 h-post feeding	26.00	26.25	27.00	25.75	1.21
Mean	27.50	26.62	25.37	26.12	0.76

$^{a-b}$Means within the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<.05$).

* $P<.05$, ** $P<.001$.

[1]Diets= FOPF=Fermented oil palm frond (T_1), UOPF= Urea treated oil palm frond (T_2), COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond (T_3), UCOPF= Urea-calcium hydroxide treated oil palm frond (T_4).

[2]SEM = Standard error of the mean (n=4).

NH_3-N = ammonia nitrogen; BUN = blood urea nitrogen; PCV = packed cell volume.

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าค่าเฉลี่ย pH ค่อนข้างคงที่ (6.49–6.72) ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic bacteria) และการย่อยของโปรตีน (6.0–7.0) ขณะที่ค่า NH_3–N ของแพะกลุ่มที่ได้รับ UOPF 5.0% มีค่าสูงกว่าแพะทุกกลุ่ม ($P<0.05$) รองลงมาคือกลุ่ม UCOPF 2.5%, FOPF และ COPF ตามลำดับ อาจเนื่องจากปริมาณของยูเรียในสูตรอาหารที่สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ สอดคล้องกับการศึกษาของ Wanapat et al. (2013) พบว่า ปริมาณของ NH_3–N ในกระเพาะรูเมนของโคนมที่ได้รับฟางข้าวหมักยูเรียและฟางข้าวหมักยูเรียร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์สูงกว่าโคนมกลุ่มที่ได้รับฟางข้าว ($P<0.05$) และค่าเมแทบอไลท์ต่างๆ ในกระแสเลือดของแพะ พบว่าค่า BUN อยู่ในช่วง 14.39–29.34 mg/dL ซึ่งแพะกลุ่มที่ได้รับ UOPF 5.0% และ UCOPF 2.5% มีค่า BUN สูงกว่าแพะกลุ่มที่ได้รับ FOPF และ COPF 5.0% ($P<0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Wanapat et al. (2009) พบว่าค่า BUN ของโคนมที่ได้รับฟางข้าวหมักยูเรีย และฟางข้าวหมักยูเรียร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีค่าสูงกว่าโคนมกลุ่มที่ได้รับฟางข้าว ($P<0.05$) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ BUN มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในแพะอยู่ในช่วง 11.2–27.7 mg/dL (Lloyd, 1982) ซึ่งค่าความเข้มข้นของ BUN ปกติจะผันแปรขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อายุ อาหาร ปริมาณโปรตีนที่กินได้ และโดยเฉพาะระดับของ NH_3–N ในกระเพาะรูเมน ขณะที่ ค่าเฉลี่ยของ blood glucose และค่า PCV มีค่าอยู่ในช่วง 61.25–64.50 mg/dL และ 25.37–27.50% ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ คือ 50–75 mg/dL และ 22–38% ตามลำดับ (Jain, 1993)

4.5 ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะรูเมน

ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acids, TVFAs) รวมทั้งระดับความเข้มข้นของกรดอะซีติค (acetic acid, C_2) กรดโพรพิออนิก (propionic acid, C_3) กรดบิวทีริค (butyric acid, C_4) ในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม (Table 4.7) พบว่า TVFAs จากของเหลวกระเพาะรูเมนเวลาที่ 0 ชั่วโมง (ก่อนให้อาหาร) ของแพะทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 107.56–120.53 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ ยกเว้น ที่ช่วงเวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม กลุ่มที่ T_1 (FOPF) มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่น ($P<0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Wanapat et al. (2013) ที่ได้ศึกษาการใช้ยูเรีย 2 เปอร์เซ็นต์ รวมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์ ในฟางข้าว และฟางข้าวหมักยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับฟางข้าว พบว่า โคที่ได้รับฟางข้าวหมักยูเรีย 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์ และฟางข้าวหมักยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ มีการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับฟางข้าว อาจเนื่องจากปริมาณของผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนินของทางใบปาล์มน้ำมันหมักด้วยยูเรียแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลง ส่งผลให้ปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุ ปริมาณการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และปริมาณอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ของแพะเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Sutton (1985) ที่รายงานว่า ปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ที่ถูกผลิต มีความสัมพันธ์กับปริมาณการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ ถ้าหากปริมาณการย่อยได้ของอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น ปริมาณของกรดไขมันระเหยได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน เพราะความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในสัตว์ที่มีปริมาณการกินได้ของอินทรีย์วัตถุ ปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างสูง (Van Soest, 1994)

นอกจากนี้ อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่าย (soluble carbohydrate) สูง และมีสัมประสิทธิ์การย่อยได้สูงจะเพิ่มสัดส่วนของกรดโพรพิออนิกในกระเพาะรูเมนสูงขึ้น (Nocek and Russel, 1988) ซึ่งความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในอาหารที่มีพลังงานสูง เนื่องมาจากมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายสูง โดยปกติแล้วปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะแปรผันในระหว่าง 70–150 มิลลิโมลต่อลิตร (บุญล้อม, 2541)

Table 4.7 Effect of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond on volatile fatty acid profiles in goats

Item	Dietary treatments[1]				SEM[2]
	FOPF (T_1)	UOPF 5.0%(T_2)	COPF 5.0% (T_3)	UCOPF 2.5% (T_4)	
Total VFA, mmol/L					
0 h–post feeding	107.56	114.36	116.45	120.53	5.52
4 h–post feeding	101.90^{b}	113.45^{a}	115.04^{a}	122.08^{a}	3.16*
Mean	104.73^{b}	113.90^{ab}	115.74^{a}	121.31^{a}	3.06*
Proportion of individual VFA, %					
Acetate (C_2)					
0 h–post feeding	60.74^{a}	61.97^{a}	55.27^{b}	58.52^{ab}	1.38*
4 h–post feeding	58.34^{ab}	63.98^{a}	55.87^{b}	54.23^{b}	2.04*
Mean	59.54^{ab}	62.98^{a}	55.57^{b}	56.37^{b}	1.12**
Propionate (C_3)					
0 h–post feeding	24.42	25.80	27.59	28.58	0.51
4 h–post feeding	29.06	24.88	30.10	31.10	0.58
Mean	26.74^{bc}	25.34^{c}	28.85^{ab}	29.84^{a}	0.47*
Butyrate (C_4)					
0 h–post feeding	14.83	12.22	17.13	12.89	1.95
4 h–post feeding	12.59	11.12	14.02	14.66	1.00
Mean	13.71	11.67	15.57	13.77	1.40
Acetate: propionate ratio (C_2:C_3)					
0 h–post feeding	2.51	2.43	2.03	2.07	0.14
4 h–post feeding	2.05	2.67	1.86	1.75	0.20
Mean	2.28^{a}	2.55^{a}	1.94^{b}	1.91^{b}	0.07*
CH_4					
0 h–post feeding	26.98	26.14	24.63	24.14	0.97
4 h–post feeding	23.82	26.84	23.01	22.27	1.00
Mean	25.40^{ab}	26.49^{a}	23.82^{bc}	23.21^{c}	0.48*

$^{a-b}$Means within the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<.05).

* P<.05, ** P<.001.

[1]Diets= FOPF=Fermented oil palm frond (T_1), UOPF= Urea treated oil palm frond (T_2), COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond (T_3), UCOPF= Urea–calcium hydroxide treated oil palm frond (T_4).

[2]SEM = Standard error of the mean (n=4).

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดแอซิติก (C_2) เวลาที่ 0, 4 ชั่วโมง (หลังให้อาหาร) ค่าเฉลี่ยรวม พบว่า แพะกลุ่ม T_2 (UOPF) มีค่า 61.97, 63.98 และ 62.98 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าแพะกลุ่ม T_3 (COPF) และ T_4 (UCOPF) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่ และปริมาณกรดโพรพิโอนิก (C_3) ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังให้อาหาร พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24.42–28.58 เปอร์เซ็นต์ และ 24.88–31.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่พบว่า ปริมาณกรดโพรพิโอนิกเฉลี่ยของแพะกลุ่ม T_4 (UCOPF) และ T_3 (COPF) มีค่าสูงกว่าแพะกลุ่มอื่น ($P<0.05$) เนื่องจากด่างทำให้ปริมาณของผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลสลดลง ส่งผลให้มีการย่อยได้สูงขึ้น จึงทำให้ปริมาณของกรดแอซิกติกลดลง แต่ C_3 ผลิตสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณ C_3 จะผันแปรตามปริมาณอาหารข้น (บุญล้อม, 2541) ส่วนปริมาณความเข้มข้นของกรดบิวทิริก (C_4) เวลาที่ 0 ชั่วโมง (ก่อนให้อาหาร) เวลาที่ 4 ชั่วโมง (หลังให้อาหาร) และความเข้มข้นเฉลี่ยของแพะทั้ง 4 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 12.22–17.13, 11.12–14.66 และ 11.67–15.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยปกติปริมาณของกรดไขมันระเหยได้จะผันแปรไปตามชนิดของอาหาร และระยะเวลาหลังจากให้อาหาร ปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ที่มีมากที่สุด คือ C_2 โดยมีประมาณ 60–70 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด และอาจจะลดลงเมื่อสัดส่วนของอาหารข้นเพิ่มขึ้น ขณะที่ ปริมาณของ C_3 จะมีประมาณ 18–20 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด เมื่อระดับของอาหารข้นสูงขึ้น ทำให้ปริมาณของ C_3 มีปริมาณสูงขึ้นตามปริมาณอาหารข้น ส่วน C_4 จะไม่ผันแปรโดยจะมีประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (บุญล้อม, 2541) ทำนองเดียวกับ Hungate (1966) ที่กล่าวว่า ความเข้มข้นของ C_2, C_4 และ C_3 ในกระเพาะรูเมนควรอยู่ที่ 62, 16 และ 22 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม จากการรายงานของปิ่น และวสันณ์ (2558) พบว่า แพะลูกผสมพื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้รับทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณของ TVFAs, C_2, C_3 และ C_4 อยู่ในช่วง 74.05–79.23 มิลลิโมลต่อลิตร 68.00–70.20, 19.18–20.95 และ 6.33–6.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด

สัดส่วนของ C_2:C_3 ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังให้อาหารพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่แพะกลุ่ม T_1 (FOPF) และ T_2 (UOPF) มีสัดส่วนปริมาณของ C_2:C_3 เฉลี่ยสูงกว่าแพะกลุ่ม T_3 (COPF) และ T_4 (UCOPF) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อาจเนื่องมาจากปริมาณของสัดส่วนของ C_3 ที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของทางใบปาล์มน้ำมันหมักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 5.0 เปอร์เซ็นต์ และทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 5.0 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ebrahimi et al. (2015) ที่ได้ทำการศึกษา ปริมาณอาหารข้น เปรียบเทียบกับอาหารข้นร่วมกับทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ด 25 เปอร์เซ็นต์ และอาหารข้นร่วมกับทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ด 50 เปอร์เซ็นต์ ในแพะ พบว่าแพะกลุ่มที่ได้รับอาหารข้น และอาหารข้นร่วมกับทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ด 25 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณของสัดส่วน C_2:C_3 = 1.79 และ 1.89 ซึ่งต่ำกว่าแพะกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นร่วมกับทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ด 50 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) เนื่องมาจากในแพะที่ได้รับอาหารข้นร่วมกับทางใบปาล์มน้ำมันอัดเม็ด 50 เปอร์เซ็นต์ มีเยื่อใยสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของ C_2:C_3 ต่ำนั้นจะช่วยทำให้เก็บพลังงานได้สูงขึ้น เพราะ C_3 ให้ประสิทธิภาพของพลังงานสูงกว่า C_2 (Van Soest, 1994)

สัดส่วนของ CH_4 ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังให้อาหารพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่แพะกลุ่ม T_1 (FOPF) และ T_2 (UOPF) มีสัดส่วนปริมาณเฉลี่ยของ CH_4 สูงกว่าแพะกลุ่ม T_3 (COPF) และ T_4 (UCOPF)

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) อาจเนื่องจากในอาหาร T_4 มีเยื่อใยรวมต่ำ และมีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างสูง ทำให้ปริมาณของ C_2 และ C_4 ต่ำ แต่มีปริมาณของ C_3 สูง จึงส่งผลให้ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนต่ำไปด้วย ซึ่ง C_2 และ C_4 เป็นสารตั้งต้นในการผลิต CH_4 (ยิ่งลักษณ์, 2560) เนื่องจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนการผลิต C_2 และ C_4 ทำให้เกิดการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยไฮโดรเจน (H_2) เกิดเป็นแก๊สมีเทน ($CO_2+H_2=CH_4$) (Preston and Leng, 1987) แต่ในกระบวนการสังเคราะห์ C_3 จะไม่มี CH_4 เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม CH_4 ที่เกิดขึ้นทำให้สัตว์เคี้ยวเอื้องเกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบหนึ่งนอกเหนือจากจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก (ฉลอง, 2541)

4.7 จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนโดยวิธีการนับตรง (Total direct count)

จากการทดลองนี้ พบว่าจำนวนประชากรของแบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อราในกระเพาะรูเมนของแพะ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.88–4.16 $x10^{10}$ cell/ mL, 3.27–5.29 $x10^6$ cell/ mL และ 1.31–1.96$x10^6$ cell/ mL ตามลำดับ (Table 4.8)

Table 4.8 Effect of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond on rumen microbes in goats

Item	Dietary treatments[1]				SEM[2]
	FOPF (T_1)	UOPF 5.0%(T_2)	COPF 5.0% (T_3)	UCOPF 2.5% (T_4)	
Total direct count					
Bacteria ($x10^{10}$cell/mL)					
0 h–post feeding	3.89	4.04	3.01	3.56	0.31
4	4.07	4.28	4.74	4.76	0.45
Mean	3.98	4.15	3.88	4.16	0.26
Fungal zoospores ($x10^6$ cell/mL)					
0 h–post feeding	5.79	2.54	3.00	3.99	0.68
4	4.78	3.99	3.79	3.78	0.54
Mean	5.29	3.27	3.39	3.89	0.47
Total Protozoa($x10^6$ cell/mL)					
0 h–post feeding	1.56	1.31	1.96	1.90	0.39
4	2.00	2.26	2.22	2.23	0.46
Mean	1.78	1.79	2.09	2.06	0.35

[a–b]Means within the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<.05).

* P<.05, ** P<.001.

[1]Diets= FOPF=Fermented oil palm frond (T_1), UOPF= Urea treated oil palm frond (T_2), COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond (T_3), UCOPF= Urea–calcium hydroxide treated oil palm frond (T_4).

[2]SEM = Standard error of the mean (n=4).

สอดคล้องกับ Hungate (1966) ที่รายงานว่า ประชากรของแบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อราในกระเพาะรูเมน มีค่าอยู่ในช่วง 10^{10}–10^{12} และ 10^4–10^6 cell/ mL ตามลำดับ แต่มีค่าต่ำกว่ารายงานของ Chanjula et al. (2007a, b) ที่รายงานว่า ประชากรของประชากรโปรโตซัวเฉลี่ยของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย

เพศผู้ (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 (Van Soest, 1994) พบว่าอาหารที่มีเยื่อใยสูงทำให้มีแบคทีเรียกลุ่ม cellulolytic bacteria สูงกว่าอาหารที่มีเยื่อใยต่ำ นอกจากนี้ระดับของ NH_3–N หรือประสิทธิภาพการย่อยได้ โดยอาหารที่มีการย่อยได้สูง และอาหารที่มีผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของระดับของ NH_3–N ในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้น (Song and Kennelly, 1990)

4.8 ความสมดุลของไนโตรเจน (N balance) และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน (nitrogen utilization)

ผลของการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรีย และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในสูตรอาหารผสมเสร็จ ต่อสมดุลของไนโตรเจน และปริมาณของไนโตรเจนที่กักเก็บไว้ได้ (Table 4.9) ปรากฏว่า ปริมาณการกินได้ของไนโตรเจนทั้งหมด (Total N intake) มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยแพะกลุ่ม T_2 มีปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับสูงกว่าแพะกลุ่มอื่น ($P<0.05$) ส่วนปริมาณการขับไนโตรเจน (N excretion) พบว่าแพะทุกลุ่มมีปริมาณการขับไนโตรเจนในมูล (Fecal N) ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8.24–9.74 กรัมต่อตัวต่อวัน แต่แพะกลุ่ม T_2 และ T_4 มีปริมาณการขับไนโตรเจนทางปัสสาวะ (Urinary N) และปริมาณการขับโตรเจนทั้งหมด (Total N excretion) สูงกว่าแพะกลุ่มอื่น ($P<0.05$) สอดคล้องกับ Wanapat et al. (2013) ที่ได้ทำการศึกษาการใช้ฟางหมักยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ ฟางข้าวหมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับฟางข้าวในโคนม พบว่าโคนมกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ ฟางข้าวหมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับ และไนโตรเจนที่ขับออกทางปัสสาวะสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับฟางข้าว ($P<0.05$) อาจเนื่องจากปริมาณการกินได้อย่างอิสระ และปริมาณการกินได้ของโภชนะโปรตีนสูงในอาหาร

ผสมเสร็จที่มีระดับทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรีย และยูเรียแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับ และไนโตรเจนที่ขับออกสูงเช่นกัน ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่แพะได้รับ มีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้อย่างอิสระ

เมื่อพิจารณาค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (Absorbed N) พบว่า แพะกลุ่ม T_2 มีปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดซึมสูงกว่าแพะกลุ่มอื่น ($P<0.05$) แต่ปริมาณการกักเก็บไนโตรเจนในร่างกาย (Retained N) ของแพะทั้ง 4 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 11.11–15.61 กรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่แพะได้รับ มีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้อย่างอิสระ และความสามารถในการย่อยได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ดูดซึมของแพะกลุ่ม T_2 และ T_4 มีค่าสูงกว่าแพะกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่กักเก็บในร่างกาย พบว่า ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ซึ่งถ้าหากสัตว์ได้รับไนโตรเจนจากอาหารน้อยสัตว์จะเพิ่มการเก็บกักไนโตรเจนในร่างกาย โดยลดการขับออกของยูเรียทางปัสสาวะทำให้ยูเรียหมุนเวียนกลับสู่กระเพาะรูเมนต่อไป (Church, 1993)

Table 4.9 Effect of urea–calcium hydroxide treated oil palm frond on N balance of goats

Item	Dietary treatments[1]				SEM[2]
	FOPF (T_1)	UOPF 5.0%(T_2)	COPF 5.0% (T_3)	UCOPF 2.5% (T_4)	
N balance, g/d					
Total N intake	22.09^{b}	29.12^{a}	21.26^{b}	26.03^{ab}	1.73*
N excretion, g/d					
Fecal N	9.74	9.46	8.24	9.10	0.38
Urinary N	1.24^{b}	4.04^{a}	1.06^{b}	4.15^{a}	0.54**
Total N excretion	10.98^{ab}	13.50^{a}	9.31^{b}	13.25^{a}	0.82*
Absorbed N	12.35^{b}	19.65^{a}	13.02^{b}	16.93^{ab}	1.55*
Retained N	11.11	15.61	11.95	12.78	1.52
N output (% of N intake)					
Absorbed	55.96^{b}	67.02^{a}	61.11^{ab}	65.46^{a}	2.15*
Retained	50.52	53.46	56.16	50.31	3.18

$^{a-b}$Means within the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<.05$).

* $P<.05$, ** $P<.001$.

[1]Diets= FOPF=Fermented oil palm frond (T_1), UOPF= Urea treated oil palm frond (T_2), COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond (T_3), UCOPF= Urea–calcium hydroxide treated oil palm frond (T_4).

[2]SEM = Standard error of the mean (n=4).

อย่างไรก็ตาม จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนมีค่าเป็นบวกในแพะทุกกลุ่ม แสดงให้เห็นว่าอาหารผสมเสร็จที่มีระดับทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไม่มีผลกระทบต่อสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน เนื่องจากแพะทุกกลุ่มได้รับไนโตรเจนสูงกว่าความต้องการของร่างกาย ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย–ไนโตรเจน

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 แสดงให้เห็นว่าอาหารที่ใช้ผลของการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในสูตรอาหารผสมเสร็จ สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี และเพียงพอต่อการดำรงชีพ โดยไม่มีผลกระทบต่อ ปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน สมดุลของไนโตรเจน การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน และสมรรถภาพการเจริญของสัตว์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษา **การวิจัยและพัฒนาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันโดยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นอาหารแพะ** เพื่อจะนำไปสู่เป้าหมายในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของทางใบปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตเป็นอาหารหยาบของแพะ โดยอาศัยวัตถุดิบอาหารที่มีอยู่ในท้องถิ่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ จากการวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปการดำเนินการทดลองโดยรวมได้ ดังนี้

5.1 ส่วนประกอบทางเคมีและลักษณะกายภาพของทางใบปาล์มน้ำมันหมักยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างกัน

คุณสมบัติทางเคมีของทางใบปาล์มน้ำมันหมัก คือ FOPF, UOPF, COPF และ UCOPF มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน คือ วัตถุแห้ง (DM) เถ้ารวม (ash) อินทรียวัตถุ (OM) โปรตีนหยาบ (CP) ไขมัน (EE) ผนังเซลล์ (NDF) เซลยูโลลิกนิน (ADF) ลิกนิน (ADL) และพลังงานรวม (GE) เฉลี่ย เท่ากับ 34.21, 9.46, 90.54, 10.48, 0.86, 75.68, 63.04, 23.23% DM และ 3.90 Mcal/kg DM ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่างหลังจากหมักทางใบปาล์มน้ำมัน 30 วัน เท่ากับ = 7.41 และมีค่าสี L*, a*และ b* เฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.74-33.83, 1.09-4.12 และ 14.04-21.30 ตามลำดับ

5.2 การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจนในแพะ

จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า การใช้ FTOPF, UOPF 5.0%, COPF 5.0% และ UCOPF 2.5% ในอาหารผสมเสร็จ (TMR) ระดับ 40% เป็นแหล่งอาหารแพะไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ แต่การใช้ UOPF 5.0%, COPF 5.0% และ UCOPF 2.5% ทำให้สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ DM, OM, CP และ NDF และค่า pH, NH_3-N และค่า BUN ในกระแสเลือดของแพะสูงกว่ากลุ่มควบคุม ทำนองเดียวกับปริมาณการกินได้ของไนโตรเจนทั้งหมด (Total N intake) มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยปริมาณการกินได้ของไนโตรเจนทั้งหมดแพะกลุ่ม T_2 มีปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดซึมสูงกว่าแพะกลุ่มอื่น อย่างไรก็ตาม สมดุลของไนโตรเจนและการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนมีค่าเป็นบวกในแพะทุกกลุ่ม

จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้ UOPF 5.0%, COPF 5.0% และ UCOPF 2.5% เป็นแหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารแพะ TMR ได้ที่ระดับ 40% โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของโภชนะ ปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน สมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาในแพะขุน หรือแพะรีดนมในระยะต่างๆ รวมทั้งวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นในสภาพฟาร์ม หรือการเลี้ยงของเกษตรกรต่อไป

บทที่ 6

เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2547. มาตรฐานพืชอาหารสัตว์หมักของกองอาหารสัตว์. เอกสารคำแนะนำกองอาหารสัตว์. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

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

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

จารุณี อิ่มเอิบ อังคณา หาญบรรจง องอาจ อินสังข์ และอรุณี อิงคกุล. 2551. องค์ประกอบทางเคมีและค่าการสลายตัวในกระเพาะรูเมนของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุของทางใบปาล์มน้ำมัน. ใน การประชุมทางวิชาการ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 ณ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 29 มกราคม– 1 กุมภาพันธ์ 2551 หน้า 235–244.

จีระชัย กาญจนพฤติพงศ์ และบุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2529. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ฟางหญ้าหมักยูเรียกับฟางข้าว ราดสารละลายยูเรีย–กากน้ำตาลเป็นอาหารหยาบสำหรับวัวนมรุ่นเพศผู้. รายงานการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 24. วันที่ 27–29 มกราคม 2529 มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. หน้า 27–35.

ฉลอง วชิราภากร. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์. 2541. โลหิตวิทยาของสัตว์เลี้ยงและการวิเคราะห์. ขอนแก่น: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ณัฐฐา รัตนโกศล. 2552. การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับกากน้ำตาลเป็นอาหารหยาบสำหรับแพะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

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

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

เทอดชัย เวียรศิลป์. 2548. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

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.

บัญชา สัจจาพันธ์. 2555. สถานการณ์การผลิต การบริโภคและการตลาดแพะ ในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: region9.dld.go.th/Section/education/pdf/ed-goat/ed-goat2.pdf. [เข้าถึงเมื่อ 1 ตุลาคม 2558].

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2527. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุญเสริม ชีวะอิสระกุล. 2546. การเลี้ยงดูและการจัดการแพะ. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และบุญเสริม ชีวะอิสระกุล. 2525. การประเมินคุณภาพพืชหมัก. *ใน* วิธีการวิเคราะห์และทดลองทางโภชนศาสตร์สัตว์. หน้า 103-111. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวบาลคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

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

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

ปริญญา เฉิดโฉม กนกพร ภาคีฉาย อุไรวรรณ อินทศร และปราโมทย์ เพชรศรี. 2558. แนวโน้มการบริโภคเนื้อแพะและแกะในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้. ว. สงขลานครินทร์ (สังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์). 1:201-222.

ปิ่น จันจุฬา. 2555. หลักการผลิตโคเนื้อ. สงขลา: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปิ่น จันจุฬา. 2558. การพัฒนาและการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการปลูกปาล์มน้ำมัน และอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อเป็นอาหารสัตว์: 1. ศักยภาพ และการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งอาหารเยื่อใยสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ว. พืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 2:2-16.

ปิ่น จันจุฬา และวสันณ์ เพชรรัตน์. 2558. ผลของ fungal treatment ต่อการย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมรรถภาพการผลิตของแพะขุน. รายงานวิจัย รหัสโครงการ NAT570154C. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

ภูวดล เหมชะรา. 2560.ผลของทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และสมดุลไนโตรเจนในแพะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี่พลับบลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

ยิ่งลักษณ์ คุ้มสุพรรณ. 2543. ผลของการปรับปรุงคุณภาพหญ้าแฝกโดยเชื้อเห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor–caju*) ต่อการยอมรับและการใช้ประโยชน์ในแกะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

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

วินัย ประลมพ์กาญจน์. 2538. อาหารและการให้อาหารแพะ. สงขลา: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วิโรจน์ ภัทรจินดา. 2559. TMR ยุคใหม่โคนมไทย. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

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

สมเกียรติ สายธนู. 2538. การเลี้ยงแพะ. สงขลา: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สายัณห์ ทัดศรี. 2547. พืชอาหารสัตว์เขตร้อน. กรุงเทพฯ: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตร ศาสตร์.

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

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2558–59. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุนทร รอดด้วง. 2555. ผลของการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักในอาหารผสมสำเร็จต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากแพะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เสาวนิต คูประเสริฐ. 2537. โภชนะศาสตร์สัตว์. สงขลา: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ ณิชตา เป็งทินา พรทิพย์ แสนยอง นพพล ชุบทอง ชัยวัฒน์ อาจิน และ ณรกมล เลาห์รอดพันธ์. 2555. ผลของการเสริมยูเรียและกากน้ำตาลต่อคุณภาพของเปลือกข้าวโพดหมักและการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนของโคดอย. แก่นเกษตร. 40 (ฉบับพิเศษ 2):187–192.

อนุสรณ์ เชิดทอง เมธา วรรณพัฒน์ อนุธิดา เสนคำสอน ธงศักดิ์ คัสมาศ เรียนชัย เรืองอุไร นภาพร วาระภิลา และวรุณ โคตะ. 2557. การปรับปรุงคุณภาพของชานข้าวฟ่างหวานด้วยยูเรียและแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยการศึกษาด้วยเทคนิคการผลิตแก๊ส. ว. สัตวศาสตร์แห่งประเทศไทย. 1 (พิเศษ):197–200.

AbdKarim, N.A. and M.Y. Sudin. 2015. A comparative study on the chemical composition of fermented oil palm fronds (OPF) by using probiotics with fresh unfermented OPF. J. Agrobiotech. 6:234–241.

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, S. Oshino and Z. Ahmud Tajuddin. 1995. Utilization of oil palm trunk and fronds as feed for ruminant. Proceedings of the 1st International Symposium on the Integration of Livestock and Oil palm Production, Kuala Lumpur, Malaysia, 25–27 May 1995, pp. 127–136.

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

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.

Anderson, T. and P. Hoffman. 2006. Nutrient Composition of Straw Used in Dairy Cattle Diets. In: Focus on Forage. Wisconsin: College of Agriculture and Life science. University of Wisconsin.

Anonymous. 2016. Chemical structure and physical characteristics of calcium hydroxide. Available at: http://www.slideshare.net/merina_90/calcium-carbonate-gcse-science. (Accessed on 25 January 2016).

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

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.

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

Bull, B.S., J.A. Koepke and E. Simson. 2000. Procedure for Determining Packed Cell Volume by The Hematocrit Method (3rd ed.). Pennsylvania: NCCLS publication.

Cao, Y., Y. Zang, L.V. Renlong, T. Takahashi, N. Yoshida and H. Yang. 2014. Effects of adding urea on fermentation quality of pruned persimmon branch silage and its digestibility, preference, nitrogen balance and rumen fermentation in beef cattle. J. Anim. Sci. 85:193-347.

Chanjula, P. and S. Sornnok 2007a. Effects of Varieties and Timing of Subsequent Cutting on Yield and Chemical Composition of Cassava Hay in Southern. Songklanakarin J. Sci. and Technol. 29:49-60.

Chanjula. P., W. Ngampongsai and M. Wanapat. 2007b. 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., 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.

Chanjula, P., V. Petcharat, P. Hamchara and A. Cherdthong. 2016. Effect of fungal treated oil palm frond in the diet of goats. Proceedings Animal Science congress (17th AAAP 2016), Fukguoka, Japan, 22 –25 August, 2016, pp. 885-888.

Chanjula, P., V. Petcharat and A. Cherdthong. 2017. Effects of fungal (*Lentinussajor-caju*) treated oil palm frond on performance and carcass characteristics in finishing goats. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 30:811-818.

Cherdthong, A., and M. Wanapat. 2010. Development of urea products as rumen slow-release feed for ruminant production: a review. Aust. J. Basi. Appl. Sci. 125: 2232-2241.

Church, D.C. 1993. Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants. Vol. 2. Ruminant Nutrition and Related Topics. O.S.U. Book Stores, Inc. Oregon. USA.

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.

Cowling, E.B. and T.K. Kirk. 1976. Propertoes of cellulose and lignocellulosic materials as substrates for enzymatic conversion process. Biochem. Bioeng. Symp. 6:95–123.

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.

Crocker, C.L. 1976. Rapid determination of urea–nitrogen in serum or plasma without deproteinization. Am. J. Med. Technol. 33: 361–365.

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

Dias, A.M., Í. Tavo and L.C.V. Damasceno. 2011. Sugar cane treated with calcium hydroxide in diet for cattle: intake, digestibility of nutrients and ingestive behavior. Rev. Brasil. Zootec. 40:1799–1806.

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.

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.

Ebrahimi, M., M.A. Rajion, M.Y. Goh, P. Shokryzadan, A.Q. Sazili and M.F. Jahromi. 2015. Feeding oil palm (*Elaeis guineensis*, Jacq.) fronds alters rumen protozoal population and ruminal fermentation pattern in goats. Italian J. Anim. Sci. 14:403–409.

Fadel Elseed, A.M.A., J. Sekine, M. Hishinuma and K. Hamana. 2003. Effects of ammonia, urea plus calcium hydroxide and animal urine treatments on chemical composition and *in sacco* degradability of rice straw. Asian–Australas. J. Anim. Sci. 16:368–373.

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

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.

Gunun, P., M. Wanapat and N. Anantasook. 2013. Effects of physical form and urea treatment of rice straw on rumen fermentation, microbial protein synthesis and nutrient digestibility in dairy steers. Asian–Australas. J. Anim. Sci. 12:1689–1697.

Gunun N., M. Wanapat, P. Gunun, A. Cherdthong, P. Khejornsart and S. Kang. 2016. Effect of treating sugarcane bagasse with urea and calcium hydroxide on feed intake, digestibility, and rumen fermentation in beef cattle. Trop. Anim. Health. Prod. 48:1123–1128.

Hamchara, P., P Chanjula, A. Cherdthong and M. Wanapat. 2018. Digestibility, ruminal fermentation, and nitrogen balance with different feeding levels of oil palm frond treated with *Lentinus sajor–caju* in goats. Asian–Australas. J. Anim. Sci. 31:1619–1626.

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 buffaloes. Asian–Australas. J. Anim. Sci. 5:617–622.

Hungate, R.E. 1966. The Rumen and Its Nicrobes. (ed. R.E. Hungate). New York: Academic Press.

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. JARQ. 13:41–47.

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

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

Jain, N.C. 1993. Essentials of Veterinary Hematology (1st ed.). Philadelphia: Le&Febiger: pp. 295–306.

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

Kaneko, J.J. 1980. Appendixes. In Clinical Biochemistry of Domestic Animals (3rd ed.). (ed. J.J. Kaneko) pp. 877–901. 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.

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.

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–Australas. 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.

Kim, S.W., S.B. Park, M.J. Kim, D.H. Kim and D.G. Yim. 2014. Effects of different levels of concentrate in the diet on physicochemical traits of korean native black goat meats. Korean J. Food Sci. Anim. 34:457–463.

Krik, T.K. and E. Alder. 1970. Methoxyl deficient structural elements in lignin of sweetgum decayed by a brown–rot fungus. Acta Chem. Scandinavica. 24:337–390.

Kirk, T.K., E. 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.

Kopency, J. and R.J. Wallace. 1982. Cellular location and some properties of proteolytic enzymes of rumen bacteria. Appl. Environ. Microbiol. 43:1026–1033.

Leng, R.A., and J.V. Nolan. 1984. Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy. Sci. 67:1072–1089.

Lewis, D. 1975. Blood urea concentration in relation to protein utilization in the ruminant. J. Agri. 48:438–442.

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

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

Mapato. C., M. Wanapat and A. Cherdthong. 2010. Effects of urea treatment of straw and dietary level of vegetable oil on lactating dairy cows. Trop. Anim. Health Prod. 42:1635–1642.

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.

Mohd. Sukri, I., O. Mohd. Ariff, O. Atil and D. Ahmad Khusairi. 1999. The effects of oil –palm by–products based rations on growth, carcass characteristics and quality of beef cattle in feedlot. MARDI – PORIM Project Report, 10p.

Morand–Fehr, P. 1991. Goat nutrition. the Rome: European Association for Animal Production Publication. pp. 308.

Moss, R. A., J. P. Jouany and J. Newbold. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global. Ann. Zootech. 49:231–253.

Mushi, D.E., J. Safari, L.A. Mtenga, G.C. Kifaro and L.O. Eik. 2009. Growth and distribution of non–carcass components of Small East African and F1 Norwegian crossbred goats under concentrate diets. Livest. Sci. 126:80–86.

Musnandar, E., A. Hamidah and R.A. Muthalib. 2011. The effect of fermented oil palm frond in diet on body weight gain and meat quality of goat. J. Indonesian. Trop. Anim. Agric. 36:120–125.

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 Goats in Temperate and Tropical Countries. Washington, D.C.: National Academy Press.

Oshio, S., O. Abu Hassan, A. Takigawa, A. Abe, N. Nakanishi, D. Mohd Jaafar and I. Dahlan. 1990. Processing of oil palm by–products for ruminants. MARDI/TARC Collaborative Study. 110p.

Oude Elferink, S.J.W.H., F. Driehuis, J.C. Gottschal and S.F. Spoelstra. 2000. Silage fermentation processes and their manipulation. In Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders. (ed. L. 't Mannetje) 1 September–15 December 1999. Rome: FAO Press. pp. 17–30.

Ørskov E.R. 1999. New challenges for livestock research and production in Asia. Outlook on Agriculture 28: 179–185.

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

Perdok, H.B. and R.A. Leng. 1990. Effect of supplementation with protein meal on the growth of cattle given a basal diet of untreated or ammoniated rice straw. Asian–Australas. J. Anim. Sci. 3:269–279.

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

Polyorach, S. and M. Wanapat. 2014. Improving the quality of rice straw by urea and calcium hydroxide on rumen ecology, microbial protein synthesis in beef cattle. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 99:449–456.

Pralomkarn, W., S. Saithanoo, S. Kochapakdee and B.W. Norton. 1995. Effect of genotype and plane of nutrition on carcass characteristics of Thai Native and Ango–Nubian X Thai native male goats. Small Rumin. Res. 16:21–25.

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

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

Qingxiang, M. 2002. Composition, nutritive value and upgrading of crop residues. (Eds. Liu Xiangyang) *In* Animal Production Based on Crop Residues–Chinese Experiences. Rome: FAO Press.

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.

Rezende, C.A., M.A. de Lima, P. Maziero, E.R. deAzevedo, W. Garcia and I. Polikarpov. 2011. Chemical and morphological characterization of sugarcane bagasse submitted to a delignification process for enhanced enzymatic digestibility. Biotechnology for Biofuels. 4:54.

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

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

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. Biotechnol. Prog. 21:819–822.

Sahoo, B., M.L. Saraswat, N. Haque and M.Y. Khan. 2002. Chemical treatment of wheat straw on intake and nutrient utilization in sheep. Indian. J. Anim. Sci. 72:1162–1165.

Salah. N., D. Sauvant and H. Archimède. 2014. Nutritional requirements of sheep, goats and cattle in warm climates: a meta–analysis. Animal. 9:1439–1447.

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.

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.

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

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

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.

Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principle and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach (2nd ed.). New York: McGraw–Hill Book Co. Inc.

Sundstol, F., A.N. Said and J. Arnason. 1979. Factors influencing the effect of chemical treatment on the nutritive value of straw. Acta Agricola Scandinavica. 2:179–190.

Suryani, H., M. Zain, R.W. S. Ningrat and N. Jamarun. 2016. Supplementation of direct fed microbial (DFM) on *in vitro*. Pak. J. Nutr. 15:90–95.

Sutton, J.D. 1985. Digestion and absorption of energy substrates in the lactating cow. J. Dairy Sci. 68:1110–1120.

Tan, Z.L., D.X. Lu, W.Y. Niu, C.Y. Han, X.P. Ren, R. Na and S.L. Lin. 2002. Effects of dietary structural to nonstructural carbohydrate ratio on rumen degradability and digestibility of fiber fractions of wheat straw in sheep. Asian–Australas. J. Anim. Sci. 15:1591–1598.

Tripathi, J.P. and J.S. Yadav, 1992 Optimisation of solid substrate fermentation of wheat straw into animal feed by *Pleurotus ostreatus*: a pilot effort. Anim. Feed Sci. Technol. 37: 59–72

USDA. 2002. Calcium hydroxide crops. National Organic Standards Board Technical Advisory Panel Review Page Compiled by OMRI for the USDA National Organic Program. Washington, D.C. : USA. 12 p.

Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. (2nd ed.) New York: Cornell University Press.

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

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 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 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., O. Abu Hassan, H.K. Wong and J.B. Liang. 2003. Utilization of oil palm frond – based diets for beef and dairy production in malaysia. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 16:625-634.

Wanapat, M. 1994. Supplementation of straw-based diets for ruminants in Thailand. In: Improving Animal Production Systems based on Local Feed Resources. Proceedings "Sustainable Animal Production and the Environment".(7th AAAP) Animal Science Congress, July 11-16 1994, Bali, Indonesia.

Wanapat, M., M. Chenost, F. Munoz and C. Kayouli. 1996. Methods for improving the nutritive value of fibrous feed: Treatment and supplementation. Ann. Zootech. 45:69-10.

Wanapat, M., S. Kang, N. Hankla and K. Phesatcha. 2013. Effect of rice straw treatment on feed intake, rumen fermentation and milk production in lactating dairy cows. Afr. J. Agric. Res. 8:1677–1687.

Wanapat. M., S. Polyorach, K. Boonnop, C. Mapato and A. Cherdthong. 2009. Effect of treating rice straw with urea or urea and calcium hydroxide upon intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield of dairy cows. Livest. Sci. 125:238-243.

Wanapat. M., F. Sundstol and T.H. Germo. 1985. A comparison of alkali treatment method to improve the nutritive value of straw I. digestibility and metabolizability. Anim. Feed Sci. Technol. 12:295-309.

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-Australas. J. Anim. Sci. 16:625-636.

Zaman, M.S. and F. Owen. 1990. Effect of calcium hydroxide or urea treatment of barley straw on intake and digestibility in sheep. Small Rumin. Res. 3:237-248.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
เอกสารงานวิจัยภายใต้โครงการที่ได้รับการตีพิมพ์ และที่ได้รับการนำเสนอในการประชุมสัมมนาระดับประเทศและ/ หรือนานาชาติ

1. การนำเสนอในการประชุมสัมมนาระดับนานาชาติ

Chanjula, P., S. Phetarwut and A. Cherdthong. 2017. Feed intake and blood metabolite of goats fed urea–calcium hydroxide treated oil palm frond. Proceedings of the 2nd International Conference on Animal Nutrition and Environment (ANI–NUE2017) "Towards the Betterment of Animal Productivity, Conserving Resources and Environment", November 1–4, 2017, Pullman Raja Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand. pp. 486–490. **(ดังเอกสารแนบ).**

Chanjula, P., S. Phetarwut and A. Cherdthong. 2017. Feed intake and blood metabolite of goats fed urea-calcium hydroxide treated oil palm frond. Proceedings of the 2nd International Conference on Animal Nutrition and Environment (ANI-NUE2017) "Towards the Betterment of Animal Productivity, Conserving Resources and Environment", November 1-4, 2017, Pullman Raja Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand. pp. 486-490

Feed intake and blood metabolite of goats fed urea-calcium hydroxide treated oil palm frond

Pin Chanjula[a*], Suradech phetarwut[a], Anusorn Cherdthong[b]

[a]Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand
[b] Tropical Feed Resources Research and Development Center (TROFREC), Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand
** Corresponding email:pin.c@psu.ac.th*

Abstract

This study was aimed to study the effects of urea-calcium hydroxide treated oil palm frond (UCOPF) in total mixed ration (TMR) on feed intake and blood metabolites of goats. Four male goats with an average initial weight of 30.0±1.00 kg were randomly assigned according to a 4×4 Latin square design. Four dietary treatments containing 40% of fermented oil palm frond (FOPF), 5% urea treated oil palm frond (UOPF 5%), 5% calcium hydroxide treated oil palm frond (COPF 5%) and 2.5 + 2.5% urea-calcium hydroxide treated oil palm frond (UCOPF 2.5%) were used as main roughage sources. The diets were offered *ad libitum* in total mixed ration (TMR) at 40:60 ratio of roughage to concentrates (DM basis). The result revealed that voluntary feed intake, blood glucose and PCV of each goat were not significantly different among treatments. Ruminal pH was unchanged by dietary treatments, except FOPF was lower ($P<0.05$) than other treatments. The concentration of NH_3-N and BUN were found highest ($P<0.05$) in UOPF 5%. Based on this study, UCOPF at 40% in TMR diet did not affect on feed intake and blood metabolites of goats.

Keywords: Oil palm frond, Urea-calcium hydroxide, blood metabolite, Goats, Feed intake

Introduction

Oil palm frond (OPF), a cheap and abundant by-product of the oil palm industry, particularly have been given emphasis lately with great potential to be utilized as a roughage source or as a component in complete feed for ruminants in many tropical countries such as Indonesia, Malaysia and Thailand. However, the use of OPF in livestock production is limited for their complex biological structure, low protein content, metabolizable energy values (Ishida and Abu Hassan 1997), and as up to 20-20.5% of their dry biomass is lignin contents (Abdul Khalil et al. 2006), thus resulting in low voluntary feed intake. Various treatment methods have been used to improve nutritive value of agricultural co-products such as rice and wheat straw including physical, biological and chemical treatments. It was found that using urea treatment could increase nutritive value of rice straw (Wanapat, 1994) and sugarcane bagasse (Ahme et al., 2013). However, the cost of urea treatment was remarkably expensive which resulted on higher cost of production. Similarly, Wanapat (1994) reported that the use of urea-treated (5%) rice straw with increased nutritive value especially protein content and fiber degradation but the cost was relatively high due to increasing price of urea. Fadel Elseed et al. (2003) suggested that when amount of urea was reduced and combined with calcium hydroxide Ca $(OH)_2$, it could improve rumen digestibility. The concentrated alkaline agents can chemically break the ester bonds between lignin and hemicellulose and cellulose, and physically make structural fibres swollen (Wanapat et al., 2009). Therefore, the aim of this

experiment was to therefore to determine effects of various treated OPF on feed intake and blood metabolite in goats.

Materials and Methods

Animals, treatments, and experimental design

Four male crossbred (Thai native x Anglo Nubian) goats at ages about 16 months old with 30.0±1.00 kg body weight were randomly assigned according to a 4x4 Latin square design to investigate the effects of urea-calcium hydroxide treated oil palm frond. Dietary treatments were as follows: fermented oil palm frond (FOPF), 5% urea treated OPF (UOPF 5%), 5% $Ca(OH)_2$ calcium hydroxide treated OPF (COPF 5%), and 2.5 + 2.5% urea-$Ca(OH)_2$ treated OPF (UCOPF 2.5%). OPF was collected from the Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla, Thailand. OPF treatments were prepared by adding urea and Ca(OH)2 (as hydrated lime) according to respective ratio using 100 L of water to 100 kg air dry OPF. OPF was then packed in plastic container (50 L) for a minimum of 30 days before feeding to the animals. Four experimental diets consisting of 40:60 ratio of roughage to concentrates (DM basis) were offered ad libitum in a total mixed ration. The diets were formulated to provide the nutrient allowances to meet or exceed the NRC (1981) requirements of growing goats.

All goats were kept individually in pens (0.50x1.20m) under well-ventilated sheds where water and mineral salt were available at all time. The experiment was conducted for 4 periods, and each period lasted for 21 d. During the first 14 d of each period, all animals were fed by respective diets for *ad libitum* intake, whereas during the last 7 d, the animals were moved to metabolism crates for total collection during the time goats with restriction to 90% of the previous voluntary feed intake to ensure total feed intake. Feeds were provided twice times in two equal portions daily at 0800 and 1600 h. For determination of daily DMI, refusals were collected and weighed daily before feeding. Feed samples obtained each time were oven dried at 60°C for 72 h, grounded to pass through a 1-mm sieve, and composited by period on an equal weight basis, and analyzed for DM, ether extract, ash, and CP content (AOAC, 1995). Goats were individually weighed before the morning feeding at the beginning and ending of each experimental period. At the end of each period, rumen fluid was collected from all goats by using a stomach tube at 0 and 4 h-post feeding during the digestibility trial. This was strained through 4 layers of cheese cloth and pH measured immediately using a pH meter (HANNA instruminalts HI 98153 microcomputer pH meter, Singapore) fitted with a combined electrode. The ruminal fluid was then acidified with 3 mL of 1 M H_2SO_4 added to 30 mL of ruminal fluid. The mixture was centrifuged at 16,000×*g* for 15 min, and the supernatant was stored at −20°C before NH_3-N analysis by using the micro-Kjeldahl methods (AOAC, 1995). Blood samples (about 10 mL) were collected from a jugular vein (at the same time as ruminal fluid sampling) into tubes containing of 12 mg of EDTA. Plasma was separated by centrifugation at 2500×*g* for 15 min at 5^{o}C and stored at −20^{o}C until analysis. Plasma glucose and packed cell volume (PCV) were measured by using commercial kits (No. 640, Sigma Chemical Co., St. Louis, USA). All data were subjected to the analysis of variance by using Proc. GLM and treatment means were performed and compared by using Duncan's New Multiple Range Test a level of $\alpha = 0.05$ to determine the significance between the treatments.

Results and discussion

The results showed that (Table 1) overall mean of feed intakes of each goat in terms of total DMI (%BW, and g/kg $BW^{.75}$) were not significantly ($P>0.05$) affected by dietary treatments, ranging from 1.05-1.13 kg/d and greater values for the goats fed COPF 5% was observed.

However, Wanapat et al. (2009) who found that the treatment of urea 5.5% and 2.2% urea + 2.2% calcium hydroxide could increase (P<0.05) dry matter intake (from 4.4 to 6.3 kg/h/day) and digestibility in dairy cows (from 49.5 to 61.6% DM) when compared with untreated rice straw. This could be due to the differences in animals and their physiological stage. Indeed, these effects may be related with smell and low palatability of OPF treated with urea and calcium hydroxide as compared with urea-treated rice straw. Similarly, Paengkom et al. (2006) reported that intake of OPF by goats increased quadratically, (P<0.01) with increasing urea supplementation up to 30 g/kg OPF and thereafter, decreased (P<0.05) with 40 and 50 g urea/kg OPF, probably due to low palatability of the diet containing a high concentration of urea.

Table 1 Effect of various treated oil palm frond on feed intake in goats.

ITEM	Treatment[1]				SEM[2]
	FOPF	5.0% UOPF	5.0% COPF	2.5% UCOPF	
Total DMI, kg/d	1.10	1.05	1.13	1.11	0.04
DMI, %BW	2.98	2.81	3.16	2.99	0.16
DMI, g/kg $W^{0.75}$	73.52	69.39	77.09	73.08	3.69

[1]Treatment FOPF = Fermented oil palm frond, UOPF= Urea treated oil palm frond, COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond, UCOPF= Urea-calcium hydroxide treated oil palm frond.
[2]SEM = Standard error of the mean (n=4).
DMI = Dry matter intake.

Table 2 Effect of various treated oil palm frond on ruminal pH, NH_3-N and blood metabolites in goats.

ITEM	Treatments[1]				SEM[2]
	FOPF	5.0% UOPF	5.0% COPF	2.5% UCOPF	
Ruminal pH					
0 h-post feeding	6.59[b]	6.69[ab]	6.732[ab]	6.94[a]	0.08
4 h-post feeding	6.38	6.53	6.51	6.50	0.08
Mean	6.49[b]	6.61[ab]	6.62[ab]	6.72[a]	0.04
NH_3-N mg/dL					
0 h-post feeding	12.14[b]	17.50[a]	11.43[b]	13.57[b]	0.91
4 h-post feeding	12.86[c]	22.86[a]	13.21[c]	16.43[b]	0.64
Mean	12.50[c]	20.18[a]	12.32[c]	15.00[b]	0.60
BUN, mg/dL					
0 h-post feeding	14.74[b]	27.04[a]	14.00[b]	24.92[b]	0.96
4 h-post feeding	14.81[b]	28.01[a]	14.79[b]	25.31[a]	0.92
Mean	14.78[b]	27.53[a]	14.39[b]	25.12[a]	0.90
Glucose, mg/dL					
0 h-post feeding	62.25	64.75	60.00	63.00	1.28
4 h-post feeding	61.50[b]	64.25[ab]	62.50[ab]	65.00[a]	0.91
Mean	61.88	64.50	61.25	64.00	0.92
PCV, %					
0 h-post feeding	29.00[a]	27.00[b]	27.75[ab]	26.50[b]	0.40
4 h-post feeding	26.00	26.25	27.00	25.75	1.21
Mean	27.50	26.62	25.37	26.12	0.76

[a-c]Means within a row were compared which were significantly (P<0.05) different.
[1]Treatment FOPF = Fermented oil palm frond, UOPF= Urea treated oil palm frond, COPF= calcium hydroxide treated oil palm frond, UCOPF= Urea-calcium hydroxide treated oil palm frond.
[2]SEM = Standard error of the mean (n=4).

Table 2 presents the effect of UCTOPF on ruminal pH, NH_3-N and blood metabolite. In current study, Ruminal pH, NH_3-N, and BUN were found higher ($P<0.05$) in the treated group as compared to the control. This increase was partially due to urea treatment enhanced its nitrogen content of OPF which contributed to the addition of nitrogenous substrate (Ahmed et al., 2013). These results were similar to previous work by Polyorach and Wanapat (2014) reported that higher in the treated group as compared to the control. Ruminal pH and NH_3–N ranging from 6.49 to 6.72 and 15 to 30 mg/dl were reported an optimal range for the improvement of fermentation, microbial growth, and feed intake in ruminants fed urea-treated rice straw (Wanapat and Pimpa, 1999). Furthermore, BUN of goats consumed treated OPF ranged from 14.39 to 27.53 mg/dl, which was reported in the normal range in normal goats, which has been reported in the range of 11.2 to 27.7 mg/dL (Lloyd, 1982). No significance ($P>0.05$) of by dietary treatments was detected for blood glucose and PCV and all were within the normal ranges 50-75 mg/dL and 22-38 mg/dl, respectively (Lloyd, 1982).

Conclusions

In conclusion, treatment of OPF with urea and/or $Ca(OH)_2$ had no effects on feed intake and blood metabolites of goats but could improve rumen fermentation mainly ruminal pH, NH_3–N, and BUN. However, further researches on feeding trail of treated OPF are recommended to investigate its effects on animal performances and production such as meat and milk.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University for providing the infrastructure and financial support for this experiment.

References

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. BioRes., 1:220-232.

Ahmed, M.H., S.A. Babiker, M.A. FadelElseed, and A.M. Mohammed. 2013. Effect of urea-treatment on nutritive value of sugarcane bagasse. ARPN J. Sci. Technol., 3:834-838.

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

Fadel Elseed, A.M.A., J. Sekine, M. Hishinuma, and K. Hamana. 2003. Effects of ammonia, urea plus calcium hydroxide and animal urine treatments on chemical composition and *in sacco* degradability of rice straw. Asian-Australas. J. Anim. Sci., 16:368–373.

Ishida, M., and O. Abu Hassan. 1997. Utilization of oil palm frond as cattle feed. Japan Agric. Res. Quart., 13:41–47.

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

NRC. 1981. Nutrient Requirements of Goats: Angora, Dairy and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries. Washington, D.C.: National Academy Press.

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

Polyorach, S., and M. Wanapat. 2014. Improving the quality of rice straw by urea and calcium hydroxide on rumen ecology, microbial protein synthesis in beef cattle. J. Anim. Physio. Anim. Nutri., 99:449–456.

Wanapat, M., 1994. Supplementation of straw-based diets for ruminants in Thailand. Improving Animal Production Systems based on Local Feed Resources. Proceedings "Sustainable Animal Production and the Environment". The 7th AAAP Animal Science Congress, Bali, Indonesia.

Wanapat, M., and O. Pimpa. 1999. Effect of ruminal NH_3-N levels on ruminal fermentation, purine derivatives, digestibility and rice straw intake in swamp buffaloes. Asian-Australas. J. Anim. Sci., 12:904–907

Wanapat, M., S. Polyorach, K. Boonnop, C. Mapato, and A. Cherdthong. 2009. Effect of treating rice straw with urea or urea and calcium hydroxide upon intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield of dairy cows. Livest. Sci., 125:238–243.

ภาคผนวก ข
ประวัติผู้จัดทำรายงานวิจัย

ชื่อ – สกุล – นาย ปิ่น จันจุฬา

วัน เดือน ปีเกิด – 28 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2507

ตำแหน่งปัจจุบัน – รองศาสตราจารย์ ภาควิชาสัตวศาสตร์
– คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

สาขาชำนาญการ – โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง

อายุราชการ – 25 ปี

เครื่องราชอิสริยาภรณ์ – ต.ม., ต.ช., ท.ม., ท.ช., ป.ม., ป.ช., ม.ว.ม., ร.จ.พ.

ผลงานทางวิชาการ – งานแต่งหนังสือ 2 เล่ม
– บทความวิจัยตีพิมพ์ระดับชาติ 31 เรื่อง
– บทความวิจัยตีพิมพ์ระดับนานาชาติ 33 เรื่อง
– บทความวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ 19 เรื่อง
– บทความวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 23 เรื่อง
– บทความทางวิชาการ 14 เรื่อง

รางวัลที่ได้รับ – The 11th AJAS/CAPI Outstanding Research Award, November 26, 2012, presented by The Asian–Australasian Association of Animal Production Societies (Ref. Article: AJAS 24:73–81)
– รางวัลดีเด่น การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย เครือข่ายการวิจัย–ภาคใต้ตอนล่าง ครั้งที่ 22 ประจำปี พ.ศ. 2555

หน่วยงาน/ ที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

– ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112
– โทร: (074) 558805; (074) 286074
– โทรสาร (074) 558803
– **E–mail:** – pin.c@psu.ac.th; pin61546@gmail.com