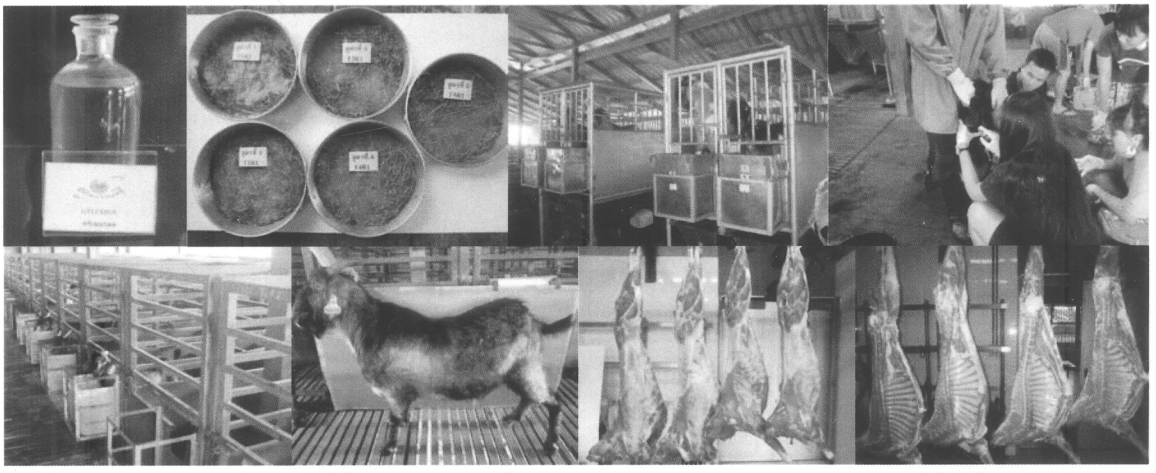
รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ NAT550288S

เรื่อง

ผลของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก สมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ

Effects of Crude Glycerin in Goat Ration on Nutrient Utilization, Rumen Fermentation, Nitrogen Balance and Growth Performance of Goats



โดย

รศ.ดร. ปิ่น จันจุฬา และคณะ

[1]ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2555

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่โครงการวิจัยเรื่อง “ผลของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมักสมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ” ซึ่งดำเนินการวิจัยโดยได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 โดยเริ่มโครงการวิจัยเมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2556 ตลอดจน ภาควิชาสัตวศาสตร์ และสถานีวิจัย และพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ และภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ได้ให้ความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในด้านสถานที่ อุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ และรวมทั้งคณาจารย์ นักศึกษาบัณฑิตศึกษา และบุคลากรทุกท่าน ที่มีส่วนที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดียิ่ง

คณะผู้วิจัย

พฤศจิกายน พ.ศ. 2556

รายงานการวิจัยเล่มนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

บทคัดย่อ

งานทดลองที่ 1 การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของระดับกลีเซอรีนดิบในอาหารต่อปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน เมแทบอไลท์ในกระแสเลือด และสมดุลไนโตรเจนของแพะ โดยศึกษาในแพะน้ำหนักเฉลี่ย 26±3.0 กิโลกรัม ใช้แผนการทดลองแบบ 4x4 จัตุรัสลาติน แพะได้รับอาหารผสมเสร็จที่มีระดับกลีเซอรีนดิบ 0, 5, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร ตามลำดับ ให้แพะได้รับอาหารผสมเสร็จอย่างเต็มที่ ผลการทดลอง พบว่าปริมาณการกินได้ทั้งหมดของวัตถุแห้ง และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, OM, CP, EE, NDF, and ADF) มีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) ค่าความความเข้มข้นของกลูโคส BHBA และค่า PCV ในกระแสเลือดมีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) แต่ค่าอินซูลินในกระแสเลือดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.002) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และ BUN มีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) ยกเว้นกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 20% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 10% ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด ประชากรจุลินทรีย์ และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01) จากผลการทดลองนี้ สามารถใช้กลีเซอรีนดิบในอาหารผสมเสร็จระดับ 20% ในสูตรอาหารแพะ

งานทดลองที่ 2 ศึกษาถึงผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ จำนวน 24 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 17.4± 1.8 กิโลกรัม วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) ให้แพะได้รับอาหารผสมเสร็จที่มีระดับกลีเซอรีนดิบ 4 ระดับ (0, 5, 10 และ 20% DM) แบบเต็มที่ (ad libitum) ทำการฆ่าแพะเมื่อเลี้ยงครบกำหนด 91 วัน บันทึกน้ำหนักซากอุ่น และองค์ประกอบซาก วัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และองค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อ ผลการทดลอง พบว่าน้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมด (วัตถุแห้ง) อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่มของแพะไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ทำนองเดียวกับ คุณลักษณะทางซาก และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะทั้ง 4 กลุ่ม พบว่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P>0.05) ขณะที่ ค่ากลูโคส และ BHBA ในกระแสเลือดมีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) แต่ค่าอินซูลินในกระแสเลือดมีความแตกต่างกัน (P<0.05) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.01) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น

ต้นทุนทั้งหมด พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แต่ต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวแพะที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม และต้นทุนทั้งหมดต่อน้ำหนักตัวแพะที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม พบว่ามีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.01 และ 0.05 ตามลำดับ) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ กำไรเมื่อหักจากการรวมต้นทุนทั้งหมดของการเลี้ยงแพะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.04) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า สามารถใช้กลีเซอรีนดิบเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารผสมเสร็จระดับ 20% ได้ในสูตรอาหารแพะโดยไม่มีผลสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ และเมแทบอไลท์ในกระแสเลือด และมีกำไรเมื่อหักจากการรวมต้นทุนทั้งหมดของการเลี้ยงแพะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: กลีเซอรีนดิบ การใช้ประโยชน์ของโภชนะ สมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะซาก แพะ

Abstract

Experiment I. This experiment was conducted to evaluate the effects of increasing concentrations of crude glycerin (CGLY) in diets on nutrient utilization, ruminal fermentation characteristics, and nitrogen utilization of goats. Four male crossbred goats, with an average initial weight of 26±3.0 kg, were randomly assigned according to a 4×4 Latin square design. Treatments diets contained 0, 5, 10, and 20% of dietary DM of CGLY. Based on this experiment, there were no significant differences (P>0.05) among treatment groups regarding DM intake and digestion coefficients of nutrients (DM, OM, CP, EE, NDF, and ADF). Likewise, mean serum glucose, BHBA, and PCV concentrations were not affected (P>0.05) by dietary treatments, whereas serum insulin concentration linearly increased (L, P = 0.002) with increasing the amount of CGLY supplementation. Ruminal pH, NH_3-N, and BUN concentration were unchanged by dietary treatments, except for 20% of CGLY, NH_3-N, and BUN were lower (P<0.05) than for the diets 10% of CGLY, while the difference between the diets 0, 5, and 20% of CGLY were not significant. The amount of N absorption and retention were similar among treatments. Based on this study, CGLY levels up to 20% in total mixed ration could be efficiently utilized for goats.

Experiment II. The objective of this study was to examine performance, carcass traits, muscle chemical composition, and blood metabolites of goats fed diets with different levels of crude glycerin. A total of 24 goats (17.4± 1.8 kg of initial BW) were randomly assigned to 4 CGLY levels (0, 5, 10, and 20% of TMR DM). The diets were fed for ad libitum intake. Goats were slaughtered after 91 d of study. Hot carcass weight, carcass traits were recorded. The area, Warner-Bratzler shear force, and muscle chemical composition were determined. CGLY level did not affect final BW, DMI, ADG, and feed efficiency (G:F). Similarly, carcass characteristics, and muscle chemical composition were unaffected by treatment. Also, no apparent effects on blood glucose and BHBA were detected, but serum insulin increased linearly as CGLY increased.

Total cost did not differ among treatments (P>0.05), but feed cost, and total cost per 1 kg BW gain decreased linearly as CGLY concentrations increased (L, P= 0.01 and 0.05, respectively). Whereas income over total cost increased linearly as CGLY concentrations increased (L, P= 0.04) when compared with the 0 % CGLY. We concluded that CGLY addition of up to 20% in diet of finishing goats did not negatively affect performance or carcass characteristics. Moreover, goats fed diet containing CGLY substitution for corn grain had lower feed cost/gain and higher profit.

Keywords: Crude glycerin, nutrient digestibility, growth performance, carcass characteristics, goat

สารบาญ

	เรื่อง	หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	(ก)
	บทคัดย่อภาษาไทย	(ข)
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ค)
	สารบาญ	(1)
	สารบาญตาราง	(2)
	สารบาญภาพ	(3)
บทที่ 1	1.1 บทนำ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
	1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
	1.5 ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	3
	1.6 หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	3
บทที่ 2	การตรวจเอกสาร	4
	2.1 สถานการณ์การผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทย	4
	2.1.1 การผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทย	4
	2.1.2 การผลิต และรูปแบบการเลี้ยงแพะในประเทศไทย	5
	2.1.3 อาหารและประสิทธิภาพในการใช้อาหารของแพะ	7
	2.1.4 สมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะที่เลี้ยงแบบขังคอก	8
	2.1.5 ผลของแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารข้นต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ	10
	2.1.6 คุณภาพซาก และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะและคุณภาพซากของแพะ	11
	2.1.7 คุณภาพเนื้อ	14
	2.1.8 คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อ	14
	2.1.9 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ	16
	2.2 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	17
	2.2.1 เมแทบอลิซึมของโปรตีนในกระเพาะรูเมน	17
	2.2.2 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน	18
	2.2.3 นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน	19
	2.3 สถานการณ์การเพิ่มการผลิตไบโอดีเซล และกลีเซอรีน	20
	2.3.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	20
	2.3.2 กลีเซอรีน และคุณสมบัติ	21
	2.3.3 การเพิ่มการผลิตไบโอดีเซล และกลีเซอรีน	23

สารบาญ (ต่อ)

	เรื่อง	หน้า
	2.2.4 องค์ประกอบของกลีเซอรีน	26
	2.2.5 การใช้กลีเซอรีนในปศุสัตว์	27
	2.4 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้กลีเซอรีนในอาหารสัตว์	31
	2.4.1 การใช้กลีเซอรีนดิบในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง	31
	2.4.2 ผลการใช้กลีเซอรีนดิบในโคเนื้อ และโคนม	31
	2.4.3 ผลการใช้กลีเซอรีนดิบในแกะ	33
	2.4.4 ผลการใช้กลีเซอรีนดิบในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง	34
บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	36
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์	45
	การทดลองที่ 1 การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมักและสมดุลไนโตรเจนในแพะ	45
	การทดลองที่ 2 การศึกษาการเจริญเติบโตและคุณภาพซากในแพะเนื้อ	68
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	82
บทที่ 6	เอกสารอ้างอิง	84
บทที่ 7	ภาคผนวก	101
	ภาคผนวก ก	101
	ภาคผนวก ข	104
	ภาคผนวก ค	107

สารบาญตาราง

Table		Page
2.1	Distribution of beef, dairy cattle, buffalo, goat, and sheep numbers in Thailand (million heads) 2007-2011	4
3.1	Ingredients and chemical composition of goat diets containing increasing amounts of crude glycerin (% DM basis)	37
4.1.1	Characterization and physicochemical parameter of crude glycerin of crude palm oil (CPO)	45
4.1.2	Characterization of crude glycerin from crude palm oil (CPO)	47
4.1.3	Characterization of crude glycerin from crude palm oil (CPO)	48
4.1.4	Chemical composition of the experimental diets and plicatulum hay	50
4.1.5	Chemical composition of the experimental diets	51
4.1.6	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on feed intake of goats (Exp. 1)	53
4.1.7	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on feed intake of goats (Exp. 1)	55
4.1.8	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on rumen fermentation of goats (Exp. 1)	56
4.1.9	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on rumen fermentation of goats (Exp. 1)	57
4.1.10	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on blood metabolites in goats (Exp. 1)	59
4.1.11	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on volatile fatty acid profiles in goats (Exp. 1)	61
4.1.12	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on rumen microbes in goats (Exp. 1)	64
4.1.13	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on feed intake of goats (Exp. 1)	66
4.2.1	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on performance and DMI of finishing goats (Exp. 2)	68
4.2.2	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on slaughtered carcass characteristics of finishing goats (Exp. 2)	71
4.2.3	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on body and gut composition of finishing goats (Exp. 2)	73
4.2.4	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on carcass composition of finishing goats (Exp. 2)	74

สารบาญตาราง (ต่อ)

Table		Page
4.2.5	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on chemical composition and physical properties of *Longissimus dorsi* muscle of finishing goats (Exp. 2)	75
4.2.6	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on fatty acid (FA) profiles (% of total FA) in *Longissimus dorsi* muscle of finishing goats (Exp. 2)	78
4.2.7	Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on blood metabolite and hormone concentrations of finishing goats (Exp. 2)	79
4.2.8	Effects of increasing concentrations of crude glycerin in the diet on economical return of finishing goats (Exp. 2)	81

สารบาญภาพ

Figure		Page
2.1	Utilization of protein and carbohydrates by rumen bacteria	17
2.2	Outline of the pathways of carbohydrate in the rumen	18
2.3	Chemistry of transesterification process	21
2.4	The chemical formula for glycerin	21
2.5	Biodiesel production: transesterification reaction of triglyceride to biodiesel with methanol	24
2.6	Transeterification of vegetable oil with methanol	24
2.7	Biodiesel production from 2000-2006 in the United States (National Biodiesel Board)	25
2.8	Biodiesel Plants in the United States in 2008 (Centers for Agricultural and Rural Development)	25
2.9	Proposed metabolism of glycerol in ruminant animals	30
4.1.1	The color of crude glycerin samples is very apparent	46
4.1.2	The color of experimental diets at first week (WK_1)	52
4.1.3	The color of experimental diets at second week (WK_2)	52

บทที่ 1

ผลของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะกระบวนการหมัก สมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ

Effects of Crude Glycerin in Goat Ration on Nutrient Utilization, Rumen Fermentation, Nitrogen Balance and Growth Performance of Goats

1.1 บทนำ

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis*) เป็นพืชยืนต้นที่มีการปลูกได้เฉพาะในพื้นที่เขตร้อนชื้นของโลก (เส้นรุ้ง 10° N-S) ปัจจุบันมีประเทศที่ปลูกพืชชนิดนี้ จำนวน 42 ประเทศ การขยายตัวของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 30 ปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะในประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซีย สำหรับประเทศไทย ยังมีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันน้อยอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศดังกล่าว (1.4 ล้านไร่ หรือ 0.02% ของพื้นที่เก็บเกี่ยวทั้งโลก) (ธีระ, 2547) แต่ปัจจุบัน และแนวโน้มในอนาคตได้มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อตอบสนองการผลิตพลังงานทางเลือก (alternative energy) ในการแก้ไขปัญหาความต้องการใช้น้ำมันและพลังงานในประเทศที่สูงเพิ่มมากขึ้น และเป็นแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันในอนาคต ตลอดจนการได้รับการสนับสนุนจากนโยบายของรัฐบาลเพื่อให้การผลิตพืชน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก เช่น การผลิตไบโอดีเซล (biodiesel production) เป็นต้น

ไบโอดีเซล (biodiesel หรือ methyl esters) คือ พลังงานทดแทนธรรมชาติจากน้ำมันพืช หรือสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ นำมาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า transesterification โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (เมทานอล หรือเอทานอล) มีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็นไบโอดีเซล และกลีเซอรีนหรือกลีเซอรอลดิบ (crude glycerin หรือ crude glycerol) (ชาคริต และคณะ, 2545) ซึ่งกลีเซอรีนดิบ เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้หลักของกระบวนการหมักเอทานอล (Michnick et al., 1997) ปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการผลิตไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Crandell, 2004) และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า กลีเซอรีนดิบมีส่วนประกอบที่เป็นไขมัน (lipid) อยู่ประมาณ 25-35 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันที่พบคือ ปาล์มมิติก (palmitic, C16:0) สเตียริก (stearic, C18:0) โอเลอิก (oleic, C18:1) และลิโนเลอิก (linoleic, C18:2) มีแร่ธาตุปลีกย่อยที่พบ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส และกำมะถัน พบอยู่ในปริมาณ 4-163 ppm (Thompson and He, 2006) โดยกลีเซอรีนดิบที่มีส่วนประกอบของกลีเซอรีนบริสุทธิ์ 86.95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 3,625 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (Dozier et al., 2008) ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทให้พลังงานได้ (Cerrate et al., 2006; Donkin et al., 2009) และยังช่วยลดต้นทุนการผลิตมากกว่าแหล่งวัตถุดิบพลังงานอื่นๆ ที่มีราคาแพง เช่น กากถั่วเหลือง ปลายข้าว และข้าวโพด เป็นต้น

กลีเซอรีนดิบเป็นของเหลวหนืดมีสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นของเมทานอล หรือแอลกอฮอล์ที่เจือปนอยู่เล็กน้อย อาจจะมีสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณที่สูง ซึ่งลักษณะทางเคมีของกลีเซอรีนดิบจะแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบ หรือพืชน้ำมันที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

และชนิดของสารที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเคมี กลีเซอรีนดิบถ้านำมาผ่านกระบวนการกลั่นทำให้บริสุทธิ์จะได้กลีเซอรีนที่มีลักษณะที่ใสขึ้น และมีสิ่งปนเปื้อนน้อยลง (Dozier et al., 2008) และปลอดภัยสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ (FDA, 2007) ซึ่งกลีเซอรีนมีศักยภาพสามารถทดแทนวัตถุดิบในสูตรอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักได้บางส่วน เพราะกลีเซอรีนสามารถถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดโพรพิโอนิค (propionic acid) ในกระเพาะรูเมน และเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์กลูโคสที่ตับโดยผ่านกระบวนการ gluconeogenesis (Johns, 1953; Krehbiel, 2008) จากการศึกษาการใช้กลีเซอรีนในอาหารโคขุนพบว่า ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และลักษณะซากของโคขุน (Versemann et al., 2008; Mach et al., 2009; Parsons et al., 2009) และสามารถเสริมทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารโคนมได้ 15% (วัตถุแห้ง) โดยไม่มีผลต่อผลผลิต และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม (DeFrain et al., 2004; Donkin et al., 2009) ส่วนในแกะขุน Musselman et al. (2008) รายงานการใช้กลีเซอรีนที่ระดับ 0, 15, 30 และ 45% ของวัตถุแห้ง พบว่าสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากยังมีความผันแปร แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้กลีเซอรีนที่ระดับมากกว่า 30% ขณะที่ ระดับ 0-15% ไม่มีความแตกต่างกัน (Gunn et al., 2010a, b)

อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยมีการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมี และการใช้ประโยชน์ได้ของกลีเซอรีนดิบเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องน้อยมาก โดยเฉพาะการใช้ในอาหารแพะ จากหลักการ และเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงคุณค่าทางอาหารในสูตรอาหารแพะต่อการย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน สมดุลไนโตรเจน สมรรถภาพการเจริญเติบโต และลักษณะซาก เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้ระดับที่เหมาะสมในสูตรอาหารแพะ ตลอดจนเพื่อจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้ในการเพิ่มคุณภาพอาหารสัตว์เพื่อส่งเสริมการแปรรูปและพัฒนาคุณภาพอาหารสัตว์ในระดับอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของกลีเซอรีนดิบ และผลการเสริมกลีเซอรีนดิบระดับต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ประชากรจุลินทรีย์ สมดุลไนโตรเจน สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแพะเนื้อ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของกลีเซอรีนดิบ และผลการเสริมกลีเซอรีนดิบระดับต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ประชากรจุลินทรีย์ สมดุลไนโตรเจน สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแพะเนื้อ

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การศึกษาวิจัย และพัฒนาการใช้ทรัพยากรอาหารสัตว์ที่มีศักยภาพในท้องถิ่น (local feed resources) หรือวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตรที่มีราคาถูก มาใช้ประโยชน์หรือทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีราคาแพง หรือขาดแคลน เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้การผลิตสัตว์มีต้นทุนต่ำลง เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์สามารถแข่งขันได้ ซึ่งกลีเซอรีนดิบ เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

ตามปริมาณการผลิตไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า กลีเซอรีนดิบมีกลีเซอรีนบริสุทธิ์ประมาณ 86.95% ของกลีเซอรีน และมีส่วนประกอบที่เป็นไขมัน มีแร่ธาตุปลีกย่อยที่พบ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทให้พลังงานได้ โดยมีสมมุติฐานคือ

1.4.1 การใช้กลีเซอรีนดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเป็นจำนวนมาก สามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทให้พลังงาน เช่น ข้าวโพดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยลดต้นทุน และเพิ่มการใช้วัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือทางการเกษตรเป็นอาหารสัตว์ได้อย่างดีมีประสิทธิภาพ

1.4.2 การเสริมกลีเซอรีนดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแปรรูปร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆ เป็นอาหารข้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อเพิ่มผลผลิต และคุณภาพของเนื้อ และนมสามารถปฏิบัติได้โดยใช้อาหารสัตว์ในท้องถิ่น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ

ทราบถึงผลการเสริมกลีเซอรีนดิบระดับต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ประชากรจุลินทรีย์ สมดุลไนโตรเจน สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแพะเนื้อ และสามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการ วารสารทางวิชาการทั้งระดับประเทศ และนานาชาติ

1.6 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- สถาบันการศึกษาทางการเกษตร และเกษตรกรทั่วไป

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ศึกษาเกี่ยวกับผลของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก สมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.1 สถานการณ์การผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง และการผลิตแพะในประเทศไทย

2.2 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.3 สถานการณ์การเพิ่มการผลิตไบโอดีเซล และกลีเซอรีน

2.4 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้ประโยชน์กลีเซอรีน

2.1 สถานการณ์การผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทย

2.1.1 การผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทย

ปัจจุบันการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องในเมืองไทยมีการขยายเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะมีความต้องการบริโภคทั้งเนื้อ และนมเพิ่มขึ้นทุกปี อีกทั้งนโยบายของรัฐบาลได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการเลี้ยงสัตว์เพิ่มมากขึ้น โดยได้มีการบรรจุไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติตั้งแต่ฉบับที่ 6-11 (พ.ศ. 2530-2559) อย่างเด่นชัด โดยมียุทธศาสตร์ ดังนี้

1) ถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยการส่งเสริม และพัฒนาอาชีพ

2) ปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานทางการเกษตรโดยพัฒนาแหล่งน้ำ

3) ระบบสนับสนุนและช่วยเหลือ โดยการจัดการหาแหล่งเงินทุนให้เกษตรกร และหาอาชีพเสริมในครัวเรือน

ดังนั้น เมื่อมาดูถึงขีดความสามารถในการผลิตของสัตว์เคี้ยวเอื้องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2554 (Table 2.1) พบว่า ประชากรโคเนื้อ โคนม แพะ และแกะ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2554 ยกเว้น กระบือที่ประชากรลดลง

Table 2.1 Distribution of beef, dairy cattle, buffalo, goat, and sheep numbers in Thailand (million heads) 2007-2011

Years	Beef cattle	Dairy cattle	Buffaloes	Goat	Sheep
2007	6.48	4.95	1.60	0.44	0.050
2008	6.70	4.94	1.74	0.37	0.043
2009	6.65	4.95	1.69	0.38	0.040
2010	6.50	5.25	1.67	0.38	0.043
2011	5.89	5.56	1.62	0.42	0.051

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2556)

เมื่อมาดูศักยภาพต่อการผลิตของสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็กภายในประเทศ และเป็นสินค้าส่งออกไปยังต่างประเทศ พบว่าแพะ และแกะในปี พ.ศ. 2553–2554 มีประชากรเพิ่มขึ้นจาก 380,904 ตัว เป็น 427,567 ตัว และ 43,404 ตัว เป็น 51,151 ตัว ตามลำดับ (กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ, 2555) โดยในปี พ.ศ. 2554 มีจำนวนแพะ

ทั้งหมด 427,567 ตัว เป็นแพะเนื้อ จำนวน 394,204 ตัว คิดเป็น 92% และแพะนมจำนวน 33,363 ตัว คิดเป็น 8% ตามลำดับ ขณะที่ จำนวนแกะในปี พ.ศ. 2554 ได้เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2553 จำนวน 8,596 ตัว โดยเพิ่มขึ้นคิดเป็น 19.93% ตามลำดับ

ดังนั้น เพื่อจะส่งเสริมธุรกิจการผลิตเนื้อที่มีคุณภาพดีจากแพะ แกะ โคเนื้อ และนมคุณภาพดีจากโคนม และลดการนำเข้าจากต่างประเทศ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาองค์ความรู้ในด้านอาหารสัตว์ให้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากอาหารนับได้ว่าเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิต ตลอดจนผลตอบแทนความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ในขณะที่ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งของโปรตีน และพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ กากถั่วเหลือง และข้าวโพดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากกากถั่วเหลือง และข้าวโพดเป็นสินค้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่นำเข้ามาเพื่อผลิตเป็นน้ำมันสำหรับบริโภค และใช้เป็นแหล่งพลังงานในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ส่งผลต้นทุนการผลิตสัตว์สูงขึ้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาวัตถุดิบชนิดอื่นที่มีคุณค่าทางโภชนะที่ใกล้เคียงกัน แต่มีราคาถูกกว่า และหาได้ง่ายในท้องถิ่นมาทดแทน

2.1.2 การผลิต และรูปแบบการเลี้ยงแพะในประเทศไทย

แพะ (*Capra hircus*) และมีชื่อเรียกเป็นภาษาสามัญว่า goat แพะที่เลี้ยงกันอยู่ในปัจจุบัน คือแพะบ้าน (domestic goat) ซึ่งเป็นแพะที่ได้รับการพัฒนามาจากแพะป่า (wild goat) ในกลุ่ม Bezoar เป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก จะพบอยู่ทั่วไปในประเทศที่กำลังพัฒนา ยุโรปตอนใต้ เอเชีย เอธิโอเปีย อาระเบียตอนใต้ และอินเดียตอนใต้ และเมื่อพิจารณาการบริโภคเนื้อแพะพบว่า มีมากที่สุดในแถบทวีปเอเชีย และแอฟริกา โดยเฉพาะในประเทศอินเดีย ปากีสถาน และบังคลาเทศ มีการผลิตแพะประมาณหนึ่งในสามของการผลิตสัตว์ชนิดอื่นๆ และการบริโภคเนื้อแพะมีมากในชุมชนที่ไม่บริโภคเนื้อสุกร ได้แก่ ชาวมุสลิม และชาวยิว หรือชุมชนที่ไม่บริโภคเนื้อโค (Dhanda et al., 2003a) เช่น ชาวฮินดู ซึ่ง Devendra and Burns (1983) รายงานว่า ความต้องการเนื้อแพะมีเกือบทุกส่วนในเขตร้อน และส่วนอื่นๆ ของทวีปแอฟริกา ที่ชอบรับประทานเนื้อแพะมากกว่าเนื้อแกะ ทำให้ในปัจจุบันจำนวนประชากรแพะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ถ้าเปรียบเทียบกับสัตว์เคี้ยวเอื้องที่เป็นสัตว์เศรษฐกิจ เช่น โค กระบือ และแกะ พบว่าแพะมีสัดส่วนประมาณ 16% ของสัตว์เคี้ยวเอื้องในโลก และประเทศอินเดียเป็นประเทศมีการเลี้ยงแพะมากที่สุดในโลก คือมากกว่า 15% ของแพะทั้งหมด

พันธุ์แพะในโลกที่มีการเลี้ยงมีประมาณ 74 พันธุ์ แบ่งเป็นพันธุ์แพะที่เลี้ยงเพื่อการผลิตเนื้ออย่างเดียวประมาณ 16 พันธุ์ และที่เหลือเกือบทั้งหมดเป็นพันธุ์กึ่งเนื้อกึ่งนม ส่วนที่เป็นพันธุ์นมนั้นมีอยู่เพียงไม่กี่พันธุ์ แพะพันธุ์เนื้อที่สำคัญคือ พันธุ์บอร์ (Boer) นูเบียน (Nubian) ฟีเจียน (Fijian) และสิโรหิ (Sirohi) เป็นต้น (สมเกียรติ, 2528ก) ส่วนมากแล้วเนื้อแพะที่ใช้บริโภคกันอยู่ในแถบเอเชีย และแอฟริกามักมาจากแพะลูกผสมระหว่างพันธุ์นมจากยุโรปกับพันธุ์พื้นเมืองของประเทศต่างๆ เช่น ลูกผสมระหว่างแพะพื้นเมืองกัตจาง (Katjang) ที่พบในประเทศมาเลเซียกับพันธุ์แองโกลนูเบียน (Devendra and Burns, 1983) และเนื่องจากแพะเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีขนาดเล็ก สามารถกินอาหารได้หลายประเภท และไม่ค่อยเลือกกินอาหาร มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี ง่ายต่อการเลี้ยงดู และเจริญเติบโตขยายพันธุ์ได้เร็วจนกระจายไปทุกประเทศทั่วโลก ในขณะเดียวกัน แพะแต่ละกลุ่มก็ได้รับการพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมต่อภูมิประเทศ หรือสภาพแวดล้อม และให้เหมาะสมต่อความต้องการของแต่ละชุมชนด้วย โดย

วัตถุประสงค์ในการเลี้ยงจะแตกต่างกันออกไป สำหรับเกษตรกรในประเทศไทยนิยมเลี้ยงแพะพันธุ์พื้นเมือง โดยเลี้ยงไว้เพื่อบริโภคเนื้อเป็นหลัก (สมเกียรติ, 2528ก)

การเลี้ยงแพะในประเทศไทยมีมานานแล้ว มีการเลี้ยงกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ส่วนใหญ่เลี้ยงเพื่อใช้ในการบริโภคทั้งเนื้อ และนม แต่นิยมเลี้ยงกันมากในภาคใต้ โดยพบในหมู่ชุมชนชาวมุสลิม (ประมาณ 95%) (สมเกียรติ, 2528ข; วินัย, 2542) คนไทยเชื้อสายจีน คนไทยเชื้อสายอินเดีย และปากีสถาน แต่ก็เป็นส่วนน้อย ซึ่งการเลี้ยงยังเป็นอาชีพรอง หรืออาชีพเสริมเท่านั้น เช่น เลี้ยงไว้ใต้ถุนบ้าน ในสวนริมบ้าน ในนา ในสวนยางพารา ในสวนมะพร้าว หรือในสวนผลไม้อื่นๆ ส่วนที่จะเลี้ยงจริงๆ เป็นอาชีพหลักนั้นมีน้อยมาก จะเลี้ยงกันระหว่าง 2–5 ตัว (ที่เลี้ยงจำนวนมากๆ เป็น 100 ตัวนั้น จะเป็นผู้เลี้ยงในลักษณะกึ่งพ่อค้ากึ่งเกษตรกรที่ได้รวบรวมซื้อแพะมาเป็นจำนวนมากๆ เพื่อรอจำหน่ายต่อไปอีกทอดหนึ่ง การเลี้ยงแพะในภาคใต้ถือเป็นส่วนหนึ่งในระบบสังคม และวัฒนธรรม 5 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเชื่อทางศาสนา ส่วนใหญ่จะเป็นชาวมุสลิมนิยมเลี้ยงกันไว้ประจำบ้าน ใต้ถุนเรือน หรือเลี้ยงไว้ไม่แสดงความเป็นเจ้าของ โดยปล่อยให้แพะหากินเองในหมู่บ้าน ตามถนนหนทาง ด้วยความศัทธา และความเชื่อมั่นในศาสนาว่า แพะเป็นสัตว์ที่เรียกว่า ***"บรีกัด"*** (แปลว่า สิ่งที่เป็นสิริมงคล) จึงเป็นสัตว์ชนิดเดียวที่ไม่เกิดกรณีขโมยแพะ เพราะถือว่าเป็นบาปอย่างร้ายแรง

สำหรับในปี พ.ศ. 2554 จำนวนแพะในประเทศไทยมีจำนวน 427,567 ตัว (กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ, 2555) เมื่อเปรียบเทียบเป็นรายภาค พบว่าภาคใต้มีแพะมากที่สุด (53.1%) รองลงมาคือ ภาคกลาง (24.4%) ภาคเหนือ (20.2%) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่ำสุด (2.3%) ตามลำดับ จังหวัดที่มีจำนวนแพะในปี พ.ศ. 2554 มากที่สุด คือ จังหวัดยะลา มีแพะจำนวน 41,036 ตัว คิดเป็น 9.60% รองลงมาคือ จังหวัดปัตตานี ประจวบคีรีขันธ์ สงขลา และนราธิวาส ตามลำดับ

แพะพื้นเมืองไทยมีรูปร่างลักษณะของร่างกายเช่นเดียวกับแพะพื้นเมืองในประเทศมาเลเซีย แต่แพะพื้นเมืองไทยที่เลี้ยงแบบพื้นบ้านจะมีขนาดลำตัวเล็กกว่าแพะพันธุ์แกมบิงกัตจาง (Kambing Katjang) ของประเทศมาเลเซีย และอินโดนีเซีย โดยมีดั้งจมูกตั้งตรงเป็นสันจากระหว่างตาจนถึงปลายจมูก ใบหูมีขนาดเล็ก และตั้งตรง สีขนไม่คงที่ เช่น สีดำปลอด สีน้ำตาลแถบดำ สีเทา หรือสีน้ำตาลทั้งตัว หรือแบบสีผสมเพศผู้จะมีขนยาวตั้งชันเป็นแผงที่ส่วนบนของลำคอ และขนแนวสันหลังมีสีน้ำตาล และดำ บางตัวอาจมีสีขาว หรือเหลืองปะปนลำตัวด้วย เพศผู้ส่วนใหญ่จะมีเครา ตัวเมียจะมีน้อย มีเขาทั้งเพศผู้ และเพศเมีย (สมเกียรติ และคณะ, 2544) และจากการศึกษาของสุรศักดิ์ และคณะ (2544) รายงานว่า แพะพื้นเมืองไทยมีขนสีน้ำตาล สีดำ สีขาว และสีน้ำตาล-ขาว 65, 13.1, 6.6 และ 6.6% ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบแพะพันธุ์นี้ในประเทศอินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ สำหรับแพะพันธุ์ต่างประเทศที่นำเข้ามาทดลองเลี้ยงในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์ซาเนน (Saanan) เพื่อการผลิตนม และแพะพันธุ์บอร์ (Boer) แพะพันธุ์แองโกลนูเบียน (Anglo-Nubian) และพันธุ์จามนาปารี (Jamnapari) เลี้ยงเพื่อการผลิตเนื้อเป็นหลัก

แพะเป็นสัตว์ที่เลี้ยงง่าย หากินเก่ง กินอาหารได้หลายประเภท และทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ทุรกันดารได้ดี โดยทั่วไปลักษณะการเลี้ยงแพะในชนบทไทยมี 3 วิธี คือ 1) เลี้ยงแบบปล่อย 2) เลี้ยงแบบผูกล่าม และ 3) เลี้ยงแบบขังคอก ในบางท้องที่จะใช้วิธีการเลี้ยงแพะแบบผสมผสานกันทั้ง 3 วิธี (สมเกียรติ, 2528ข) ขณะที่ บุญเสริม (2546) รายงานว่า ระบบการเลี้ยงแพะในประเทศไทยสามารถแบ่งได้ 4 ระบบ ได้แก่

1) ระบบการเลี้ยงแบบขังคอก หรือเกี่ยวหญ้าให้กิน (cut and carry) ระบบนี้มีการจัดการที่ค่อนข้างดี โดยผู้เลี้ยงจุต้องหาอาหารและน้ำให้สัตว์กิน จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะสิ้นเปลืองแรงงาน และเงินทุน แต่อาจจะพบได้ในการเลี้ยงแพะนม

2) ระบบการเลี้ยงแบบปล่อย (extensive grazing หรือ free-to-roam) ผู้เลี้ยงจะปล่อยให้แพะออกหากินโดยอิสระในช่วงเช้า-บ่าย และจะนำสัตว์เข้าคอกในช่วงเย็น

3) ระบบการเลี้ยงแบบผูกล่าม (tethering) ผู้เลี้ยงจะใช้เชือกผูกคอสัตว์ไว้กับเสาหลัก หรือต้นไม้ที่มีหญ้าให้สัตว์กินอย่างเพียงพอ และมีการเคลื่อนย้ายพื้นที่ที่สัตว์เล็มกินหญ้าไปเรื่อยๆ ระบบนี้เหมาะกับการเลี้ยงแพะจำนวนไม่มากนัก

4) ระบบการเลี้ยงแบบผสมผสาน (integration with tree plantation) เช่น การเลี้ยงแพะในสวนยางพารา สวนมะพร้าว สวนปาล์มน้ำมัน ซึ่งการเลี้ยงแบบนี้จะพบมากในภาคใต้ของไทย

การเลี้ยงแพะส่วนใหญ่ของเกษตรกรเกือบทั้งหมด (95%) ซึ่งเลี้ยงไว้ 2–5 ตัว นิยมเลี้ยงแบบปล่อยอิสระ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการเลี้ยงแบบตามยถากรรม ไม่มีคอกแพะให้อยู่อาศัย แพะทุกตัวที่เลี้ยงจะต้องช่วยตัวเองทุกอย่างเพื่อความอยู่รอดชีวิต เสาะหาหญ้า ใบไม้ หรือสิ่งที่กินได้ด้วยตัวเอง หาที่นอนหรืออาศัยหลบแดด บังฝนเอง ส่วนใหญ่ ได้แก่ ใต้ถุนเรือน หรือยุ้งฉาง และใต้ร่มไม้ชายคา กรณีที่เลี้ยงมากกว่า 6 ตัว แต่ไม่เกิน 10 ตัว ผู้เลี้ยงอาจทำคอกที่อยู่อาศัยบ้างเพียงบังแดด และฝนเท่านั้น องค์ประกอบอื่นไม่มี แต่สำหรับผู้เลี้ยงมากกว่า 10 ตัว จะปลูกสร้างคอกแข็งแรงมั่นคง และเป็นคอกขังแบบรวม แต่ในปัจจุบันได้มีเกษตรกรบางรายได้ปรับปรุง และพัฒนาการเลี้ยงแพะให้ดีขึ้น โดยมีการสร้างโรงเรือนที่ถูกลักษณะนิสัยของแพะ และมีการปลูกหญ้าพันธุ์ดีสำหรับใช้ในการเลี้ยงแพะ

แพะส่วนใหญ่ที่เลี้ยงกันอยู่ในชนบทของประเทศไทย เป็นแพะพื้นเมือง การเลี้ยงแพะโดยทั่วไป จึงอาศัยอาหารที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติไม่มีการให้อาหารเสริม (สมเกียรติ, 2528ก) ซึ่งการเลี้ยงแพะให้ได้ผลผลิตดีนั้น แพะจะต้องได้รับโภชนะที่จำเป็นในระดับที่เหมาะสม และผู้เลี้ยงต้องมีความเข้าใจระบบการย่อยอาหารของแพะ ความต้องการโภชนะสำหรับผลผลิตระดับต่างๆ ปัจจัยที่มีผลต่อความอยากอาหาร หรือปริมาณอาหารที่แพะจะกินได้เอง และองค์ประกอบ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารชนิดต่างๆ อาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง ที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของแพะซึ่ง Sengar (1975) รายงานการศึกษาระดับของอาหาร (พลังงาน-โปรตีน) 3 แบบ คือ พลังงานและโปรตีนระดับสูง พลังงานและโปรตีนระดับกลาง และพลังงานและโปรตีนระดับต่ำ พบว่าในแพะพันธุ์บาร์บาริในช่วง 2 อายุที่ทดลอง (0-6 เดือน) และ (0-14 เดือน) แพะที่ได้รับอาหารพลังงาน และโปรตีนระดับสูง และพลังงาน และโปรตีนระดับกลาง มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าแพะกลุ่มที่ให้พลังงาน และโปรตีนระดับต่ำกว่า

2.1.3 อาหาร และประสิทธิภาพในการใช้อาหารของแพะ

แพะเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องคล้ายโค มีกระเพาะรูเมนซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในช่วยย่อยอาหาร และสังเคราะห์วิตามิน ปกติแพะมีความต้องการอาหารหยาบ เช่น หญ้าสดต่างๆ ในปริมาณวันละประมาณ 10% ของน้ำหนักตัวแพะ และต้องการอาหารข้นประมาณวันละ 0.5–1.0 กิโลกรัม นอกจากนั้น แพะยังต้องการน้ำ และแร่ธาตุเสริมเป็นประจำอีกด้วย แพะต้องการน้ำกินวันละประมาณ 5–9 ลิตร ความต้องการน้ำมากน้อยขึ้นอยู่กับสภาพตัวแพะ และภูมิอากาศ เกษตรกรที่เลี้ยงแพะแบบพื้นบ้านมักไม่ค่อยคำนึงถึงเรื่องการจัดหาน้ำให้แพะกิน จึงทำให้มีปัญหาแพะเจ็บป่วยอยู่เสมอ สำหรับแร่ธาตุที่ให้แพะกิน ผู้เลี้ยงจะให้แร่ธาตุก้อนสำเร็จรูปที่มีขายอยู่ให้แพะกินก็ได้ แต่

ควรคำนึงด้วยว่าแร่ธาตุก้อนนั้นไม่ควรแข็งเกินไป ทั้งนี้ลิ้นของแพะสั้นกว่าลิ้นของโค การเลียแร่ธาตุแต่ละครั้งจึงได้ปริมาณที่น้อย หากจะมีการผสมแร่ธาตุสำหรับเลี้ยงแพะเองก็สามารถทำได้ เพื่อให้แพะมีผลผลิตที่สูงนั้นแพะต้องได้รับอาหารที่มีทั้งปริมาณและคุณภาพที่ดี หากแพะได้รับโภชนะต่างๆ มากเกินไปก็มีผลเสียคือ การสืบพันธุ์ต่ำ ซากมีปริมาณไขมันมากเกินไป และต้นทุนการผลิตสูง (วินัย, 2542) สำหรับชนิดของอาหารที่แพะได้รับแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ อาหารหยาบ และอาหารข้น

2.1.3.1 อาหารหยาบ

อาหารหยาบ หรืออาหารเยื่อใยหมายถึง พืชอาหารสัตว์ หรือผลพลอยได้ของพืชอาหารสัตว์ที่มีความเข้มข้นของโภชนะ (net energy, NE) ต่อหน่วยน้ำหนักต่ำ และมีเยื่อใยสูง (มากกว่า 18% และ TDN น้อยกว่า 50-60 %) หรือมีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง (NDF) มากกว่า 35% มีการย่อยได้ต่ำ (Kearl, 1982) เป็นอาหารหลักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ruminant) และสัตว์กินพืช (herbivores) นับว่ามีบทบาท และมีความสำคัญยิ่งต่อประสิทธิภาพการผลิตสัตว์ อาหารเยื่อใยโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ (เมธา, 2533)

1. พืชอาหารสัตว์ (forages, forage crops) หมายถึง พืชตระกูลหญ้า (Gramineae) และพืชตระกูลถั่ว (Leguminoseae) ที่ปลูกเพื่อวัตถุประสงค์หลักในการใช้ลำต้น และใบในสภาพสด หรือแห้งเป็นอาหารหลักของสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ โดยไม่เกิดอันตรายมี 2 ชนิด คือ pasture crops และ fodder crops

2. ผลพลอยได้ทางการเกษตร (crop-residues) เป็นผลพลอยได้จากการเก็บเกี่ยวพืชในฤดูกาลต่างๆ เช่น ฟางข้าว ต้นและเปลือกข้าวโพดฝักอ่อน ต้นข้าวโพดหวาน ยอดอ้อย ต้นและใบมันมันสำปะหลังแห้ง (มันเฮย์หรือ cassava hay, CH) เป็นต้น

2.1.3.2 อาหารข้น

อาหารข้นเป็นอาหารที่มีความเข้มข้นของโภชนะต่อน้ำหนักสูง แต่มีปริมาณเยื่อใยต่ำ (น้อยกว่า 18%) สามารถย่อยได้ง่าย สัตว์กินเข้าไปเพียงเล็กน้อยก็ได้สารอาหารที่ร่างกายดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก ในการเลี้ยงแพะควรให้อาหารหยาบอย่างเต็มที่แล้วเสริมอาหารข้นเพื่อให้ได้รับโภชนะในส่วนที่ขาดไปให้เพียงพอกับความต้องการ การเสริมอาหารข้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูง ยิ่งสัตว์ให้ผลผลิตสูงเท่าใดก็ยิ่งต้องการอาหารข้นมากขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์มีความต้องการโภชนะสูง การได้รับอาหารหยาบเพียงอย่างเดียวแม้ว่าจะเป็นอาหารหยาบคุณภาพดี และให้กินเต็มที่ ก็ยังไม่สามารถให้โภชนะเพียงพอกับความต้องการของร่างกายได้ (บุญเสริม, 2546) อาหารข้นที่สำคัญ ได้แก่ รำ ปลายข้าว ข้าวโพด ปลาป่น กากถั่ว กากมะพร้าว เป็นต้น รวมทั้งอาหารแร่ธาตุ และวิตามินต่างๆ อาหารข้นเป็นอาหารที่คุณค่าทางอาหารสูง ทำให้สัตว์โตเร็ว แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ 1) พวกที่เป็นแหล่งพลังงาน 2) พวกที่เป็นแหล่งโปรตีน และ 3) พวกที่เป็นแหล่งแร่ธาตุ และวิตามิน

2.1.4 สมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะที่เลี้ยงแบบขังคอก

เนื่องจากการเลี้ยงแพะในปัจจุบันมีเป้าหมายหลักเพื่อจำหน่ายเป็นเนื้อแพะ ฉะนั้น การเลี้ยงแพะเพื่อจำหน่ายเนื้อ หรือการขุนแพะ จึงต้องการแพะที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง มีน้ำหนักตัวเมื่อจำหน่ายมาก มีลักษณะและองค์ประกอบซากที่ดี ซึ่งพันธุ์แพะ อาหาร หรือแม้แต่รูปแบบการเลี้ยงแพะจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และลักษณะซากของแพะ

การศึกษาวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการวิจัยที่เกี่ยวกับสภาพการเลี้ยง อาหารแพะ สมรรถภาพการผลิต และคุณลักษณะซากทั่วไป สมเกียรติ (2528ก) กล่าวว่า แพะกินอาหารได้หลายชนิด โดยจะชอบเลือกหาอาหารเอง และชอบแทะเล็มหญ้าที่แตกกอสูงกว่าระดับพื้นดินพอสมควร และ วินัย (2542) ที่กล่าวว่า แพะเป็นสัตว์ที่ฉลาด และชอบแทะเล็มในส่วนของใบ และยอดอ่อนของพืชชนิดต่างๆ

สุมน และประเสริฐ (2537) ได้ทดลองขุนแพะในคอก ด้วยหญ้าขนสดและอาหารข้นเต็มที่ โดยใช้แพะลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 62.50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้ อายุประมาณ 4 เดือน และแบ่งแพะออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ให้ข้าวโพดบด กลุ่มที่ 2 ให้มันเส้น 50 เปอร์เซ็นต์ และรำอ่อน 50 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 3 ให้มันเส้น 65 เปอร์เซ็นต์ รำอ่อน 15 เปอร์เซ็นต์ และใบกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการทดลอง 98 วัน ผลการศึกษาพบว่า อัตราการเจริญเติบโตของแพะทั้ง 3 กลุ่ม เฉลี่ยเท่ากับ 56.80, 45.92 และ 44.10 กรัมต่อวันตามลำดับ โดยแพะกินหญ้าขนสดและอาหารข้นรวมกันเท่ากับ 4.41, 4.15 และ 4.10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และมีประสิทธิภาพการใช้อาหารเท่ากับ 11.27, 13.29 และ 12.97 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าแพะกลุ่มที่ให้ข้าวโพดบดกินอาหารได้มากกว่า รวมทั้งมีอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มอื่นๆ นอกจากนี้ Pralomkarn et al. (1995) ได้ศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของแพะพื้นเมืองไทย และลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้หลังหย่านม ที่ได้รับหญ้าแห้ง (มีโปรตีนรวม 3.70 เปอร์เซ็นต์) วันละ 50 กรัม และได้รับอาหารข้น (มีโปรตีนรวม 18 เปอร์เซ็นต์) ต่างกัน 3 ระดับ คือ ระดับเพื่อการดำรงชีพ 1.20 และ 1.40 เท่าของระดับเพื่อการดำรงชีพ ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า แพะพื้นเมืองไทยกินอาหารในรูปวัตถุแห้งได้ใกล้เคียงกับแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ (46.50 และ 48.40 กรัมต่อน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการเจริญเติบโตของแพะทั้งสองยีโนไทป์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (61 และ 69 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม แพะที่ได้รับอาหารข้นเต็มที่ สามารถเจริญเติบโตได้ถึง 100 กรัมต่อวัน ในขณะที่แพะที่ได้รับอาหารข้นในระดับ 1.40 เท่าของระดับเพื่อการดำรงชีพ 1.20 เท่าของระดับเพื่อการดำรงชีพ และให้ในระดับเพื่อการดำรงชีพมีอัตราการเจริญเติบโต 76, 67 และ 13 กรัมต่อวัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อแพะได้รับอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำ และมีการเสริมอาหารข้น แพะพื้นเมืองไทย และลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน แต่การเสริมอาหารข้นเต็มที่จะทำให้แพะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าการเสริมในระดับต่ำ

เสาวนิต และคณะ (2543) ได้ศึกษาผลของระดับโปรตีน และพลังงานในอาหารข้นที่มีต่อการเจริญเติบโตหลังหย่านมของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เลี้ยงแบบขังคอก ซึ่งได้รับหญ้าแห้งวันละ 50 กรัม และได้รับอาหารข้นเต็มที่ โดยอาหารข้นมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) แตกต่างกัน 2 ระดับ (2,700 และ 2,900 กิโลแคลอรีต่ออาหาร 1 กิโลกรัม) และมีระดับโปรตีนรวมต่างกัน 3 ระดับ (10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์) พบว่าแพะมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 47.30 กรัมต่อวัน และไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ของอัตราการเจริญเติบโตระหว่างแพะที่ได้รับอาหารข้นที่มีระดับพลังงานและโปรตีนรวมต่างกัน สอดคล้องกับ สุรศักดิ์ และคณะ (2544) ที่ศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารข้นต่อการเจริญเติบโตของลูกแพะพื้นเมืองไทย และลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้หลังหย่านม ที่เลี้ยงแบบขังคอก และได้รับหญ้าสดเต็มที่ โดยแพะได้รับอาหารข้นที่มีระดับโปรตีนรวมต่างกัน (14 และ 18 เปอร์เซ็นต์) พบว่าแพะพื้นเมืองไทย และลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้รับหญ้าเพียงอย่างเดียวมีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติ (24.20 และ

20.50 กรัมต่อตัวต่อวัน (P>0.05) แต่เมื่อได้รับอาหารข้นที่มีโปรตีนรวม 14 เปอร์เซ็นต์ แพะลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าแพะพื้นเมืองไทยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (108.90 และ 77.20 กรัมต่อตัวต่อวัน) (P<0.05) และเมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีนรวม 18 เปอร์เซ็นต์ แพะลูกผสม และแพะพื้นเมืองไทยมีอัตราการเจริญเติบโต 106.90 และ 89.40 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ (P<0.05) แต่การเพิ่มระดับโปรตีนรวมในอาหารข้นจาก 14 เป็น 18 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของแพะเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด (P>0.05)

Solomon and Simret (2008) ได้ศึกษาผลการเสริมกากถั่วลิสงร่วมกับรำข้าวสาลีต่ออัตราการเจริญเติบโตของแพะพันธุ์โซมาลี (Somali) เพศผู้ โดยสุ่มแพะออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 6 ตัว ให้ได้รับหญ้าแห้งอย่างเต็มที่เสริมกากถั่วลิสงร่วมกับรำข้าวสาลี (3:1) 4 ระดับ คือ กลุ่มที่ 1 (ได้รับหญ้าแห้งเพียงอย่างเดียว) กลุ่มที่ 2 (ได้รับหญ้าแห้งเสริมกากถั่วลิสงร่วมกับรำข้าวสาลี 200 กรัม) กลุ่มที่ 3 (ได้รับหญ้าแห้งเสริมกากถั่วลิสงร่วมกับรำข้าวสาลี 300 กรัม) และกลุ่มที่ 4 (ได้รับหญ้าแห้งเสริมกากถั่วลิสงร่วมกับรำข้าวสาลี 400 กรัม) พบว่าแพะที่ได้รับหญ้าแห้งเสริมกากถั่วลิสงร่วมกับรำข้าวสาลี 400 กรัม มีปริมาณวัตถุแห้งและโปรตีนรวมที่กินได้ เท่ากับ 72.16 และ 17.19 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ สูงกว่าแพะที่ได้รับหญ้าแห้งเพียงอย่างเดียว (56.34 และ 3.94 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อตัวต่อวัน) แพะที่ได้รับหญ้าแห้งเสริมกากถั่วลิสงร่วมกับรำข้าวสาลี 200 กรัม (58.65 และ 10.20 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อตัวต่อวัน) และแพะที่ได้รับหญ้าแห้งเสริมกากถั่วลิสงร่วมกับรำข้าวสาลี 300 กรัม (66.66 และ 14.04 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อตัวต่อวัน) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

2.1.5 ผลของแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารข้นต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ

Chanjula et al. (2007a) ได้ทำการศึกษาผลของระดับยูเรียและมันเส้นในสูตรอาหารข้นต่อการย่อยได้ รูปแบบการหมักในกระเพาะรูเมน และสมดุลไนโตรเจนในแพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้ โดยใช้ยูเรีย และมันเส้นในสูตรอาหารข้น 4 ระดับ คือยูเรีย 0, 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับมันเส้น 30, 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าแพะทั้ง 4 กลุ่ม มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 705.6 และ 638.49 กรัมต่อวัน ตามลำดับ แต่ปริมาณการกินได้ของอาหารข้นมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับการเสริมยูเรียในสูตรอาหารข้นสูงถึง 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเป็นเพราะอาหารข้นที่มีระดับยูเรียเป็นส่วนผสมอยู่ในระดับสูงมีรสเฝื่อนไม่น่ากิน ส่วนสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ พบว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลสของแพะทั้ง 4 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 74.07-74.98, 77.23-78.00, 71.69-73.25, 60.54-62.52 และ 53.59-56.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Chanjula et al. (2007b) ศึกษาผลการใช้มันเส้นทดแทนข้าวโพดบดในอาหารข้นต่อการใช้ประโยชน์ของโภชนะ และนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนของแพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้ ให้ได้รับหญ้าเนเปียร์สดอย่างเต็มที่ *(ad libitum)* ร่วมกับอาหารข้นที่ใช้มันเส้นทดแทนข้าวโพดบด 0, 25, 50, 75 และ 100 พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลสของแพะทั้ง 5 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P>0.05) แต่แพะที่ได้รับอาหารข้นที่ใช้มันเส้นทดแทนข้าวโพด 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้

ของโปรตีนรวมจากอาหารข้นและปริมาณการกินได้ของโปรตีนรวมทั้งหมด ต่ำกว่าแพะที่ได้รับอาหารข้นที่ใช้มันเส้นทดแทนข้าวโพด 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม และโภชนะรวมที่ย่อยได้ของแพะทั้ง 5 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

ขวัญชนก และคณะ (2553) ศึกษาผลของระดับเยื่อในลำต้นสาคูในอาหารข้น ต่อการใช้ประโยชน์ของโภชนะ นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน สมรรถภาพการเจริญเติบโต และลักษณะซากของแพะพื้น-เมืองไทยเพศผู้ พบว่า แพะที่ได้รับอาหารข้นที่ใช้เยื่อในลำต้นสาคูทดแทนข้าวโพดบด 75 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณหญ้าพลิแคททูลั่มแห้งที่กินได้ 19.96 กรัมวัตถุแห้งต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อตัวต่อวัน และปริมาณอาหารทั้งหมดที่กินได้ 58.54 กรัมวัตถุแห้งต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อตัวต่อวัน สูงกว่าแพะที่ได้รับอาหารข้นที่ใช้เยื่อในลำต้นสาคูทดแทนข้าวโพดบด 0, 25, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (14.57, 14.41, 13.50 และ 14.95 กรัมวัตถุแห้งต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ และ 52.14, 52.45, 50.00 และ 52.96 กรัมวัตถุแห้งต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะและปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ พบว่าแพะที่ได้รับอาหารข้นที่ใช้เยื่อในลำต้นสาคูทดแทนข้าวโพดบด 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุ ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P>0.05$) แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของผนังเซลล์และลิกโนเซลลูโลสมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับเยื่อในลำต้นสาคูที่ใช้ทดแทนข้าวโพดบดในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตของแพะที่ได้รับอาหารข้นที่ใช้เยื่อในลำต้นสาคูทดแทนข้าวโพดบด 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (44.00, 32.23, 55.11 และ 40.89 กรัมต่อวัน ตามลำดับ) มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P>0.05$) กับแพะที่ได้รับอาหารข้นที่ใช้เยื่อในลำต้นสาคูทดแทนข้าวโพดบด 0 เปอร์เซ็นต์ (44.22 กรัมต่อวัน) สำหรับเปอร์เซ็นต์ซาก ความยาวซาก พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก เปอร์เซ็นต์กล้ามเนื้อ เปอร์เซ็นต์ไขมันซาก เปอร์เซ็นต์เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และสัดส่วนกล้ามเนื้อต่อกระดูกของแพะทั้ง 5 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ แพะที่ได้รับอาหารข้นที่ใช้เยื่อในลำต้นสาคูทดแทนข้าวโพดบด 25, 50, 75 และ100 เปอร์เซ็นต์ มีสัดส่วนซากสากลไม่แตกต่างกับแพะที่ได้รับอาหารข้นที่ใช้เยื่อในลำต้นสาคูทดแทนข้าวโพดบด 0 เปอร์เซ็นต์

2.1.6 คุณภาพซาก และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะ และคุณภาพซากของแพะ

ลักษณะ และคุณภาพซากของแพะมีความสำคัญต่อการประเมินราคาในการจำหน่ายแพะ ซึ่งอาจส่งผลให้กำไร-ขาดทุนในการผลิตแพะของเกษตรกรเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การผลิตแพะเพื่อให้ได้ลักษณะและคุณภาพของซากแพะที่ดีและสูง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ โดย McGregor (1984) ได้สรุป ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะซาก ดังนี้

1) น้ำหนักตัวมีชีวิตของแพะ แพะที่มีน้ำหนักตัวมาก มีน้ำหนักซาก และไขมันซากสูงกว่าแพะที่มีน้ำหนักตัวน้อย สอดคล้องกับ Faruk and Emin (2007) ที่ศึกษาผลของความแตกต่างของน้ำหนักฆ่าต่อสมรรถภาพ และลักษณะซากในระยะขุนของแกะพันธุ์คารายาคา (Karayaka) เพศผู้ ซึ่งแบ่งแกะออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 12 ตัว ตามน้ำหนักมีชีวิต คือ 35, 40 และ 45 กิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าแกะทั้ง 3 กลุ่ม มีน้ำหนักของหัว หนัง เท้า ปอด ตับ ไต ไขมันช่องท้อง ระบบทางเดินอาหาร และอัณฑะแตกต่างกันในทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ น้ำหนักของเนื้อแดง กระดูก ไขมัน ไขมันสันหลัง และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกมีค่าเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักฆ่าที่เพิ่มขึ้น

2) อายุของแพะ แพะที่มีอายุมากมีแนวโน้มน้ำหนักตัว และน้ำหนักซากมากกว่าแพะที่มีอายุน้อย

3) การหย่านมลูกแพะเร็ว มีผลทำให้การสะสมไขมันซากลดลง

4) แพะที่แทะเล็มแปลงหญ้าที่ไม่สมบูรณ์มีน้ำหนัก และการสะสมไขมันลดลง

5) การเสริมอาหารข้นแก่แพะ มีผลทำให้แพะมีน้ำหนักซาก และซากแพะมีไขมันเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น การเพิ่มโภชนะของอาหารที่แพะได้รับต่อวัน จะส่งผลให้แพะมีน้ำหนักซาก และเปอร์เซ็นต์ซากเพิ่มสูงขึ้น (Devendra, 1980)

นอกจากนี้ Devendra and Burns (1983) รายงานว่าลักษณะ และคุณภาพซากของแพะ ยังขึ้นอยู่กับพันธุ์ เพศ และอายุของแพะ โดยแพะที่มีน้ำหนักตัว และอายุมากมีน้ำหนักซากสูงกว่าแพะที่มีน้ำหนักตัว และอายุน้อยกว่า ในส่วนอิทธิพลของพันธุ์นั้น McGregor (1984) รายงานว่า แพะพันธุ์เนื้อมีลักษณะซากที่ดีกว่าแพะพันธุ์นม และมีสัดส่วนเนื้อแดงต่อกระดูกเมื่อเทียบจากน้ำหนักตัวเมื่อหักสิ่งตกค้างภายในระบบทางเดินอาหารออก (empty body weight) แตกต่างกันตามแต่ละพันธุ์ คือ แพะนม จัมนาปารี บาร์บารี และบอร์ โดยมีค่าเท่ากับ 2.7, 3.8, 4.9 และ 4.7 ตามลำดับ

วสันต์ และสุวรรณี (2546) ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของแพะพื้นเมือง และแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย x แองโกลนูเบียน 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้ที่เลี้ยงปล่อยแทะเล็มในแปลงหญ้าพลิแคททูลัม (*Paspalum plicattulum*) และเสริมอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน 3 ระดับ (12, 14 และ 18 เปอร์เซ็นต์) พบว่าแพะลูกผสมพื้นเมืองไทย x แองโกลนูเบียน 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าแพะพื้นเมือง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า แพะที่ได้รับการเสริมอาหารข้นที่มีโปรตีนรวม 14 และ 18 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่า (87.2 และ 99.3 กรัม/วัน) แพะกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่โปรตีนรวม 12 เปอร์เซ็นต์ (61.7 กรัม/วัน) อาจเนื่องมาจากแพะได้รับโปรตีนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตมากขึ้น ทำให้สามารถเพิ่มศักยภาพในการเจริญเติบโตได้ ในขณะที่ แพะที่ได้รับอาหารข้นมีโปรตีนรวม 14 และ 18 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) อาจเนื่องจากการเสริมอาหารข้นในระดับโปรตีนรวม 14 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของตัวแพะ ขณะที่ Naqpal et al. (1995) ได้ศึกษาผลของระบบการให้อาหาร (intensive และ semi-intensive) ต่อการเจริญเติบโตของแพะเพศผู้ 3 พันธุ์ คือ Sirohi, Mavari และ Kutchi และได้รับอาหารข้น 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และปล่อยให้แพะลงแทะเล็มในแปลงหญ้า Zizyphus nummularia เป็นเวลา 8 ชั่วโมง/วัน พบว่าแพะที่เลี้ยงแบบประณีตมีน้ำหนักตัวมากกว่าแพะที่เลี้ยงแบบกึ่งประณีตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (15.4 และ 14.7 กิโลกรัม ตามลำดับ) และอัตราการเจริญเติบโตของแพะที่เลี้ยงแบบประณีตสูงกว่าแพะที่เลี้ยงแบบกึ่งประณีตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (88 และ 74 กรัม/ตัว/วัน) ตามลำดับ

Mourad et al. (2000) ได้ศึกษาลักษณะซากของแพะเพศผู้ เพศผู้ตอน และเพศเมียของแพะพันธุ์ West African dwarf goats หลังอย่านม (อายุ 3 เดือน) พบว่า น้ำหนักซาก และเปอร์เซ็นต์ซากของแพะเพศผู้ เพศผู้ตอน และเพศเมียไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่ความยาวซากของแพะเพศผู้ และแพะเพศผู้ตอน (46.7 และ 46.81 เซนติเมตร) สูงกว่าแพะเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และแพะเพศผู้ตอนมีการสะสมของไขมันแทรกระหว่างมัดกล้ามเนื้อ (intermuscular fat) (1.73%) สูงกว่าแพะเพศผู้ไม่ตอน และแพะเพศเมีย (0.87 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่ Koyuncu et al. (2006) ได้ศึกษาผลของการตอนต่ออัตราการเจริญเติบโตลักษณะซากของแพะพันธุ์ Turkish hair ที่เลี้ยงโดยให้แพะได้รับอาหารข้นโปรตีนรวม 17.9 เปอร์เซ็นต์ และถั่วอัลฟัลฟ่าแห้ง อย่างเต็มที่พบว่า แพะที่ไม่ตอนมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสูงกว่าแพะที่ตอน (102.3 และ 76.6 กรัม/วัน ตามลำดับ) เปอร์เซ็นต์ซากในฐาน empty body weight ของแพะในกลุ่มที่ไม่ตอน ต่ำ

กว่าแพะกลุ่มที่ตอน (51.2 และ 55.6 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และในกลุ่มที่ตอนมีเปอร์เซ็นต์ไขมันรวม (ไขมันในช่องท้อง และไขมันในกล้ามเนื้อ) (9.56 เปรียบเทียบกับ 7.06 เปอร์เซ็นต์) และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง (56.50 เปรียบเทียบกับ 52.05 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าแพะกลุ่มที่ไม่ตอน ตามลำดับ แต่พบว่าแพะทั้ง 2 กลุ่ม มีเปอร์เซ็นต์กระดูกไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$)

Dhanda et al. (2003b) ทำการศึกษาอิทธิพลของพันธุ์ และน้ำหนักฆ่าต่ออัตราการเจริญเติบโต และลักษณะซากของแพะลูกผสมเพศผู้ 6 พันธุ์ คือ Bore × Angora (BA), Bore × Feral (BF), Bore × Saanan (BS), Feral × Feral (FF), Saanan × Angora (SA) และ Saanan × Feral (SF) และฆ่าที่น้ำหนัก 2 ช่วง คือ Capretto (14-22 กิโลกรัม) กับ Chavon (30-35 กิโลกรัม) ผลการศึกษา พบว่าแพะลูกผสม BS มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด แพะลูกผสมในกลุ่ม Chavon มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (119 กรัมต่อวัน) ต่ำกว่าแพะลูกผสมในกลุ่ม Capretto (171 กรัมต่อวัน) เมื่อพิจารณาถึงลักษณะซากพบว่า แพะลูกผสมในกลุ่ม Chavon มีน้ำหนักซากอุ่น เปอร์เซ็นต์ซาก ความยาวซาก และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกสูงกว่าแพะลูกผสมในกลุ่ม Capretto อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ แพะลูกผสมในกลุ่ม SA, SF และ FF มีการสะสมของ intermuscular fat สูงกว่าแพะพันธุ์อื่นๆ ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ซากอยู่ระหว่าง 51-54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ และแพะลูกผสม BF มีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกมากกว่าพันธุ์อื่นๆ ขณะที่แพะลูกผสม BS และ SF มีความยาวซากสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ

Ryan et al. (2007) ศึกษาผลของระดับอาหารข้นต่อคุณลักษณะซากของแพะพันธุ์ลูกผสมบอร์ (Boer) จำนวน 46 ตัว ให้ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ข้าวโพดอบแห้ง 50, 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และไม่ได้รับอาหารข้น (ปล่อยให้แทะเล็มหญ้า) อย่างเต็มที่ เป็นเวลา 126 วัน พบว่าแพะที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ข้าวโพดอบแห้ง 50, 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากอุ่น เปอร์เซ็นต์ซาก พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก และความยาวซากสูงกว่าแพะที่ไม่ได้รับอาหารข้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สำหรับสัดส่วนซากสากล พบว่า แพะที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ข้าวโพดอบแห้ง 50, 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ของขา สันซี่โครง ไหล่ และเนื้อขาหน้า สูงกว่าแพะที่ไม่ได้รับอาหารข้น (31.05, 8.31, 25.82 และ 0.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้แพะที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ข้าวโพดอบแห้ง 50, 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีน้ำหนักเนื้อสันนอก (0.83, 0.87 และ 0.81 กิโลกรัม ตามลำดับ) สูงกว่าแพะที่ไม่ได้รับอาหารข้น (0.61 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าแพะทั้ง 4 กลุ่ม มีเปอร์เซ็นต์ของเนื้อสันนอกไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับ Oman et al. (1999) ที่รายงานว่า การให้อาหารข้นแก่แพะจะทำให้แพะมีน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากอุ่น และน้ำหนักกล้ามเนื้อสูงขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่าแพะที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ข้าวโพดอบแห้ง 50, 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ 777, 711 และ 622 กรัมต่อวัน ตามลำดับ และอัตราการเจริญเติบโต 97, 103 และ 90 กรัมต่อวัน ตามลำดับ

จากผลการศึกษาการเสริมอาหารข้นในแพะ สรุปว่า แพะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้แพะมีเปอร์เซ็นต์ซากเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอาหารข้นเป็นอาหารที่สามารถย่อยและดูดซึมได้ง่าย ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงแพะในเชิงการค้า ที่ต้องการให้แพะมีน้ำหนักเพิ่มที่รวดเร็ว

2.1.7 คุณภาพเนื้อ

คุณภาพเนื้อ หมายถึงผลรวมของคุณลักษณะและคุณสมบัติของเนื้อตามความต้องการของผู้บริโภค รวมทั้งความเหมาะสมในการแปรรูป ซึ่งคุณภาพของเนื้อสัตว์เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบหลักสามประการ คือ 1) คุณภาพของเนื้อ 2) คุณภาพของการผลิต และ 3) ความพึงพอใจของผู้บริโภค และเมื่อพิจารณาเฉพาะคุณภาพเนื้อซึ่งมีผลต่อการบริโภคเนื้อสัตว์พบว่า มีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ สี (color) ความสามารถในการจับน้ำ (water holding capacity) ความนุ่มเหนียว (tenderness) และคุณค่าทางโภชนะ (ชัยณรงค์, 2529) ซึ่ง Lawrie (1991) ได้สรุปว่าคุณภาพเนื้อเป็นผลของความซับซ้อนในระบบสรีรวิทยา และชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของเนื้อสัมผัส สี กลิ่น และรสชาติ ความชุ่มฉ่ำ ความนุ่มเหนียว และปริมาณไขมัน ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัส หรือความนุ่มเหนียวของเนื้อถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ที่สำคัญในการประเมินการยอมรับของเนื้อโดยผู้บริโภค (Warriss, 2000) โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. ความนุ่ม (tenderness) ความนุ่มของเนื้อเป็นปัจจัยสำคัญต่อความน่ารับประทาน (palatability) มากที่สุด การทดสอบตรวจชิม (taste panel) ความนุ่มของเนื้อนั้นวัดได้จากความรู้สึกง่าย หรือยากในการกดฟันลงในชิ้นเนื้อเป็นชิ้นเล็กๆ เมื่อผ่านการเคี้ยวไปเป็นระยะเวลานานพอสมควร เนื้อที่นุ่มจะง่ายต่อการเคี้ยวให้ความรู้สึกอ่อนนุ่มและละเอียด ซึ่งจะเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค ปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อสัตว์ คือเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และปริมาณของ intermolecular crosslink ที่อยู่ในกล้ามเนื้อ อันเป็นผลจากความแตกต่างของชนิดสัตว์ พันธุ์ อายุ การจัดการเลี้ยงดู อาหาร และชนิดกล้ามเนื้อ (สัญชัย, 2543)

2. ความชุ่มฉ่ำ (jujceness) เนื้อที่มีความชุ่มฉ่ำดี ขณะเคี้ยวจะรู้สึกไม่เหนียว และเนื้อไม่แห้ง สัตว์ที่มีอายุน้อยเนื้อจะชุ่มฉ่ำกว่าเนื้อสัตว์อายุมาก และเนื้อที่มีปริมาณไขมันแทรกสูงจะชุ่มฉ่ำกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย ความชุ่มฉ่ำจึงเป็นผลจากความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ และปริมาณไขมันแทรกในเนื้อ ซึ่งกระตุ้นการหลั่งน้ำลายทำให้เกิดความรู้สึกชุ่มฉ่ำในปาก ดังนั้น ความชุ่มฉ่ำของเนื้อมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (Lawrie, 1991)

3. กลิ่น และรสชาติของเนื้อสัตว์ (flavor) เป็นความรู้สึกที่ค่อนข้างซับซ้อน การรู้สึกได้กลิ่น และรสชาติของเนื้อสัตว์เกิดจากสารประกอบที่ระเหยได้ และสารที่ให้รสชาติไปกระทบกับอวัยวะรับกลิ่น และต่อมรับรส โดยในเนื้อสัตว์แทบทุกชนิดจะมีสารประกอบที่ให้กลิ่น และรสชาติคล้ายคลึงกัน แต่สัดส่วนของสารประกอบต่างๆ เหล่านี้จะแตกต่างกันไปอันเป็นลักษณะเฉพาะตัวของเนื้อสัตว์แต่ละประเภท (Lawrie, 1991)

2.1.8 คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อ

สมบัติทางกายภาพเป็นลักษณะสำคัญหลายประการที่ใช้เป็นเกณฑ์บ่งถึงคุณภาพเนื้อ รวมทั้งความพึงพอใจของผู้บริโภค เช่น สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ ความชุ่มฉ่ำ และความนุ่มเหนียว ซึ่งมีข้อมูล ดังต่อไปนี้

2.1.8.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อสัตว์เป็นปัจจัยตัวหนึ่งที่บอกถึงคุณภาพเนื้อ โดยทั่วไปหลังจากสัตว์ตายแล้วจะเกิดกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในกล้ามเนื้อ และมีผลต่อคุณภาพเนื้อในด้านที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะในด้านการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์ ความนุ่ม และความเหนียวของเนื้อสัตว์ (จุฑารัตน์, 2540) ในขณะร่างกายสัตว์ตายไม่มีออกซิเจนเข้าสู่กล้ามเนื้อ ทำให้กระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic pathway) หยุดการทำงานลง แต่กล้ามเนื้อสัตว์ยังไม่หยุดทำงานโดยทันที ยังคงมีการหดตัว และคลายตัวต่อไป โดย

ใช้พลังงานจากการย่อยสลายไกลโคเจนจากกระบวนการ anaerobic metabolism ซึ่งนอกจากจะได้พลังงานในจำนวนที่น้อยแล้ว ยังเกิดกรดแลกติกในกล้ามเนื้อ และความร้อนอีกด้วย ซึ่งการสะสมกรดแลกติกในกล้ามเนื้อนี้เป็นสาเหตุทำให้ค่า pH ในกล้ามเนื้อหลังจากสัตว์ตายแล้วลดต่ำลงอย่างช้าๆ จากเดิมประมาณ 7.0 เป็นประมาณ 5.6-5.7 ภายในเวลา 6-8 ชั่วโมง แล้วลดลงสู่จุด pH สุดท้ายระหว่าง 5.3-5.7 ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย ทำให้เกิดการสะสมกรดแลกติก และอุณหภูมิในซากสูง ซึ่งเป็นปัจจัยที่กระตุ้นให้กระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic glycolysis) เกิดได้เร็วขึ้นยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในกล้ามเนื้อสัตว์ คือเกิดการสูญเสียสภาพของโปรตีนจึงไม่สามารถรักษาคุณสมบัติในการจับน้ำ (WHC) ทำให้เนื้อสัตว์ไม่สามารถอุ้มน้ำได้ และเกิดการไหลของน้ำ และนำเม็ดสีออกจากกล้ามเนื้ออีกด้วย จึงปรากฏให้เห็นเนื้อด้านหน้าตัดมีสีซีด เหลว และไม่คงรูป ทำให้แสงที่มาตกกระทบสะท้อนออกไปได้มากจึงเห็นเนื้อมีสีจาง (pale) ผิดปกติ แต่หากค่า pH สุดท้ายในกล้ามเนื้อมากกว่า 6.0 (6.6-6.8) นั้นพบว่าปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อมีน้อย หรือถูกใช้เกือบหมด ทำให้กระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นน้อยมาก และค่า pH ลดลงเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้โปรตีนมีความสามารถในการจับน้ำได้ดี และทำให้เฟอร์รัสอิ-ออนจับตัวกับโมเลกุลของน้ำได้ดี รวมทั้งเส้นใยกล้ามเนื้ออยู่เบียดกันแน่นเป็นผลให้ออกซิเจนจากภายนอกไม่สามารถแทรกซึมผ่านไปตามผิวหน้าของเนื้อได้ จึงปรากฏให้เห็นเนื้อด้านหน้าตัดมีสีคล้ำ แข็ง และแห้ง ทำให้การสะท้อนของแสงเกิดขึ้นได้น้อยมาก (dark firm dry, DFD) (สุทธิพงศ์, 2537; สัญชัย, 2543; Warriss, 2000)

2.1.8.2 ค่าสีเนื้อ (meat color)

สีของเนื้อสัตว์เป็นความรู้สึกประการแรกที่ผู้บริโภคสัมผัสและเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสัตว์ ซึ่งเนื้อสัตว์มีสีตั้งแต่สีชมพูอมเทาจนถึงแดงเขมออกม่วง โดยสีของเนื้อสัตว์เกิดจากรงควัตถุ (pigment) ตัวสำคัญที่อยู่ในเนื้อสัตว์คือ โปรตีนไมโอโกลบิน (myoglobin) และมีโปรตีนฮีโมโกลบิน (haemoglobin) ซึ่งเป็นรงควัตถุในเลือด ประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นโปรตีนเรียกว่า โกลบิน (globin) และส่วนที่เป็นโครงสร้างที่ไม่ใช่โปรตีนเรียกว่า heme ring ซึ่งมีธาตุเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบอยู่ตรงกลางของโมเลกุล ซึ่งสีของเนื้อสัตว์จะแตกต่างกันไปตามชนิดสัตว์เพศ อายุ ตำแหน่ง และชนิดของกล้ามเนื้อ โดยกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกายสัตว์จะมีลักษณะโครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อแตกต่างกัน เช่น ในสัตว์อายุน้อยจะมีปริมาณของไมโอโกลบินและฮีโมโกลบินต่ำกว่าสัตว์อายุมาก ขณะที่สัตว์ที่อายุมาก ซึ่งในกล้ามเนื้อส่วนที่ทำงานหนักมากจะมีอัตราการทำงานของกล้ามเนื้อสูงทำให้มีการใช้ออกซิเจน ซึ่งมีการสะสมปริมาณของไมโอโกลบิน และออกซิเจนสูงขึ้นด้วย (ชัยณรงค์, 2529; Lawrie, 1991) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถตรวจวัดได้โดยการตรวจวัดค่าสี ซึ่งปัจจุบันนิยมรายงานในระบบ CIE (Complete International Comission on Illumination, Hunter Color Flex) โดยแบ่งค่าสีออกเป็น 3 เฉดสี คือ L*, a* และ b* โดยที่ L* หมายถึง ความสว่างของสี (lightness) ซึ่งจะอยู่ในเฉดสีดำจนถึงขาว a* หมายถึง ค่าความแดง (redness) ซึ่งจะอยู่ในเฉดสีเขียวจนถึงแดง และ b* หมายถึง ค่าความเหลือง (yellowness) ซึ่งมีเฉดสีตั้งแต่สีน้ำเงินไปถึงสีเหลือง (Warriss, 2000)

2.1.8.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity, WHC)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ คือ ความสามารถของเนื้อที่จะคงน้ำไว้ในจำนวนน้ำเท่าเดิม หรือคงเท่าเดิมได้ ถึงจะมีแรงมากระทำ เช่น การตัด การให้ความร้อน การบด และการอัด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการสูญเสียน้ำ (drip loss) ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อเป็นปัจจัยสำคัญตัวหนึ่งที่ใช้บ่งชี้ถึงคุณภาพของเนื้อสัตว์ (Lawrie,

1991) อย่างไรก็ตาม กล้ามเนื้อจากสัตว์ชนิดเดียวกันแต่มาจากตำแหน่งที่แตกต่างกันก็มีความสามารถในการอุ้มน้ำแตกต่างกัน โดยปกติเนื้อสัตว์จะมีการสูญเสียน้ำอยู่แล้ว ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในช่วงก่อนและหลังการฆ่า โดยหลังจากสัตว์ตาย pH ในเนื้อจะลดลง เนื่องจากปริมาณกรดแลกติกที่เพิ่มขึ้น ทำให้โปรตีนในเนื้อเสียสภาพ (denature) มีผลทำให้ความสามารถในการจับน้ำของเนื้อต่ำลง (Warriss, 2000) ซึ่งหนึ่งในสามของการสูญเสียความสามารถในการจับน้ำเป็นผลมาจากการลดลงของค่า pH ในเนื้อ

Warriss (2000) ได้สรุปถึงความสำคัญของความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อว่าเกี่ยวข้องกับปัจจัย ดังนี้

1) การสูญเสียน้ำออกจากเนื้อ (drip loss) ดังนั้น ถ้าเนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำเนื้อจะสูญเสียน้ำออกไปมาก มีผลทำให้ลักษณะของเนื้อเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ไม่ดี ทำให้เนื้อมีสีซีด (pale) และเนื้อนิ่ม (solf)

2) การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นเนื้อสด

3) การสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้เนื้อสุก (cooking loss) โดยมีผลทำให้เนื้อมีความชุ่มฉ่ำลดลง

2.1.8.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture)

ความนุ่มเหนียวของเนื้อถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ที่สำคัญในการประเมินการยอมรับของเนื้อโดยผู้บริโภค ทั้งนี้ความนุ่มเหนียวของเนื้อสัตว์มีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของสัตว์ และมีปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และอายุสัตว์ โดยสัตว์ที่มีอายุมากเนื้อจะเหนียวกว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย เนื่องจากปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และปริมาณของ intermolecular crosslinks ที่เพิ่มขึ้น สำหรับในเรื่องเพศ กล้ามเนื้อของสัตว์เพศผู้มีความเหนียวมากกว่ากล้ามเนื้อสัตว์เพศเมีย เพราะสัตว์เพศผู้มีกิจกรรมต่างๆ มากกว่า สำหรับชนิดของกล้ามเนื้อ การทำงานของกล้ามเนื้อในร่างกายแต่ละส่วน มีความแตกต่างกันต่อเนื้อเกี่ยวพัน เช่น กล้ามเนื้อที่มีการทำงานหนัก และทำหน้าที่รองรับน้ำหนักมากๆ จะมีปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสูง ประกอบกับคุณภาพของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่ำ ส่งผลให้เนื้อมีความเหนียวมากขึ้น (Xiong et al., 1999; Warriss, 2000) นอกจากนี้ ปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในกล้ามเนื้อภายหลังการฆ่า และระยะเวลาในการบ่มเนื้อก็มีผลต่อความนุ่มเหนียวของเนื้ออีกด้วย ทั้งนี้ ความนุ่มเหนียวของเนื้อสามารถทำการตรวจวัดได้โดยการชิมของคน และการตรวจวัดค่าแรงตัดผ่าน (shear force) โดยใช้เครื่องมือกล เช่น เครื่อง Warner-Blatzer shear เป็นต้น ความนุ่มของเนื้อผันแปรตามปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และการหดตัวของเส้นใยโปรตีนแอคติน (actin) และไมโอซิน (myosin) เป็นโปรตีนแอกโตไมโอซิน (actomyosin) โดยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะเพิ่มมากขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อสัตว์อายุมากขึ้น (Warriss, 2000)

2.1.9 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ

โดยทั่วไปคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อสัตว์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ และปริมาณโภชนะที่สัตว์ได้รับ

สำหรับคุณค่าทางโภชนะของกล้ามเนื้อแพะ Tshabalala et al. (2003) รายงานว่า กล้ามเนื้อแพะพันธุ์บอร์และแพะพื้นเมืองแอฟริกามีเปอร์เซ็นต์โปรตีน และไขมันแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยพบว่าแพะพื้นเมืองแอฟริกามีเปอร์เซ็นต์โปรตีน (24.3 เปรียบเทียบกับ 22.8 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าแพะพันธุ์บอร์ แต่มีปริมาณไขมัน (7.9 เปรียบเทียบกับ 10.5 เปอร์เซ็นต์) ต่ำกว่าแพะพันธุ์บอร์ และพบว่ากล้ามเนื้อของแพะทั้งสองพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นและเถ้าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ขณะที่ Sheradin et al. (2003) พบว่าแพะพันธุ์บอร์ทั้งสองกลุ่ม (ขุน 28 วันก่อนฆ่าและขุน 56 วันก่อนฆ่า) มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 17.0-17.7 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมาณไขมันสูงถึง 13.5-

21.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าการรายงานของ Schonfeldt et al. (1993) โดยในกล้ามเนื้อแพะพันธุ์บอร์ และพันธุ์แองโกร่ามีปริมาณโปรตีนสูงถึง 29.1-29.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน่าเป็นผลมาจากความแตกต่างของพันธุ์แพะ สภาพแวดล้อม และระดับของโภชนะในอาหารที่ใช้ศึกษาต่างกัน

สุทธิพงศ์ และคณะ (2550) ศึกษาผลของระดับโปรตีนในอาหารข้นร่วมกับฟางข้าว หรือฟางข้าวหมักยูเรียต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะซาก และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ และแกะ พบว่าสัตว์แต่ละกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เนื้อแพะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นมากกว่าเนื้อแกะ ($P<0.01$) คือ 73.96 และ 71.61% และเนื้อแพะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนมากกว่าเนื้อแกะ ($P<0.01$) คือ 76.36 และ 70.69% แต่เนื้อแกะมีเปอร์เซ็นต์ไขมันมากกว่าเนื้อแพะ ($P<0.01$) คือ 21.37 และ 16.29% เมื่อนำมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าเนื้อแกะมีความนุ่ม รสชาติ ความฉ่ำน้ำ และการยอมรับของผู้บริโภคดีกว่าเนื้อแพะ ($P<0.01$)

2.2 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.2.1 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 และเป็นสารอนิน-ทรีย์ เช่น แอมโมเนียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นต้น (บุญล้อม, 2527; เมธา, 2533) ซึ่งมีอัตราการย่อยสลายแตกต่างกัน พบว่าสาร non-protein nitrogen (NPN) มีอัตราการสลายเร็วที่สุด

ซึ่งการย่อยและการเมทธาโบลิซึมของสารประกอบไนโตรเจนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Figure 2.1) 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

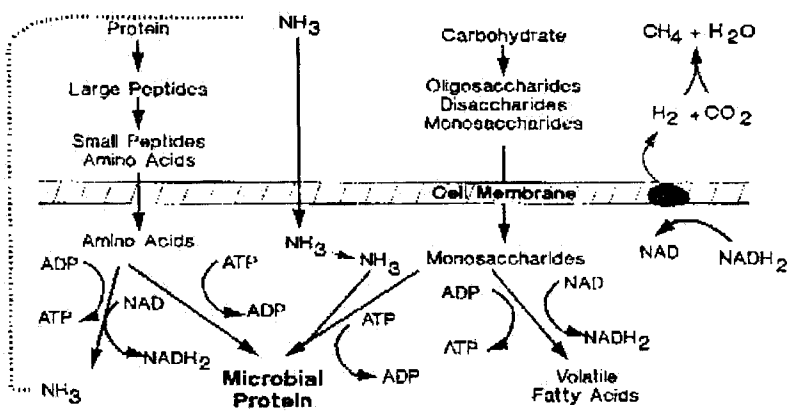


Figure 2.1 Utilization of protein and carbohydrates by rumen bacteria

ที่มา: Nocek and Russell (1988)

2.2.2 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในรูปของโพลิแซ็กคาร์ไรด์ จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดียว เช่น กลูโคส หรือเพนโตส โดยผ่านวิถีต่างๆ จากนั้นกลูโคส หรือเพนโตสจะถูกหมักในกระเพาะรูเมนอย่างรวดเร็ว และถูกสังเคราะห์ไปเป็นกรดไพรูวิค (pyruvic acid) หรือไพรูเวท (pyruvate) ซึ่งเป็นตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดไขมันที่ระเหยได้ ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acids, VFAs) ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้าย (end-products) ที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซิติค (acetic acid, C_2) กรดบิวทีริค (butyric acid, C_4) กรดโพรพิออนิค (propionic acid, C_3) เป็นหลัก (Figure 2.2) และกรดวาลาริค (valeric acid, C_5) ไอโซวาลาริค (isovaleric acid) และไอโซบิวทีริก (isobutyric acid) อาจพบบ้างแต่ในปริมาณน้อย ซึ่งสัตว์จะดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป จากการศึกษาพบว่า น้ำตาลจะถูกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว รองลงมาคือแป้ง และพวกที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช เช่น เซลยูโลส และเฮมไมเซลยูโลส จะถูกเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด

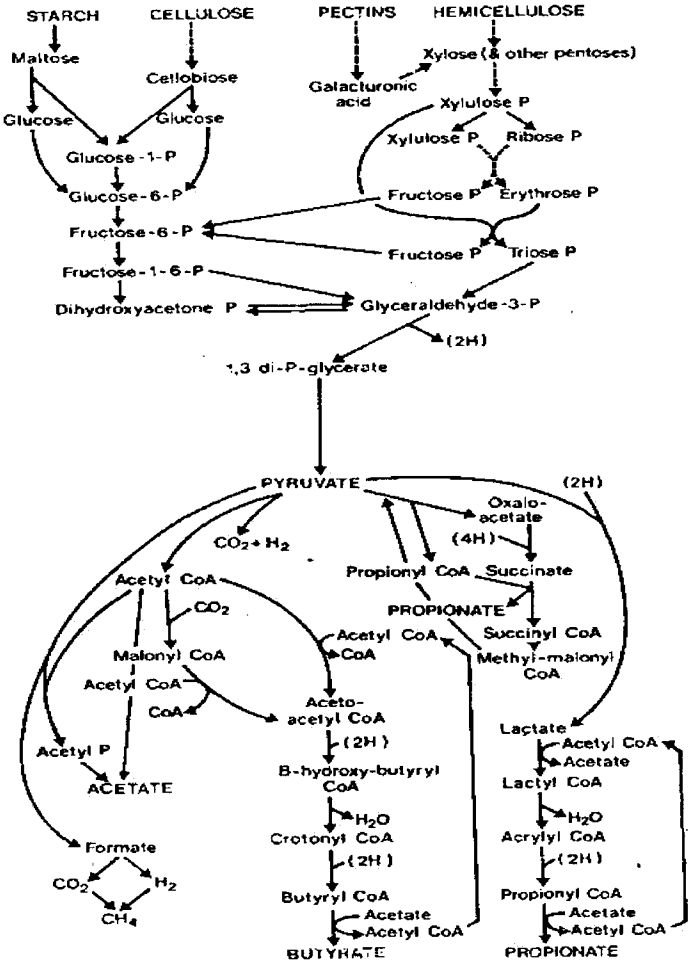


Figure 2.2 Outline of the pathways of carbohydrate in the rumen

ที่มา: Preston and Leng (1987)

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

1) ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์

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

2.2.3 นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีวิวัฒนาการและพัฒนาการที่มีความเฉพาะตัว โดยมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใย (dietary fiber) ซึ่งสัตว์ทั่วไปโดยเฉพาะสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน ซึ่งได้แก่แบคทีเรีย (bacteria) โปรโตซัว (protozoa) และเชื้อรา (fungi) โดยทั่วไปแล้วกระบวนการใช้อาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญหลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนมีความสำคัญต่อการผลิตเอนไซม์ เพื่อทำการย่อยสลายสารอาหารประเภทพลังงาน ทั้งที่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structurtal carbohydrate, SC) และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non-structural carbohydrate, NSC) (เมธา, 2533) เพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญและมีประโยชน์ต่อตัวสัตว์ คือกรดไขมันระเหยได้ง่าย (volatile fattyacid, VFA) ซึ่งกรดไขมันระเหยได้ง่ายเหล่านี้จะเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องที่จะนำไปใช้ในการดำรงชีวิต และการให้ผลผลิตเนื้อ และนมต่อไป (ฉลอง, 2541)

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; Czerkawski, 1986)

จากการรายงานของ Satter and Slyter (1974) พบว่า นอกจากความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสมแล้ว ระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนก็มีความสำคัญต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งระดับที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4-5 mg% ส่วน Boniface et al. (1986); Song and Kennelly (1990); Wanapat and Pimpa (1999) พบว่าระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 15-20 mg% ที่จะก่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลาย และกระบวนการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนที่เหมาะสมด้วย และนอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดความสมดุลระหว่างพลังงานกับโปรตีนอีกด้วย จุลินทรีย์ที่พบในกระเพาะรูเมนมีมากมายหลายชนิด แต่จุลินทรีย์เหล่านี้มีคุณสมบัติสำคัญ คือต้องมีชีวิตอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนและมีการสร้างผลผลิตสุดท้าย (end products) ชนิดใดชนิดหนึ่งซึ่งพบในกระเพาะรูเมนเท่านั้น และต้องมีปริมาณไม่ต่ำกว่า 1 ล้านเซลล์/กรัมของ rumen contents จุลินทรีย์ที่พบในกระเพาะรูเมนแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อรา โดยแบคทีเรียมีจำนวนประชากรประมาณ 10^9-10^{11} เซลล์ต่อมิลลิลิตร โปรโตซัวมีจำนวนประชากรประมาณ 10^5-10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และเชื้อรามี

จำนวนประชากรประมาณ 10^3-10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร (Hungate, 1966) จุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทที่สำคัญในการทำหน้าที่ย่อยสลายอาหารที่สัตว์กินเข้าไป และสังเคราะห์เป็นผลผลิตที่สำคัญสำหรับสัตว์นำไปใช้ในการสร้างผลผลิต

2.2.4 การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะรูเมนสังเคราะห์จากกรดแอมมิโน และเปปไทด์ที่ได้จากการย่อย สลายโปรตีนหรือพวกที่อยู่ในรูปอิสระ อย่างไรก็ตามพบว่าแอมโมเนียที่หมุนเวียนอยู่ภายใน กระเพาะรูเมนเป็นแหล่งไนโตรเจนหลักในการสังเคราะห์โปรตีนเช่นกัน (Aharoni et al., 1991) Al-Rabbat et al. (1971) รายงานว่า 61 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์โปรตีนมาจากแอมโมเนีย และ 39 เปอร์เซ็นต์มาจากกรดแอมมิโน และเปปไทด์ อย่างไรก็ตาม Maeng et al. (1976) รายงานว่า สัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแอมโมเนีย และกรดแอมมิโนในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน คือ 75 เปอร์เซ็นต์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และ 25 เปอร์เซ็นต์กรดแอมมิโน-ไนโตรเจน นอกจากนี้ พลังงาน ATP ที่สัตว์ได้รับ ซึ่งได้จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมนก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน จุลินทรีย์โปรตีนเมื่อถูกย่อยสลายที่กระเพาะจริง และลำไส้เล็ก จะมีผลต่อองค์ประกอบของกรดแอมมิโนที่ได้ เนื่องจากจุลินทรีย์มีความสามารถในการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนในเซลล์ ฉลอง (2541) รายงานว่าปริมาณไนโตรเจนในจุลินทรีย์เท่ากับ 36-49 เปอร์เซ็นต์โปรตีน ซึ่ง 85 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดจะอยู่ในรูปของโปรตีนแท้ โปรตีนในตัวจุลินทรีย์เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง โดยโปรโตซัวมีการย่อยได้ดีกว่าแบคทีเรีย แม้ว่าค่า biological value (BV) ของโปรตีนของโปรโตซัว และแบคทีเรียจะไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อคิดเป็นค่า net protein utilization (NPU) พบว่าโปรโตซัวมีค่าสูงกว่าแบคทีเรีย

2.3 สถานการณ์การเพิ่มการผลิตไบโอดีเซล และกลีเซอรีน

2.3.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification reaction) คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนหมู่แอลคอกซิล (alkoxyl group, RO-) ของเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลเล็กกว่า หรืออาจเรียกว่า ปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยแอลกอฮอล์ (alcoholysis reaction) ปฏิกิริยานี้จะใช้เตรียมเอสเทอร์ในกรณีที่ไม่สามารถเตรียมได้ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification reaction) ได้โดยตรง จึงถูกนำมาใช้เตรียมเอสเทอร์ของกรดไขมันเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน สำหรับแอลกอฮอล์ที่สามารถใช้ได้จะมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 1 ถึง 8 อะตอม ส่วนมากจะเป็นเมทานอล (methanal) และเอทานอล (ethanal) ซึ่งเมทานอลจะมีข้อได้เปรียบเรื่องราคา และการทำปฏิกิริยาดีกว่า เนื่องจากมีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุด ส่วนเอทานอลได้เปรียบที่สามารถผลิตได้จากการเกษตร และย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ประกอบกับมีอันตรายน้อยกว่าเมทานอล

ส่วนใหญ่ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันต้องการอัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรด์ คือ 3:1 แต่ในทางปฏิบัติต้องการอัตราส่วนที่มากเกินพอเพื่อผลักดันสมดุลของปฏิกิริยาให้เกิดผลผลิตเป็นเอสเทอร์สูงที่สุด (Ma and Hanna, 1999) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถใช้ได้คือ กรด เบส และเอนไซม์ ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยาจะแตกต่างกัน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส เช่น NaOH, K_2CO_3 และโซเดียม หรือโพแทสเซียมแอลคอกไซด์ เช่น CH_3ONa, C_2H_5ONa, C_3H_7ONa และ C_4H_9ONa ส่วน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด เช่น H_2SO_4, H_2SO_3 และ HCl และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์ไลเปส ส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส เนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด ส่วนตัวเร่งที่เป็นเอนไซม์จะใช้เวลานานที่สุด (Lotero et al., 2005) สำหรับกลไก

สำนักทรัพยากรการเรียนรู้คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยในขั้นตอนแรกไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) จะถูกเปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และน้ำมันไบโอดีเซล (biodiesel) และไดกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาเป็นโมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) และเป็นกลีเซอรีน (glycerine) ในที่สุดตามสมการ 1 สมการ 2 และสมการ 3 (Figure 2.3) ตามลำดับ

❶ $\text{Triglyceride} + \text{ROH} \overset{\text{catalyst}}{\rightleftarrows} \text{diglyceride} + \text{R'COOR}$

❷ $\text{Diglyceride} + \text{ROH} \overset{\text{catalyst}}{\rightleftarrows} \text{monoglyceride} + \text{R''COOR}$

❸ $\text{Monoglyceride} + \text{ROH} \overset{\text{catalyst}}{\rightleftarrows} \text{glycerol} + \text{R??COOR}$

Figure 2.3 Chemistry of transesterification process
ที่มา: Srivastava and Prasad (2000)

ซึ่งแต่ละปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ แต่สมดุลของปฏิกิริยาจะมีแนวโน้มของทิศทางไปทางด้านการเกิดผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ของกรดไขมัน และกลีเซอรีน อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน มีหลายปัจจัย ดังนี้

1) ปริมาณกรดไขมันอิสระ

2) แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3) ตัวเร่งปฏิกิริยา

4) อุณหภูมิ และเวลา และ 5) การกวนผสม เป็นต้น

2.3.2 กลีเซอรีน และคุณสมบัติ

2.3.2.1 กลีเซอรีน (glycerin หรือ glycerine)

กลีเซอรีน (glycerine หรือ glycerin) หรือที่เรียกว่า กลีเซอรอล (glycerol) หมายถึง สารจำพวกพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซี 3 หมู่ มีสูตรเคมีเป็น $C_3H_8O_3$ หรือ $C_3H_5(OH)_3$ มีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3 – โพรเพนไตรออล (1,2,3 – propantriol) และมีสูตรโครงสร้างแสดงดัง Figure 2.4

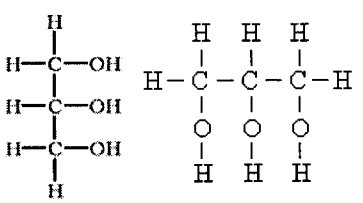


Figure 2.4 The chemical formula for glycerin
ที่มา: Ma and Hanna (1999)

กลีเซอรีนมีการค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1779 โดยโดยนักเคมีชาวสวิสเซอร์แลนด์ชื่อ ชีลี (Scheele) พบว่ากลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมของปฏิกิริยาการผลิตสบู่ระหว่างน้ำมันมะกอก (olive oil) กับออกไซด์ของตะกั่ว (lead monoxide) (The Soap and Detergent Association, 1990) ต่อมาในปี ค.ศ. 1813 เชฟรูล (Chevreul) ได้พบว่ากลีเซอรีนเป็นส่วนประกอบในไขมัน โดยอยู่ในรูปของกลีเซอรีนเอสเทอร์ของกรดไขมันจึงเรียกว่า กลีเซอรีน (glycerin, GLY) ในช่วงแรกกลีเซอรีนไม่มีความสำคัญในเชิงเศรษฐกิจ หรืออุตสาหกรรม กลีเซอรีนถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมครั้งแรกเมื่อ ปี ค.ศ. 1866 โดย อัลเฟรด โนเบล (Alfred Noble) ได้นำกลีเซอรีนมาใช้ในการผลิตระเบิดไดนาไมต์ (dynamite) หรือไนโตรกลีเซอรีน (nitroglycerine) เพื่อใช้ในกิจการของทหาร

ต่อมาช่วงปลายปี ค.ศ. 1930 ฟาร์เบน (Farben) ได้พัฒนา และสังเคราะห์กลีเซอรีน โดยใช้สารตั้งต้นเป็นโพนเพน และตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1980 จนถึงปัจจุบัน การผลิตกลีเซอรีนส่วนใหญ่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติมากถึง 75% และจากการสังเคราะห์โพรพีน 25% กลีเซอรีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น มีการใช้กลีเซอรีนในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้กลีเซอรีนเป็นสารรักษาความชื้น เป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติกชนิดที่ช่วย เก็บรักษาความอ่อนนุ่ม และความหนืด เป็นสารอิมัลชั่น และสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภท มาการีน น้ำสลัด และลูกกวาด ใช้กลีเซอรีนรักษาความชื้นให้กับยาสูบ และเป็นส่วนผสมในไส้กรอง ทำให้บุหรี่ติดไฟช้า ใช้เป็นส่วนผสมของยาหลายชนิด สารละลายกลีเซอรอลฟีนอล (glycerolphenol) ใช้ในการล้างหู ใช้ผสมในเครื่องสำอางประเภทครีม และโลชั่นเพื่อทำให้ผิวนุ่ม และชุ่มชื้น ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ยาสีฟันแห้งแข็งตัวในหลอด ใช้ห่อเนื้อ และทำกระดาษชนิดพิเศษ ใช้เป็นสารหล่อลื่น เนื่องจากมีความหนืดสูง และไม่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำ ใช้กลีเซอรีนเป็นสารประกอบซีเมนต์ สารอิมัลซิไฟเออร์ในยางราดถนน เซรามิก และกาว เป็นต้น

ปัจจุบันมีผู้ใช้กลีเซอรีนในอุตสาหกรรมมากกว่า 1,500 อุตสาหกรรม ประกอบด้วยการผลิต synthetic polymers, cosmetics, personal care production, food, plastic and alkyd resins และ pharmaceuticals เป็นต้น (American soybean Association International Marketing, 2007)

สมัยก่อนกลีเซอรีนถูกผลิตจากผลพลอยได้ (by-product) ของการผลิตสบู่จากน้ำมันพืช (vegetable oil) หรือไขมันสัตว์ (animal fats) และปัจจุบันมาจากการผลิต biodiesel โดยกระบวนการ transesterification ซึ่งประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก ดังนี้

1. น้ำมันถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน โดย acid-catalyzed esterification
2. Base-catalyzed transesterification ด้วย methanal
3. Direct acid-catalyzed esterification ด้วย methanal

กระบวนการทางเศรษฐกิจที่สำคัญ คือ base-catylyzed transesterification ซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมนำมาใช้ทำการผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) (Van Gerpen, 2005)

ประมาณ 10% ของน้ำหนักน้ำมันใช้ผลิตไบโอดีเซลถูกเปลี่ยนไปเป็นกลีเซอรีน หรือประมาณ 0.3 กิโลกรัมต่อการผลิตไบโอดีเซล 3.78 ลิตร (Thompson and He, 2006) กลีเซอรีนที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารต่างๆ ที่ตกค้างจากการผลิตทำให้ยังไม่บริสุทธิ์ ดังนั้น ต้องทำให้บริสุทธิ์ก่อนเพื่อให้เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมกรรมผลิตต่างๆ ดังนั้น ทางเลือกการใช้กลีเซอรีนที่ไม่ต้องการทำให้บริสุทธิ์เพิ่มเติม ยังต้องมีการศึกษาต่อไปในยุคที่มีการเพิ่มการผลิตไบโอดีเซล และในอนาคตมีแน้วโน้มการผลิตมากขึ้น

2.3.2.2 คุณสมบัติของกลีเซอรีน

กลีเซอรีนมีลักษณะเป็นของเหลวใสหนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ มีรสหวานเล็กน้อย ละลายได้ดีในน้ำ เมทานอล เอทานอล ไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล เพนทานอล รวมทั้งฟีนอลไกลคอล โพรเพนไดออล เอมีน และสารประกอบที่เป็นเฮทเทอโรไซคลิก ไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และไดออกเซน ไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว และตัวทำละลายจำพวกเฮโลเจน สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรีนมีน้ำหนักโมเลกุล (92.06) จุดหลอมเหลว (18.17°C) ความหนืด ที่ 20°C (1499 mPa.s) (ปิยนาฏ, 2547)

เมื่อนำกลีเซอรีน 66.7% โดยน้ำหนัก ละลายในน้ำ 33.3% จะได้สารละลายที่มีจุดเยือกแข็งที่ต่ำมากคือ -46.5 °C กลีเซอรีนมีจุดเดือดสูงถึง 290 °C ที่ความดันบรรยากาศ (101.3 kPa) และมีจุดเดือดลดลงตามความดันที่ลดลง

กลีเซอรีนสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกับแอลกอฮอล์ทั่วๆ ไป โดยที่หมู่ไฮดรอกซิลด้านนอกจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าหมู่ไฮดรอกซิลตรงกลางภายใต้สภาวะที่เป็นกลาง หรือเบส กลีเซอรีนสามารถทนความร้อนได้ถึง 275 °C โดยไม่เกิดอะโครลีน ในทางกลับกันในสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย พบว่าที่อุณหภูมิ 160 °C จะเกิดอะโครลีน ดังนั้น ปฏิกิริยาของกลีเซอรีนจึงควรทำในสภาวะที่เป็นกลาง หรือเป็นเบส และที่อุณหภูมิห้องกลีเซอรีนจะดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ กลีเซอรีนยังถูกออกซิไดส์ได้ง่าย โดยที่อะตอมคาร์บอนด้านนอกจะถูกออกซิไดส์เป็นหมู่คาร์บอกซิล และอะตอมคาร์บอนตรงกลางจะเกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล

2.3.3 การเพิ่มการผลิตไบโอดีเซล และกลีเซอรีน

2.3.3.1 การเพิ่มการผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (biodiesel หรือ methyl esters) หมายถึง แอลคิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (alkyl ester of fatty acid) เป็นพลังงานทดแทนธรรมชาติผลิตจากน้ำมันพืช (plant oils) หรือสัตว์ (animal fats) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) นำมาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า transesterification โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (เมทานอล หรือเอทานอล) มีกรด หรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็นไบโอดีเซล และกลีเซอรีน หรือกลีเซอรอลดิบ (crude glycerine, crude glycerin หรือ crude glycerol) (ชาคริต และคณะ, 2545; Van Gerpen, 2005)

ประเภทของไบโอดีเซล แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์เพียงอย่างเดียว ไบโอดีเซลประเภทนี้คือ น้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเรพซีด น้ำมันเมล็ดทานตะวัน หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ที่นำมาทำให้บริสุทธิ์โดยไม่ผสมหรือเติมสารเคมีอื่นๆ หรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้เลย

2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสม เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซลเพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมมากที่สุด เช่น โคโคดีเซล (coco-diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (palm-diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล

3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ คือการนำน้ำมันจากพืช หรือสัตว์ไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ทำให้ได้สารเอสเทอร์ และเรียกไบโอดีเซลที่ได้ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา ถ้าเป็นเมทานอล เรียก “เมทิลเอสเทอร์”

(methyl esters) และถ้าเป็นเอทานอล เรียก "เอทิลเอสเทอร์" (ethyl esters) นอกจากนี้ ยังได้กลีเซอรีน (glycerine) หรือกลีเซอรอล (glycerol) เป็นผลพลอยได้ (Figure 2.5 และ 2.6) ซึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อาหารสัตว์ และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เป็นต้น

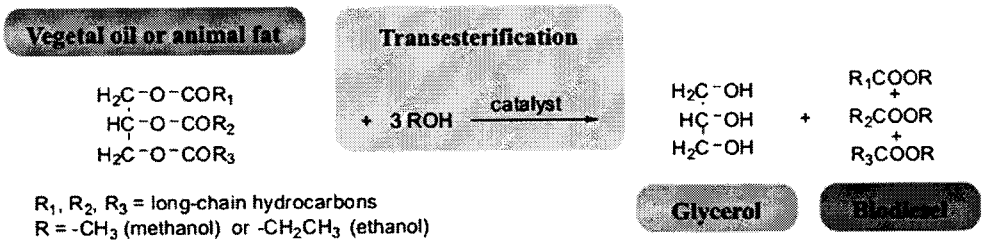


Figure 2.5 Biodiesel production: transesterification reaction of triglyceride to biodiesel with methanol

ที่มา: Leoneti et al. (2012)

การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลมีมามากกว่า 10 ปีที่ผ่านมา ทำให้ปริมาณของกลีเซอรีนดิบมากขึ้น (Figure 2.7) ในสหรัฐอเมริกา การผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 1.89 ล้านลิตรในปี ค.ศ. 1990 เป็น 2.65 พันล้านล้านลิตรในปี ค.ศ. 2008 เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มการส่งเสริม หรือเพิ่มมาตรการกระตุ้นทางภาษี (National Biodiesel Board, 2010) โดยมีโรงงานกระจายตามรัฐต่างๆ แสดงดัง Figure 2.8 ซึ่งได้รับความนิยมใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือก (alternative energy) มากขึ้นในปัจจุบัน ในปี ค.ศ. 2007 กลีเซอรีนบริสุทธิ์ทั่วโลกสามารถผลิตได้ประมาณ 90.9 พันล้านกิโลกรัมของตลาดกลีเซอรีน และตลาดอเมริกาผลิตได้ประมาณ 181.8 ล้านกิโลกรัม เปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ในประเทศประมาณ 159 ล้านกิโลกรัม (American soybean Association International Marketing, 2007)

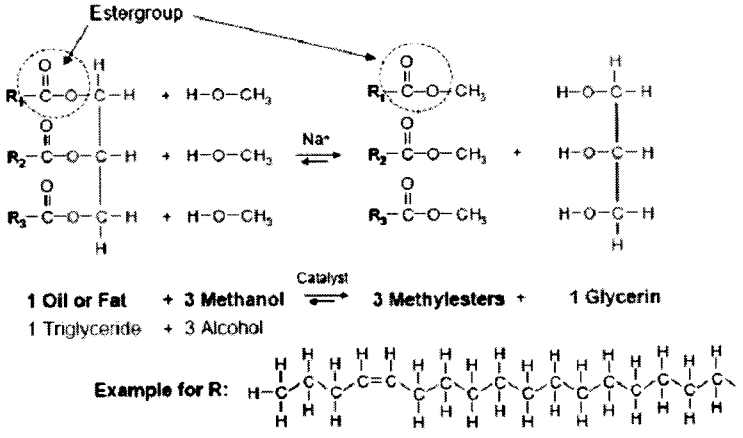


Figure 2.6 Transeterification of vegetable oil with methanol

ที่มา: Atadashi et al. (2012)

การเพิ่มขึ้นของ กลีเซอรีนดิบที่ใช้ประโยชน์ได้ส่งผลให้ราคาลดลง เป็นสาเหตุให้ผู้กลั่นไม่ได้รับผลกำไร ไม่คุ้มทุน และหาทางนำกลีเซอรีนส่วนเกินไปใช้ทางเลือกอื่น เช่น อาหารสัตว์ (animal feed) ในปี ค.ศ. 2006 กลีเซอรีนมีราคาขายระหว่าง 9-10 cents ต่อกิโลกรัม และสามารถซื้อได้ในราคา 3 cents หรือต่ำกว่า (Nilles, 2006)

จากที่กลีเซอรีนมีราคาถูก และข้าวโพดมีราคาแพง กระตุ้นให้ผู้ผลิตสัตว์หันมาให้ความสนใจ และหาวิธีประเมินกลีเซอรีนเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารทางเลือก (alternative feed resource) มากขึ้น

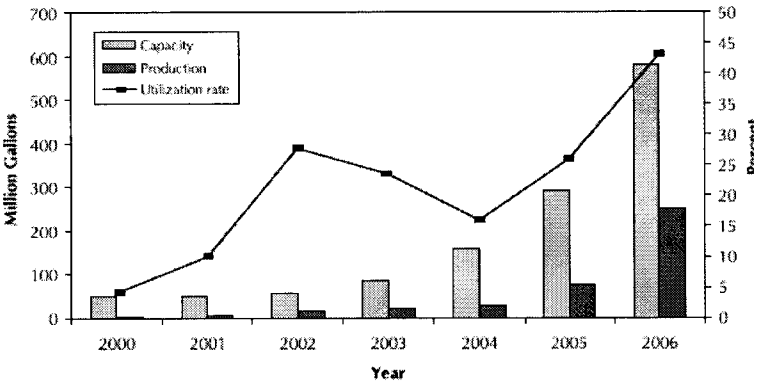


Figure 2.7 Biodiesel production from 2000-2006 in the United States (National Biodiesel Board)
ที่มา: National Biodiesel Board (2010)

จากการศึกษา ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 10 ลิตร จะได้กลีเซอรีนดิบเป็นผลผลิตพลอยได้ในปริมาณ 0.92 กิโลกรัม (Michnick et al., 1997) ขณะที่ สุธารักษ์ (2544) รายงานว่า การผลิตไบโอดีเซล 100 ลิตร จะได้กลีเซอรีนดิบเป็นผลผลิตพลอยได้ในปริมาณ 7 ลิตร หรือน้ำมันหรือไขมัน 100 lb จะได้กลีเซอรีน 10 lb (National Biodiesel Board, 2010) ซึ่งกลีเซอรีนดิบเป็นผลพลอยได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในอุตสาหกรรมยา ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ทำเชื้อเพลิงแทนแก๊สหุงต้ม และใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารสัตว์ เป็นต้น

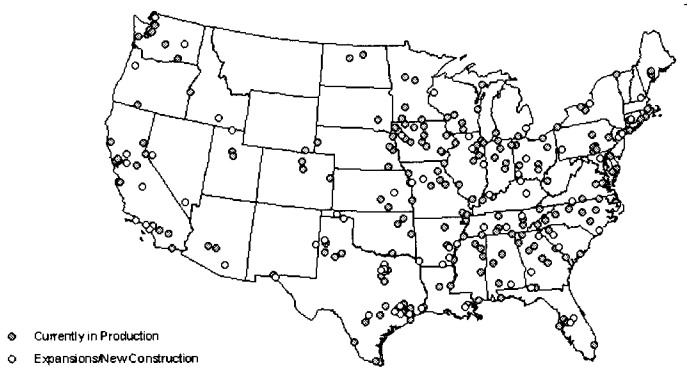


Figure 2.8 Biodiesel Plants in the United States in 2008 (Centers for Agricultural and Rural Development)
ที่มา: National Biodiesel Board (2010)

2.2.3.2 การผลิตไบโอดีเซล และกลีเซอรีนในประเทศไทย

ในประเทศไทย กรมธุรกิจพลังงาน (2556) รายงานว่า มีบริษัทที่จดทะเบียนเป็นผู้ผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (methyl esters of fatty acid) หรือบี100 ประมาณ 13 บริษัท ที่ได้รับความเห็นชอบการจำหน่าย หรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลมีกำลังผลิตรวมตั้งแต่ 50,000-1,400,000 ลิตร/วัน รวมกำลังการผลิตทั้งหมด 5,205,800 ลิตร/วัน หรือ 1,900,117,000 ลิตร/ปี (จากการคำนวณ) โดยบริษัทที่มีกำลังการผลิตสูงสุดคือ

บริษัทน้ำมันพืชปทุม จำกัด มีกำลังผลิต 1,400,000 ลิตร/วัน รองลงมาบริษัทพลังงานบริสุทธิ์ จำกัด มีกำลังผลิต 800,000 ลิตร/วัน และการผลิตต่ำสุดคือ บมจ. บางจากปิโตรเลียม มีกำลังผลิต 50,000 ลิตร/วัน ดังนั้น เมื่อคิดเป็นผลพลอยได้ของกลีเซอรีนดิบ ซึ่งเป็นผลพลอยได้หลักของการผลิตไบโอดีเซล โดยประมาณการได้ผลผลิตกลีเซอรีนดิบเท่ากับ 570,035,100 กิโลกรัม (จากการคำนวณ การผลิตไบโอดีเซล 3.78 ลิตร ได้กลีเซอรีนดิบ 0.3 กิโลกรัม, Thompson and He, 2006)

ดังนั้น การนำกลีเซอรีนดิบมาพัฒนาเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงแพะจึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารพลังงาน เพราะนอกจากจะเป็นการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ที่เหลือใช้จากการอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลพลอยได้ที่เหลือใช้จากการอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันอีกด้วย

2.2.4 องค์ประกอบของกลีเซอรีน (glycerin composition)

กลีเซอรีนในรูปบริสุทธิ์จะมีรสหวาน (sweet) มีกลิ่นน้อย (odorless) ของเหลวไม่มีสี (colorless lipid) ซึ่งมีความเหนียว (viscous) สามารถดูดความชื้นจากบรรยากาศ (hygroscopic) และมีจุดเดือดสูง บนพื้นฐานของความบริสุทธิ์ และการนำใช้กลีเซอรีนไปใช้ประโยชน์ สามารถแบ่งกลีเซอรีนเป็น 3 เกรด

1. Technical grade ไม่ใช้เป็นอาหารหรือ pharmaceutical แต่ใช้ในทางเคมี
2. United States Pharmacopeia (USP) เหมาะสำหรับทำอาหาร และนำไปทำผลิตภัณฑ์ยา
3. Kosher กลีเซอรีนจากแหล่งน้ำมันพืชสามารถนำไปใช้สำหรับการผลิต Kosher food products และโดยทั่วไปมีความบริสุทธิ์มากกว่า 99% (American Soybean Association International Marketing, 2007)

ในกลีเซอรีนดิบจะมีลักษณะของสีไม่แน่นอน ตั้งแต่ช่วง light amber ไปจนถึง dark brown เนื่องจากความไม่บริสุทธิ์ของกลีเซอรีนดิบ กลีเซอรีนดิบจะมีความบริสุทธิ์ประมาณ 60-85% ซึ่งยังมีสารอื่นๆ ตกค้างอยู่ด้วย ประกอบด้วยเกลือ เถ้า เมทธานอล (methanol) ไขมัน และน้ำ เป็นต้น ความเข้มข้นของความไม่บริสุทธิ์ มีความผันแปรสูงเนื่องจากสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในระหว่างการผลิต methanol recovery rate และสัดส่วนการตกค้างของไขมัน จากการศึกษาของ Goff (2009) รายงานตัวอย่างกลีเซอรีนดิบจากการผลิต biodiesel มีความเข้มข้นของเถ้า 4.79% และอยู่ในช่วง 1.28-8.98% ทำนองเดียวกับ Thompson and He (2006) รายงานว่า ความเข้มข้นของเถ้าอยู่ในช่วง 0.65-5.5% มี Na ช่วง 1.00-1.40% ไขมัน 1.1-60.1 % คาร์โบไฮเดรตช่วง 26.9-83.3% และโปรตีนช่วง 0.05-0.44% ในตัวอย่างกลีเซอรีนดิบที่ได้จากโรงงานต่างๆ ซึ่งความผันแปรทางองค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรีนดิบมีน้อยมากเมื่อวัตถุดิบที่ใช้ผลิตมาจากน้ำมันที่สะอาดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ใช้แล้ว (waste vegetable oil)

Kern et al. (2007) รายงานปริมาณของ methanol ของ 2 ตัวอย่างกลีเซอรอลจากโรงงานผลิตน้ำมันในเดือนพฤษภาคม และสิงหาคมปี ค.ศ. 2006 มีปริมาณ methanol 0.03 และ 0.32% ตามลำดับ ตามรายงานของ Gordan (2009) สำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยา (food and drug administration, FAD) ระบุว่า ระดับที่ปลอดภัย ปริมาณของสาร methanol ควรอยู่ในช่วง 5-20,000 mg/kg (0.0005-2%) และมี Sodium Sulfate (Salt) สูงสุดไม่เกิน 16,000 mg/kg (1.6%) ในกลีเซอรีนดิบที่จะนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ ความผันแปรของปริมาณ methanol ของกลีเซอรีนขึ้นอยู่กับจำนวนของ methanol ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล (Hansen et al., 2009) ดังนั้น FAD จึงได้กำหนดมาตรฐานค่าต่ำ-สูงสุดของปริมาณการตกค้างของสาร methanol ในกลีเซอรีนดิบที่ใช้คือ ระดับ 150-10,000 mg/kg (0.015-1%) ซึ่งเป็นระดับมาตรฐานระดับ

United States Pharmacopeia (USP) ของสหรัฐ ขณะที่ สหพันธ์รัฐเยอรมันได้กำหนดให้มีระดับ methanol ได้สูงสุด 5,000 mg/kg (0.5%) ในกลีเซอรีนดิบ ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยสำหรับการผลิตสัตว์ (Sellers, 2008) ส่วนในประเทศแคนาดาปริมาณของ methanol ในกลีเซอรีนยอมรับที่ระดับ 1,000 mg/kg (0.1%) ขณะที่ ในกลุ่มประเทศทางยุโรปยอมรับที่ระดับ 5,000 mg/kg และ 1% ของอาหาร หรือ 10,000 mg/kg ในรัฐเทกซัสของสหรัฐอเมริกา (Gordan, 2009)

เมทานอลเป็นสารตกค้างจากปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (transesterification) มีความเป็นพิษต่อสัตว์โดยเมื่อสัตว์ได้รับเมทานอลเข้าไป จะถูกเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (alcoholdehydrogenase) ในตับเปลี่ยนเมทานอลให้เป็นกรดฟอร์มิก (formic acid) และฟอมัลดีไฮด์ (formaldehyde) ซึ่งกรดฟอร์มิกที่เกิดขึ้นเป็นสาเหตุที่ทำให้ร่างกายเกิดภาวะเลือดเป็นกรดอย่างรุนแรง (severe metabolic acidosis) และจะทำให้สัตว์ตาบอดเนื่องจากประสาทตาถูกทำลาย (Kinoshita et al., 1998) และยังทำลายระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system) ทำให้อาเจียน (vomiting) ตาบอด (blindness) และเป็นโรค Parkinsonian-like motor disease ในสัตว์ (Kerr et al., 2007)

ความผันแปรในองค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรีนดิบที่ใช้ประกอบสูตรอาหารในการผลิตปศุสัตว์เป็นสิ่งที่ท้าทาย จุดนี้ยังไม่มีความชัดเจน และยังมีข้อมูลจำกัด ซึ่งความแตกต่างในองค์ประกอบทางเคมีอาจมีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ และระดับความเข้มข้นของ methanol ระดับใดที่อาจก่อให้เกิดโทษ หรือทำอันตรายต่อสัตว์ได้เป็นสิ่งที่ต้องมีการศึกษา และวิจัย ต่อไป

2.2.5 การใช้กลีเซอรีนในปศุสัตว์

2.2.5.1 คุณสมบัติของกลีเซอรีนดิบ

กลีเซอรีนดิบเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล สามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทให้พลังงานได้ (Cerrate et al., 2006) กลีเซอรีนดิบมีราคาถูกกว่าแหล่งวัตถุดิบให้พลังงานชนิดอื่นๆ กลีเซอรีนดิบเป็นของเหลวหนืดมีสีน้ำตาลเข้ม และมีความหวานประมาณ 60% ของน้ำตาล (~60% the sweetness of sucrose, National Biodiesel Board, 2010) มีกลิ่นของเมทานอลหรือแอลกอฮอล์ที่เจือปนอยู่ เมื่อนำกลีเซอรีนบริสุทธิ์มาหาค่าพลังงานรวม (gross energy) พบว่ามีค่าเท่ากับ 4,100 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (Brambilla and Hill, 1966) กลีเซอรีนดิบที่มีส่วนประกอบของกลีเซอรีนบริสุทธิ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ (National Biodiesel Board, 2010) มีค่าพลังงานรวมเท่ากับ 3,625 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (Dozier et al., 2008) และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันข้าวโพดพบว่ามีค่า 36 เปอร์เซ็นต์ของค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ปรากฏจากน้ำมันข้าวโพด (NRC, 1994) ดังนั้น กลีเซอรีนดิบจึงสามารถทดแทนโภชนะประเภทไขมัน หรือพลังงานได้บางส่วน (Dozier et al., 2008) เมื่อนำกลีเซอรีนดิบมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบที่เป็นแร่ธาตุ และกรดไขมัน พบว่ากลีเซอรีนดิบมีส่วนประกอบที่เป็นไขมัน (lipid) อยู่ประมาณ 25-35 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันที่พบคือ ปาล์มมิติก สเตียริก โอเลอิก และลิโนเลอิก มีแร่ธาตุปลีกย่อยที่พบคือ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส และกำมะถัน พบอยู่ในปริมาณ 4-163 ppm (Thompson and He, 2006)

กลีเซอรีนสามารถใช้เป็นอาหารแหล่งอาหารสัตว์ทางเลือกได้ในอุตสหกรรมการเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เป็นแหล่งของพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในอาหารแกะ (Musselman et al., 2008) โคเนื้อ (Schröder and Südekum,

1999) อาหารสุกร (Mourot et al., 1994; Lammers et al., 2007) และอาหารสัตว์ปีก (Cerrate et al., 2006; Dozier et al., 2008) เป็นต้น

ประโยชน์ของกลีเซอรีนดิบสามารถช่วยในด้านผลต่อความหยาบละเอียดของเนื้อ (texture) ของอาหารปศุสัตว์ โดยช่วยให้อนุภาคชิ้นอาหารขนาดเล็กรวมกัน ควบคุมฝุ่น และลดอนุภาคที่ละเอียด กลีเซอรีนยังช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานที่เกี่ยวกับการทำอาหารอัดเม็ดที่มีข้าวโพดเป็นหลักในอาหารสุกรเมื่อเสริมกลีเซอรีนดิบ 15% ของอาหารป่น (mash) (Groesbeck et al., 2008) ซึ่งผู้วิจัยยังรายงานว่า การเสริมกลีเซอรีนในสูตรอาหารประมาณ 9% เป็นระดับที่เหมาะในการทำอาหารอัดเม็ด (pellet durability indices, PDI)

2.2.5.2 กระบวนการหมักของกลีเซอรีนในกระเพาะรูเมน

กลีเซอรีนสามารถมีผลทางลบต่อกิจกรรมย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic activity) ของแบคทีเรียกลุ่มย่อยเยื่อใย (cellulolytic bacteria) ในกระเพาะรูเมน ส่งผลให้การย่อยสลายของเซลลูโลสจากกลุ่ม cellulolytic bacteria และ cellulolytic fungi ลดลง จากการศึกษาการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ (in vitro) ของสูตรอาหารที่ประกอบด้วยกลีเซอรีนระดับ 0.5% และ 5% ตามลำดับ (Roger et al., 1992) ทำนองเดียวกัน กลีเซอรีนทำให้ลดการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (in vitro dry matter digestibility, IVDMD) ของฟางข้าวโอ๊ต และ carboxymethyl-cellulose ซึ่งเป็นสารที่ละลายออกมาน้อยกว่าในพืชอาหารสัตว์ (Paggi et al., 2004) ผลของการยับยั้ง cellulolytic activity คล้ายกับความเข้มข้นของกลีเซอรีนในอาหารเลี้ยงเชื้อ (media) ในงานทดลองของ Roger et al. (1992) พบว่า ยับยั้ง fugal activity ทำนองเดียวกับ รายงานของ Parsons and Drovillard (2010) พบว่าความสามารถในการย่อยได้ของ NDF มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (Linear, P = 0.12) เมื่อโคตอนเจาะกระเพาะได้รับอาหารที่มีกลีเซอรีนระดับ 2 และ 4% (DM basis) ตามลำดับ แต่ตรงกันข้ามกับงานทดลองของ Hess et al. (2008) ที่รายงานว่า การย่อยได้ของเยื่อใยของหญ้าในช่วงฤดูร้อนไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเสริมกลีเซอรีนระดับ 15% ในสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่มีข้อสังเกตุพบว่า การย่อยได้ของเยื่อใยของหญ้าในช่วงฤดูหนาวลดลง ซึ่ง Krehbiel (2008) กล่าวว่าความแตกต่างของการย่อยได้ของเยื่อ อาจมีผลมาจากความสามารถของกลุ่มจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาในการปรับตัวให้เข้ากับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรีนตามการเพิ่มการดูดซึมของกลีเซอรีนที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร แต่การศึกษาในห้องปฏิบัติการอาจไม่ได้สะท้อนข้อมูลที่ถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในตัวสัตว์

Parsons and Drovillard (2010) ศึกษาในโคเจาะกระเพาะโดยให้โคมีเวลาปรับตัว 10 วัน ก่อนสุ่มตัวอย่าง ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอสำหรับการดูดซึม หรือการปรับตัวของจุลินทรีย์ มีข้อกังวลเกี่ยวกับการย่อยได้ของเยื่อใยถูกจำกัดในสูตรอาหารโคขุน เนื่องจากโดยทั่วไปมีปริมาณของเยื่อใยต่ำในสูตรอาหาร มีผลกระทบทางลบต่อสมรรถภาพของสัตว์ทำนองเดียวกับสูตรอาหารที่มีปริมาณของ distiller's grains เป็นส่วนประกอบอยู่ในสูตรอาหารปริมาณมาก

เมื่อพิจารณาเมแทบอลิซึมของโปรตีนพบว่า การเสริมกลีเซอรีนที่มีสัดส่วน หรือมีความเข้มข้นระดับปานกลางในกระเพาะรูเมนช่วยปรับสมดุลการใช้ประโยชน์ของโปรตีน การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรีนจาก 50 mM ถึง 300 mM ในห้องปฏิบัติการพบว่า proteolytic activity ในของเหลวของน้ำในกระเพาะรูเมนลดลง 20% ทุกระดับความเข้มข้นของกลีเซอรีน (Paggie et. al., 1999) ทำนองเดียวกับการลดลงของการสังเคราะห์โปรตีนของแบคทีเรีย และความเข้มข้นของกรดไขมันกลุ่ม branched chain VFA จากการทดลองของ Kijora et al. (1998)

เมื่อเสริมกลีเซอรีนระดับ 200g วันละ 2 ครั้ง ในกระเพาะรูเมน เป็นเวลา 6 วัน จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น ในปัจจุบัน ยังไม่มีข้อสรุปความชัดเจนเกี่ยวกับอิทธิพลของกลีเซอรีนต่อการย่อยได้ขององค์ประกอบในอาหาร ยกเว้นการทดลองเสริมกลีเซอรีนในแต่ละการทดลองที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งมีบทบาทที่สำคัญต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ดังนั้น การทราบองค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรีนที่ใช้ในแต่ละการทดลอง จะแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของที่แท้จริงขององค์ประกอบกลีเซอรีนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน

2.2.5.3 เมแทบอลิซึมของกลีเซอรีนในกระเพาะรูเมน

ปัจจุบันยังไม่มีความชัดเจนเกี่ยวกับกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acids, VFAs) มีการสังเคราะห์อย่างไรในกระเพาะรูเมน ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลเมื่อกลีเซอรีนถูกเมแทบอไลท์อย่างรวดเร็ว Garton et al. (1961) รายงานว่า กลีเซอรอลถูกหมัก และเปลี่ยนไปเป็น VFAs ใน in vitro แต่สามารถตรวจสอบได้เพียงครึ่งหนึ่งของกลีเซอรีนทั้งหมดเท่านั้น ซึ่งถูกเมแทบอไลท์ไปเป็น C_3 ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของ VFA ที่ผลิตได้ สอดคล้องกับรายงานของ Johns (1953) พบว่า C_3 เพิ่มขึ้นทั้งการศึกษาใน in vitro และ in vivo ในกระเพาะรูเมนของแกะเมื่อมีการเสริมกลีเซอรอล นอกจากนี้ การบ่มกลีเซอรอลด้วยเศษเหลือจากกระเพาะรูเมน (rumen contents) ของโค พบว่าทำให้เพิ่ม C_2 และ C_3 ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายหลัก (main end products) ของกระบวนการเมแทบอลิซึมกลีเซอรอล (Wright, 1969)

ขณะที่นักวิจัยอื่นๆ กล่าวว่า ปริมาณความเข้มข้นของ C_3 และ C_4 การเพิ่มขึ้น แต่การผลิต C_2 ลดลงเมื่อเสริมกลีเซอรีน (Czerkawski and Breckenride, 1972; Rémond et al., 1993; Kijora et al., 1998) และการให้อาหารที่มีการเสริมกลีเซอรีนดิบที่ระดับ 0, 2 หรือ 4% (DM basis) ในอาหารโคขุนที่ได้รับการเจาะกระเพาะพบว่าความเข้มข้นของ C_2, C_4 และ Valerate มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (Linear, $P \leq 0.06$) ตามระดับกลีเซอรีนที่เพิ่มขึ้น แต่ C_3 ไม่มีเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลของสูตรอาหาร (Parsons and Drouillard, 2010) สอดคล้องกับรายงานของ Trabue et al. (2007) ที่พบว่า ผลผลิตของ C_2 ลดลง ขณะที่ C_3 ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผสมกลีเซอรอลกับของเหลวในกระเพาะรูเมนจากแม่โคนมที่ได้รับอาหารที่ประกอบด้วย 50% อาหารข้น และ 50% ของอาหารหยาบ ทำนองเดียวกับผลผลิตของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid, TVFA) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเสริมกลีเซอรีนในอาหารข้นของโคเนื้อ (Mach et al., 2009; Parsons and Drouilland, 2010)

ขณะที่ lactic acid และ succinic acid เป็นผลผลิตที่ได้จากการเมแทบอไลท์กลีเซอรอลเช่นเดียวกัน (Stewart and Bryant, 1988) ทำนองเดียวกับ Jarvis et al. (1997) ที่รายงานว่า สัดส่วนของ formate และ ethanol ที่ได้จากการหมักกลีเซอรีนโดยแบคทีเรีย *Klebsiella planticola* มีความเข้มข้นเท่ากัน เมื่อเศษเหลือจากกระเพาะรูเมน (rumen content) ของ red deer ถูกใช้ประโยชน์ กลีเซอรีนเป็นสารที่สามารถถูกเมแทบอไลท์เป็นผลผลิตสุดท้ายที่หลากหลายดังข้อมูลที่กล่าวมา ซึ่งความแตกต่างอาจเนื่องมาจากชนิดของอาหาร และชนิดประชากรของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกระเพาะรูเมน

2.2.5.4 เมแทบอลิซึม และการสังเคราะห์กลูโคสจากกลีเซอรีน

กลีเซอรีนเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์กลูโคสในรูปของ glycerol 3-phosphate (G3P) โดยเป็นโครงคาร์บอน (carbon skeleton) สำหรับกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส (gluconeogenesis) (Lin, 1977) ซึ่ง Mourot et al. (1994) ได้ให้ข้อมูลพื้นฐาน และอธิบายว่ากลีเซอรอลแตกตัวออกจากเมแทบอลิซึมของ

triacylglycerol อย่างไร แล้วถูกเปลี่ยนแปลงกลับไปเป็นกลูโคสผ่านทางกระบวนการ phosphorylation ในรูปของ glycerol 3-phosphate (catalysed by glycerol kinase) แล้วเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์เป็นกลูโคสที่ตับ เป็นแหล่งของพลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทันทีสำหรับสัตว์ เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับลูกสัตว์ที่พึ่งหย่านมใหม่ๆ ซึ่งมีสภาพขาดแคลนพลังงาน วิถีการการสังเคราะห์กลูโคสแสดงดัง Figure 2.9

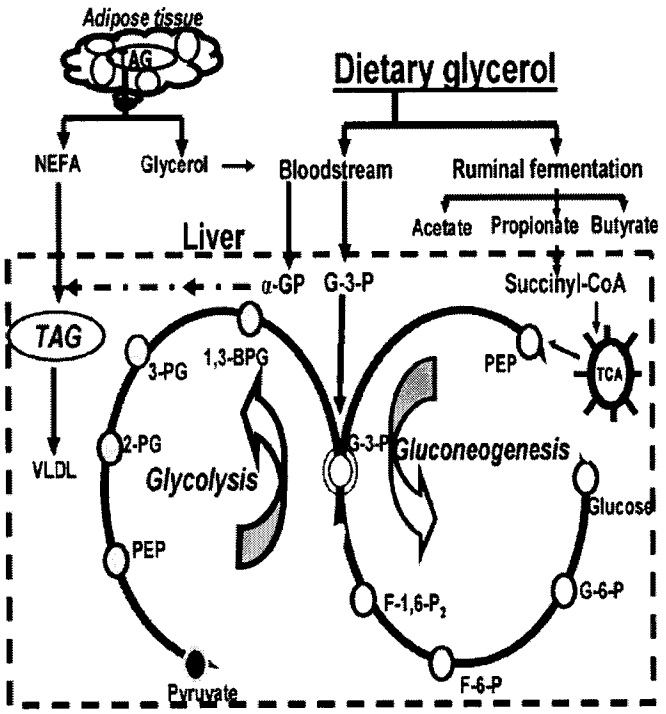


Figure 2.9 Proposed metabolism of glycerol in ruminant animals

ที่มา: Osman et al. (2008)

กลีเซอรอลที่ถูกกินผ่านทางอาหารจะถูกดูดซึมจากรอบเซลล์ (paracellular) เข้าสู่ภายในเซลล์ โดยกระบวนการแพร่แบบไม่ใช้พลังงาน หรือการแพร่ธรรมดา (simple passive diffusion) และจากการศึกษาใน in situ ปัจจุบัน มีหลักฐานสำหรับการขนส่งกลีเซอรอลในลำไส้เล็กของหนูพบว่า ต้องอาศัยตัวพา (carrier) นำไปคือ Na^+ ที่เรียกว่า การแพร่ผ่านเยื่อเซลล์โดยรวมตัวชั่วคราวกับตัวพา (Na^+-dependent carrier-mediated transport system หรือ sodium co-transport) เป็นตัวขนส่ง (Kato et al., 2005) แล้วกลีเซอรอลจะถูกขนส่งไปที่ตับผ่านทางเส้นเลือดดำ (portal vein) และเป็นสารตั้งต้นของกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส กระบวนการที่เกิดเป็นไปในทำนองเดียวกับการใช้กลีเซอรอลที่ได้มาจากการสลายตัวของ triacylglycerol (triacylglycerol catabolism) ภายในเซลล์

กระบวนการสังเคราะห์กลูโคสในมนุษย์ (humans) หนู (mice) สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม (mammals) โดยทั่วไปเกิดที่ตับเป็นหลัก แม้ว่าอวัยวะอื่น เช่น ไต และสมองสามารถสังเคราะห์ได้บ้างโดยกระบวนการนี้ (Lin, 1977) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคนม กลีเซอรอลถูกใช้เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส และใช้รักษาสภาวะการเกิด ketosis ในช่วงระหว่าง transition period ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950's (Griffiths, 1952; Johnson 1954; Fisher et al., 1973) ดังนั้น ในปัจจุบัน กลีเซอรอลจึงถูกใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Schröeder

and Südekum, 1999) กลีเซอรอลสามารถถูกใช้เป็นผสมในอาหารข้นอัดเม็ด โรยบนผิวหน้าของอาหารที่ให้สัตว์กิน (topdress in diets) หรือให้ทางปาก (oral drench supplement) (Schröeder and Südekum, 1999; Goff and Horst, 2001; Defrain et al., 2004)

2.4 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้กลีเซอรีนในอาหารสัตว์

2.4.1 การใช้กลีเซอรีนดิบในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

กลีเซอรีนเป็นผลพลอยได้ (by-product) จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไขมันในการผลิต biodiesel (Ma and Hanna, 1999) ในองค์ประกอบหลักของกลีเซอรอลประกอบด้วย tri-alcohol โดยทั่วไปเป็นโครงร่าง (backbone) ของ riglycerides และสารตัวกลาง (intermediary metabolite) ของกระบวนการของ glycolysis และ gluconeogenesis (Lin, 1977) มีความพยายามหาวิธีการหลายอย่างเพื่อหาแหล่งเชื้อเพลิง และลดการพึ่งพาน้ำมันเชื้อเพลิง (petroleum) ปัจจุบัน โลกหันมาผลิตไบโอดีเซลเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก ไบโอดีเซลถูกผลิตมาจากน้ำมันพืช หรือสัตว์ รวมทั้งน้ำมันที่ใช้แล้ว กลีเซอรีนที่ได้มาจากกระบวนการนี้มีองค์ประกอบหลักคือ กลีเซอรอล และมีน้ำ และเมทานอลเล็กน้อย แต่ขึ้นอยู่กับเกรดความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอล (Schröeder and Südekum, 1999) สมการโดยทั่วไป และสัดส่วนโดยประมาณของการทำปฏิกิริยา แสดงดังสมการข้างล่าง

100 liters of oil + 10 liters of methanol = 100 liters of Biodiesel + 10 liters of glycerin

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 10 ลิตร Michnick et al. (1997) กล่าวว่า จะได้กลีเซอรีนดิบเป็นผลผลิตพลอยได้ในปริมาณ 0.92 กิโลกรัม ขณะที่ สุธารักษ์ (2544) รายงานว่า การผลิตไบโอดีเซล 100 ลิตร จะได้กลีเซอรีนดิบเป็นผลผลิตพลอยได้ในปริมาณ 7 ลิตร หรือน้ำมันหรือไขมัน 100 lb จะได้กลีเซอรีน 10 lb (National Biodiesel Board, 2010) ซึ่งกลีเซอรีนดิบเป็นผลพลอยได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในอุตสาหกรรมยา ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ทำเชื้อเพลิงแทนแก๊สหุงต้ม และใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารสัตว์ เป็นต้น

กลีเซอรีนได้รับการยอมรับว่าเป็นวัตถุดิบที่มีความปลอดภัย (FDA, 2007, 21 C.F.R 582.1320) ถูกจัดอยู่ในกลุ่มวัตถุดิบแต่งเติมโดยทั่วไป (general purpose food additive) ดังนั้น สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ อย่างไรก็ตาม ความไม่บริสุทธิ์ของกลีเซอรีน เช่น มีการปนเปื้อนของเมทานอลเป็นสิ่งที่ควรระมัดระวัง และควรมีไม่เกิน 1% (10,000 ppm) DM ในอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง (FDA, 2007) และ Shröeder and Südekum (1999) แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้กลีเซอรีนในอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง และสรุปว่ากลีเซอรีนเป็นสารตั้งต้นของกลูโคส กลีเซอรีนเป็นองค์ประกอบที่ดีของอาหาร แม้ว่าอาจจะอยู่ในรูปที่ไม่บริสุทธิ์ ดังนั้น กลีเซอรีนอาจเสริมเป็นวัตถุดิบในอาหารผสมสำเร็จ (TMR) หรืออาหารข้นอัดเม็ด ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพของอาหารให้ดีขึ้น

2.4.2 ผลการใช้กลีเซอรีนดิบในโคเนื้อ และโคนม

การศึกษาในโคเนื้อขุน พบว่าสามารถใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารได้ 10% ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร และไม่มีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก (Pyatt et al., 2007) และการศึกษาของ Elam et al. (2008) พบว่าการเสริมกลีเซอรีนดิบ 0, 7.5 และ 15% ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการ

ใช้อาหาร แต่ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งมีแนวโน้มลดลง ปัจจุบันแม้ว่ามีการศึกษาการเสริมกลีเซอรีนดิบในอาหารโคขุนกันมากขึ้น (Versemann et al., 2008; Parsons et al., 2009) แต่ผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากยังมีความผันแปร และไม่สม่ำเสมอ

การใช้ประโยชน์กลีเซอรีนดิบในอาหารปศุสัตว์ยังให้ผลที่ยังไม่แน่นอน Parsons et al. (2009) รายงานว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake, DMI) เมื่อเสริมกลีเซอรีนระดับ 2% ในอาหาร แต่ DMI ลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (Linear, $P<0.001$; Quadratic, $P = 0.014$) เมื่อระดับของกลีเซอรีนเพิ่มขึ้นเป็น 4, 8, 12 และ 16% ของอาหารขุนที่มีข้าวโพดอบไอน้ำ (steam-flaked corn) เป็นหลัก ทำนองเดียวกัน DMI ลดลง 10.1% เมื่อเสริมกลีเซอรีนดิบระดับ 10% ของข้าวโพดแห้งอัดแผ่น (dry-rolled corn diets) ในอาหารโคขุน (Pyatt et al., 2007) ทำนองเดียวกับ Elam et al. (2008) พบว่า ปริมาณการกินได้มีแนวโน้มลดลงเป็นสมการเส้นตรงเมื่อระดับกลีเซอรีนเพิ่มขึ้นเป็น 7.5 และ 15% ของอาหาร ในทางตรงกันข้าม Mach et al. (2009) รายงานว่า ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของ Hotstein bull ที่ได้รับอาหารที่มี barley-based เสริมกลีเซอรีน 0-12% ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$)

Wang et al. (2009) ศึกษาการเสริมกลีเซอรีนดิบที่ระดับ 0, 100, 200 และ 300g glycerol/hd/d ต่อการย่อยได้ กระบวนการหมัก และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนพบว่า การย่อยได้ กรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มแบบสมการเส้นตรง และยังเพิ่มการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน แต่ NH_3-N ลดลงตามระดับการเสริมกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้น จากการทดลองสรุปว่า การใช้กลีเซอรีนช่วยเพิ่มการย่อยได้ ปรับปรุงกระบวนการหมัก (เพิ่ม C_3) และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนของโค แม้ว่า NH_3-N ลดลงแต่ไม่มีผลต่อสมรรถภาพของสัตว์

Ramos and Kerley (2011) ศึกษาการเสริมกลีเซอรีนดิบที่ระดับ 0, 5, 10 และ 20% ของวัตถุแห้งต่อกระบวนการหมักในหลอดทดลอง และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของโคขุน พบว่าไม่มีผลต่อกระบวนการหมักในหลอดทดลอง (การทดลองที่ 1) ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของโคขุน (การทดลองที่ 2)

Bartoň et al. (2013) ศึกษาอิทธิพลของการเสริมกลีเซอรีนระยะยาว (251 วัน) ต่อสมรรถภาพ ลักษณะทางซาก คุณภาพเนื้อ เมแทบอไลท์ในกระแสเลือด และกระเพาะรูเมน พบว่าการเสริมกลีเซอรีนในอาหารโคขุนระยะยาว ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดเฉลี่ย สมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของโคขุนที่ได้รับกลีเซอรีน (0-10%) รวมทั้งไม่มีผลต่อเมแทบอไลท์ในกระแสเลือด และกระเพาะรูเมน สรุปว่าสามารถใช้กลีเซอรีนระยะยาวได้ โดยทดแทนข้าวบาร์เลย์ในระดับ 0-10% DM ในอาหารโคขุน และ Gunn et al. (2011c) ศึกษาผลการใช้กลีเซอรีนร่วมกับกากส่าเหล้าแห้ง (DDGS) ในลูกโคเนื้อระยะหย่านม พบว่าการเสริมกลีเซอรีน (15% DM) ร่วมกับกากส่าเหล้าแห้งระดับ (30% DM) ช่วยเพิ่มสมรรถภาพลูกโคขุน และคุณภาพของเกรดซาก เมื่อโคได้รับอาหารที่มีข้าวโพดเป็นหลัก

การศึกษาในโคนม Donkin et al. (2009) ศึกษาการใช้กลีเซอรีนทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารแม่โครีดนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียนที่ระดับ 0, 5, 10 และ 15% เป็นเวลา 56 วัน พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ (23.8, 24.6, 24.8 และ 24.0±0.7 kg/d) ผลผลิตน้ำนม (36.3, 37.2, 37.9 และ 36.2±1.6 kg/d) และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ยกเว้น ยูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำนมลดลง (12.5±0.4 to 10.2±0.4 mg/dL) ตามระดับการใช้การใช้กลีเซอรีนที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ แม่โครีดนมที่ได้รับกลีเซอรีนทดแทนระดับ 10 และ 15% มีน้ำหนักตัวเพิ่มมากกว่าแม่โครีดนมที่ได้รับ

กลีเซอรีนทดแทนระดับ 0 และ 5% แต่คะแนนความสมบูรณ์ของร่างกายไม่แตกต่างกัน ($P<0.05$) ดังนั้น จึงสามารถใช้กลีเซอรีนระดับ 15% โดยไม่มีผลต่อสมรรถภาพการเจิญเติบโตของโค

Schröder and Südekum (1999) ศึกษาการใช้กลีเซอรีนดิบระดับ 0-10% ในสูตรอาหารแม่โคนมพบว่าสามารถทดแทนแหล่งของแป้งในสูตรอาหารได้ครึ่งหนึ่ง โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน การย่อยได้ในกระเพาะรูเมน หรือสัมประสิทธิ์ของการย่อยได้ทั้งหมด

แม่โคนมก่อนอุ้มท้อง (prepartum dairy cows) ที่ได้รับอาหารกลีเซอรีน 5% มีปริมาณการกินได้ของอาหารแห้งดีกว่ากลุ่มอื่นๆ แต่ปริมาณการกินได้ลดลงเมื่อได้รับอาหารที่มีกลีเซอรีน 5.3% ภายหลังคลอดลูก (Ogborn, 2006) มากกว่านั้น จากการศึกษาในโคนมพบว่าไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้เมื่อเสริมกลีเซอรีนในอาหาร 0-10% ของอาหารแห้งในอาหารที่มีพืชอาหารสัตว์เป็นหลัก (Schröder and Südekum, 1999; DeFrain et al., 2004; Chung et al., 2007) และในแกะขุนการเสริมกลีเซอรีนในอาหารได้สูงถึง 20% โดยไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของแกะ (Gunn et al., 2010a)

การให้อาหารที่มีระดับกลีเซอรีนดินเพิ่มขึ้นอาจเปลี่ยนแปลงความสามารถในการย่อยได้ของอาหาร และเปลี่ยนแปลงกลุ่มประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน Groesbeck et al. (2008) กล่าวว่า สามารถเพิ่มปริมาณการกินได้ของลิกโนเซลลูโลส (ADFI) ในสุกรที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่มีกลีเซอรีนเสริมในอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้น้ำมันถั่วเหลืองเสริมในอาหารอัดเม็ด ($P=0.08$)

มีการใช้กลีเซอรอลเพื่อใช้ในการรักษาโรค Ketosis ในช่วงต้นของระยะให้นมในปี ค.ศ. 1954 (Johnson et al., 1954) และมีการประเมินการใช้กลีเซอรอลในการรักษา Ketosis ต่อเนื่องในปี ค.ศ. 1970 (Fisher et al., 1973) ระดับที่ใช้ในสูตรอาหารในการศึกษาครั้งนี้อยู่ในช่วง 160 และ 472 กรัมต่อวัน (Fisher et al., 1973; Khalili et al., 1997) มากกว่านั้น ในปัจจุบันกลีเซอรอลถูกทดลองนำมาใช้ป้องกัน และรักษาโรคปัญหาทางเมแทบอลิซึม (metabolic problem) ซึ่งสัมพันธ์กับช่วงระยะปรับเปลี่ยนของแม่โค (transition cows) Goff and Host (2001) ใช้กลีเซอรอล 0-3 ลิตร ใช้ป้องกัน และรักษาอาการ Ketosis และ DeFrain et al. (2004) ให้กลีเซอรอล 0.86 kg/d ในช่วงระยะปรับเปลี่ยนของแม่โคนม การเสริมกลีเซอรอล 162.5 g/d (DM basis) ที่มีปริมาณกลีเซอรอล 65% (65% food grade glycerol) ไม่ได้มีผลต่อปริมาณการกินได้ ผลผลิต และองค์ประกอบน้ำนม เมแทบอไลท์ในกระแสเลือด หรือความเข้มข้นของอินซูลิน (insulin) ในซีรั่มในช่วง 3 สัปดาห์แรกของการให้น้ำนม แต่มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นในช่วง 3 สัปดาห์หลังหยุดการให้อาหาร (Chung et al., 2007) จากการศึกษา แสดงให้เห็นคุณค่าของกลีเซอรอลมีศักยภาพเป็นแหล่งพลังงานในการรักษา Ketosis

2.4.3 ผลการใช้กลีเซอรีนดิบในแกะ

Musselman et al. (2008) ประเมินผลการใช้กลีเซอรีนที่ระดับ 0, 15, 30 และ 45% ของวัตถุแห้งในแกะขุน พบว่า สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากยังมีความผันแปร แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้กลีเซอรีนที่ระดับมากกว่า 30% ขณะที่ ระดับ 0-15% ไม่มีความแตกต่างกัน อาจเนื่องจาก มีการเสริมกลีเซอรีนระดับสูงเกินไป สอดคล้องกับ Gunn et al. (2010a) รายงานผลการใช้กลีเซอรีนดิบที่ระดับ 0, 5, 10, 15 และ 20% ของวัตถุแห้งในแกะขุน พบว่าปริมาณการกินได้ของอาหาร (linear, $P = 0.004$) และอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตามระดับกลีเซอรีนที่เพิ่มขึ้น (quadratic, $P = 0.05$) แต่คุณภาพซากไม่แตกต่างกัน ขณะที่ Pethick et al. (1999) รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีน

ร่วมกับ propylene (3.5% + 1.5% DM) ในอาหารแกะสามารถเพิ่มคุณภาพเนื้อ และกระตุ้นการเพิ่มไกลโคเจน (glycogen) ในมัดกล้ามเนื้อทำให้เนื้อมีคุณภาพดีขึ้น

Gomes et al. (2011) ศึกษาผลของการเพิ่มระดับกลีเซอรีนในอาหารข้น (0, 15 และ 30% DM) ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และลักษณะทางซากของแกะ พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DMI) คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจากการทดลองสรุปว่า สามารถใช้กลีเซอรีนได้ในระดับ 15-30% DM ในสูตรอาหารโดยไม่มีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และลักษณะทางซากของแกะ

Terré et al. (2011) ศึกษาผลของการเพิ่มระดับกลีเซอรีนในอาหารข้น (0, 5 และ 10% DM) พบว่าการเสริมกลีเซอรีนในอาหารข้น (0-10% DM) ในช่วงระหว่างการขุนไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลผลิตของแกะ ปริมาณการกินอาหารข้น หรืออาหารหยาบ (ฟาง) ค่าเมแทบอไลท์ในกระแสเลือด การพัฒนาของผนังกระเพาะรูเมน และกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอก *(Longissimus dorsi)* ทำนองเดียวกับ Avila-Stagno et al. (2013) ศึกษาผลของการเพิ่มระดับกลีเซอรีนในอาหารข้น (0, 7, 14, 21% DM) ต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ การปลดปล่อยก๊าซ CH_4 การเจริญเติบโต กรดไขมัน และลักษณะทางซากของแกะ พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DMI) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) พลังงานรวม (GE) และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, CP, NDF, ADF และ DE) การปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ไม่แตกต่างกัน ทำนองเดียวกับคุณภาพซาก และปริมาณกรดไขมันในกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกัน แม้ว่า ปริมาณการกินได้ของโภชนะ (NDF และ ADF) มีแนวโน้มลดลง (P= 0.06 และ P= 0.20 ตามลำดับ) จากการทดลองสรุปว่า สามารถใช้กลีเซอรีนได้ในระดับ 21% DM และช่วยปรับปรุงปริมาณกรดไขมันในซาก

Meale et al. (2013) ศึกษาผลของการเสริมกลีเซอรีน (0, 6, 12% DM) ต่อผลผลิตขน พฤติกรรมการกินอาหาร และคะแนนความสมบูรณ์ของร่างกายแกะ Merino ewes พบว่าปริมาณการกินได้ และ ADG ไม่แตกต่างกัน (P= 0.59) ทำนองเดียวกับ ผลผลิต ความยาว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความละเอียดของขนไม่แตกต่างกัน (P≥13) จากการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า สามารถใช้กลีเซอรีนในอาหารได้ในระดับ 0-12% DM โดยไม่มีผลต่อผลผลิต และคุณภาพของขนแกะ

2.4.4 ผลการใช้กลีเซอรีนดิบในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง (Glycerin in Livestock and Poultry Diets)

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง Dozier et al. (2008) ศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่ปรากฏ (AME_n) ของกลีเซอรีนดิบในไก่เนื้อพบว่า มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ปรากฏของกลีเซอรีนดิบเท่ากับ 3,621 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และในไก่ทดลองที่ได้รับอาหารสูตรมาตรฐานผสมกลีเซอรีนดิบ 6 เปอร์เซ็นต์ มีการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ปรากฏสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และพบว่าไก่ทดลองมีการกินได้ที่เพิ่มสูงขึ้น และมีค่าพลังงานรวมที่ได้รับเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยไม่มีผลต่อน้ำหนักตัว พลังงานที่เหลือในมูล และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ สรุปได้ว่า ระดับกลีเซอรีนดิบที่ผสมอยู่ในอาหารเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการกิน และค่าพลังงานรวมที่ได้รับมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทำนองเดียวกับ Cerrate et al. (2006) ที่ศึกษาการเจริญเติบโต และลักษณะซากของไก่เนื้อพันธุ์ Cobb 500 ได้รับการเสริมกลีเซอรีนดิบ 0, 5 หรือ 10% พบว่าไก่ที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 5% มีน้ำหนักตัว ปริมาณการกินได้ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการตาย เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมแล้วไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในทุกช่วงอายุ ส่วนไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรีนดิบ 10% มีน้ำหนักตัวที่อายุ

14 วัน ไม่แตกต่างกับไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรีนดิบ 0-5% แต่ในไก่ทดลองที่อายุ 35 และ 42 วันที่ได้รับอาหารเสริมด้วยกลีเซอรีนดิบ 10% มีน้ำหนักตัวน้อยกว่าไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรีนดิบ 0-5%

ในไก่ไข่ Lammers et al. (2008) ทำการศึกษาเกี่ยวกับระดับการย่อยได้ปรากฏของกลีเซอรีนดิบในไก่ไข่ ตั้งแต่ระยะเริ่มแรกของการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างทรีทเมนต์ (P = 0.06) แต่มีการเพิ่มของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ (AME_n) จากการเสริมกลีเซอรีนดิบในอาหาร เมื่อมาหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) พบว่า กลีเซอรีนดิบมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 3,805 ± 238 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ปริมาณการกินได้แต่ละวันพบว่ามีค่าเท่ากับ 104±4.0 กรัม/วัน จำนวนไข่ที่ผลิตได้เท่ากับ 93.0±2.6 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักไข่มีค่าเท่ากับ 56±0.9 กรัม และค่าพลังงานรวมของกลีเซอรีนบริสุทธิ์ (>99 %) เท่ากับ 4,305±30 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

ส่วนในสุกร Lammers et al. (2007) พบว่าคุณค่าพลังงานของกลีเซอรีนมีค่าเท่ากับค่าพลังงานของข้าวโพด ซึ่ง Kijora et al. (1995) กล่าวว่า สามารถใช้กลีเซอรีนในสูตรอาหารสุกรได้ในระดับ 0-10% แต่ถ้าใช้กลีเซอรีนในสูตรอาหารมากกว่า 10% จะมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ สรุปจากการตรวจเอกสาร สามารถใช้กลีเซอรีนในอาหารปศุสัตว์อยู่ในช่วง 0-20% DM ของอาหาร และสัตว์ปีกอยู่ในช่วง 0-10% DM ของอาหาร ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ความเข้าใจในองค์ประกอบของกลีเซอรีนอย่างถูกต้องเป็นจุดที่สำคัญในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ เพื่อให้แน่ใจในความปลอดภัยในทางปฏิบัติในการใช้เป็นอาหารสัตว์

โดยสรุปจากการตรวจเอกสารจะเห็นได้ว่า สามารถใช้กลีเซอรีนดิบเป็นส่วนประกอบในอาหารสำหรับโค เนื้อ โคนม แกะ และสัตว์ปีกได้ โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยรายงานการวิจัยที่เกี่ยวกับผลการใช้กลีเซอรีนดิบในอาหารข้นต่อกระบวนการหมัก และนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องยังมีจำกัด โดยเฉพาะในแพะเนื้อ และแพะนมที่เลี้ยงในภาคใต้ยังมีข้อมูลไม่ชัดเจน และมีจำกัด จึงควรมีการศึกษาวิจัยในประเด็นดังกล่าวเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปสู่การพัฒนาการใช้ประโยชน์จากกลีเซอรีนดิบในอาหารข้น และ/ หรืออาหารผสมครบส่วน หรืออาหารผสมสำเร็จรูป (total mixed ration, TMR) สำหรับเลี้ยงแพะเนื้อ และแพะนมต่อไป

โดยมีสมมุติฐานคือ การเสริมกลีเซอรีนดิบเป็นส่วนประกอบในอาหารผสมครบส่วนของแพะทำให้ปริมาณการกินได้ การย่อยได้ กระบวนการหมัก สมดุลไนโตรเจน สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแพะเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปสู่การพัฒนาการใช้ประโยชน์จากกลีเซอรีนดิบในอาหารข้น และอาหารผสมครบส่วน (TMR) สำหรับเลี้ยงแพะต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ การทดลองแบ่งออกเป็นการทดลองย่อยๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ ซึ่งในแต่ละการทดลองมีรายละเอียดหลายงาน โดยแผนงานการวิจัยภายใต้โครงการ "ผลของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก สมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ" โดยมุ่งเน้นในเรื่องการนำใช้ และหาแนวทางใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารแพะเพื่อใช้ร่วมกับอาหารที่มีอยู่ในท้องถิ่นในการเพิ่มผลผลิตของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยการศึกษาครั้งนี้มีกิจกรรมการวิจัยแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยๆ ดังนี้

การทดลองที่ 1. การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมักและสมดุลไนโตรเจนในแพะ

1.1 การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของกลีเซอรีนดิบ

เก็บตัวอย่างกลีเซอรีนดิบที่ใช้ในการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เช่น วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เถ้า เยื่อใย ไขมัน และแร่ธาตุ เป็นต้น ตามวิธีการของ AOAC (1995) และวิเคราะห์ค่าอื่นๆ เช่น pH, density (AOCS, 2006), total glycerol (AOCS, 2006), methanol (GC-FID) ตามวิธีการมาตรฐาน (AOAC, 1995)

1.2 การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมักและสมดุลไนโตรเจนในแพะ

1. แผนการทดลองและกลุ่มทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ 4x4 Latin square design โดยมีกลุ่มทดลอง (treatment) เป็นอาหารผสมครบส่วน (TMR) มีอัตราส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ (หญ้าซิกแนลแห้ง) 75:25 อาหารทดลอง (dietary treatment) มี 4 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

อาหารทดลองที่ 1 (T1: กลุ่มควบคุม) อาหารผสมครบส่วนที่มีกลีเซอรีนดิบ 0%

อาหารทดลองที่ 2 (T2) อาหารผสมครบส่วนที่มีกลีเซอรีนดิบ 5%

อาหารทดลองที่ 3 (T3) อาหารผสมครบส่วนที่มีกลีเซอรีนดิบ 10%

อาหารทดลองที่ 4 (T4) อาหารผสมครบส่วนที่มีกลีเซอรีนดิบ 20%

การทดลอง แบ่งระยะเวลาการทดลองออกเป็น 4 ช่วงการทดลอง (period) โดยในแต่ละช่วงการทดลองใช้เวลา 21 วัน แพะทดลองทุกตัวได้รับอาหารทดลองจนครบทุกกลุ่มอาหาร

2. สัตว์ทดลอง

ใช้แพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50% เพศผู้ จำนวน 4 ตัว อายุเฉลี่ยประมาณ 16-18 เดือน โดยแพะมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 26.0±3.0 กิโลกรัม ในช่วงปรับสัตว์ก่อนเข้างานทดลองฉีดยาถ่ายพยาธิภายนอกและภายใน (Ivermax) อัตราการใช้ยา 2 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว 50 กิโลกรัม และฉีดไวตามิน เอดีอี (AD_3E) อัตราการใช้ยา 2 มิลลิลิตร ต่อตัวทุกตัว นอกจากนี้ฉีดวัคซีนเพื่อป้องกันโรคติดต่อที่สำคัญได้แก่ วัคซีนโรคคอบวมและโรคปากและเท้าเปื่อย

3. อาหารและการเตรียมอาหารทดลอง

อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารผสมครบส่วนที่มีสัดส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ (หญ้าซิกแนลแห้ง) 75:25 โดยใช้กลีเซอรีนดิบระดับต่างๆ ทดแทนแหล่งพลังงานจากข้าวโพดตามแผนการทดลอง 4 สูตร (Table 3.1)

สูตรอาหารข้นมีโปรตีนหยาบ 15 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 2.63 Mcal/kg ME โดยสูตรอาหารมีระดับโภชนาการต่างๆ ครบตามความต้องการของแพะตามคำแนะนำของ NRC (1981) แพะทุกตัวถูกขังในคอกขังเดี่ยวได้รับอาหารอย่างอิสระ แบ่งให้กิน 2 ครั้ง เวลา 8.00 และ 16.00 น. สัตว์จะได้รับการปรับตัวกับอาหารทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์ก่อนที่สุ่มเก็บตัวอย่าง

Table 3.1 Ingredients and chemical composition of goat diets containing increasing amounts of crude glycerin (% DM basis)

	Dietary crude glycerin (% of dietary DM) [1]			
Item	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)
Ingredients, %				
Crude glycerin[2]	0.00	5.00	10.00	20.00
Ground corn, GC	46.00	41.00	35.45	24.50
Soybean meal, SBM (44% CP)	16.20	16.10	16.55	18.21
Fish meal, 55% CP	2.00	2.00	2.00	2.00
Leucaena leave meal, LLM	6.00	6.00	6.00	5.65
Plicatulum hay, PH	25.00	25.00	25.00	25.00
Molasses	3.00	3.00	3.00	2.54
Salt	0.20	0.20	0.20	0.20
Dicalcium phosphate	0.30	0.30	0.30	0.30
Urea	0.30	0.40	0.50	0.60
Mineral and vitamin mix[2]	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	100.0	100.0	100.0	100.0
Estimated nutrients (%)				
TDN, %	72.81	72.72	72.63	72.74
CP	15.00	15.00	15.00	15.00
ME, Mcal/kg DM[3]*	2.63	2.63	2.63	2.63
Cost, bath/kg[4]	11.40	11.03	10.71	10.12
Reduction cost, %	0.00	3.25	6.05	11.23

[1] T1 = Level of crude glycerin (CG) 0%, T2 = Level of CG 5%, T3 = Level of CG 10%, T4 = Level of CG 20%.

[2] Contained 85.7% glycerol, 8.6% water, 1.24% sodium, and 0.09% methanol (Colorless, odorless, viscous liquid obtained from Biodiesel Producers, New Biodiesel, Surat Thani Province, Thailand.).

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

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

* Calculated with an estimated ME for glycerol of 3.47 Mcal/kg of DM. (Mach et al., 2009)

[4] Crude glycerin = 4.5, ground corn = 12, soybean meal = 21, fish meal = 28, leucaena leave meal = 11, plicatulum hay = 1, molasses = 12.8, salt = 10, dicalcium phosphate = 10, urea = 25, Mineral and vitamin = 50 baht/kg, (Reference of price of feed Ingredients by Department of Animal Science, Prince of songkla university Hat Yai Campus, 12 November, 2012).

4. การให้อาหารสัตว์ทดลอง

4.1 ระยะปรับสัตว์ (adjusting period) ทำการสุ่มสัตว์ทดลองตามแผนการทดลองแบบ 4 x 4 Latin square design โดยสัตว์จะได้รับอาหารตามกลุ่มทดลองเป็นเวลา 14 วัน โดยสัตว์จะได้กินอาหารผสมครบส่วนอย่างเต็มที่ทุกกลุ่มทดลอง เพื่อทำการศึกษาปริมาณการกินได้อย่างอิสระ (voluntary feed intake) 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

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

5. การเก็บข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง

5.1 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) อีกส่วนหนึ่ง ทำการเก็บตัวอย่างอาหารเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีหลังผสมในสัปดาห์ที่ 1 และ 2

5.2 การชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลอง

ชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองเป็นจำนวน 3 ครั้งในแต่ละช่วงการทดลองคือครั้งที่ 1 ชั่งก่อนเข้างานทดลอง เป็นช่วงก่อนเข้าระยะปรับสัตว์ทดลองช่วงการทดลองที่ 1 ชั่งครั้งที่ 2 หลังจากปรับสัตว์และจะนำสัตว์ขึ้นกรงเมทธาโบลิซึม

และครั้งที่ 3 หลังจากเสร็จการทดลองในแต่ละช่วงการทดลอง คือ หลังจากเก็บตัวอย่างบนกรงเมทธาโบลิซึม ทำการจดบันทึก ตลอดจนกระทั่งเสร็จการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของสัตว์ทดลอง

5.3 การวัดและการสุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะหมัก (rumen fluid)

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

ส่วนที่ 1 สุ่มเก็บประมาณ 40 มิลลิลิตร เติม 1M H_2SO_4 จำนวน 1 มิลลิลิตรต่อของเหลวจากรูเมน 10 มิลลิลิตร เพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาเฉพาะส่วนที่ใส (supernatant) เก็บไว้ประมาณ 20-35 มิลลิลิตร นำไปเก็บในตู้แช่แข็งอุณหภูมิประมาณ –20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen, NH_3-N) โดยวิธีการกลั่น (Bremner and Keeney, 1965) โดยใช้เครื่อง KJELTEC AUTO 2200 Analyzer (Foss, TECATOR) และของเหลวอีกส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid, TVFA) และกรดไขมันระเหยได้ที่สำคัญได้แก่ กรดอะซีติก (acetic acid, C_2) กรดโพรพิออนิก (propionic acid, C_3) และกรดบิวทีริก (butyric acid, C_4) โดยใช้เครื่อง HPLC (Hewlett Packard) ประกอบด้วย water 510 pump (Millipore), UV Detector 210nm., ODS reverse phase column (5μ, 40x250mm) ดัดแปลงตามวิธีการของ Samuel et al. (1997)

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

5.4 การสุ่มเก็บตัวอย่างเลือด

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

5.5 การสุ่มเก็บตัวอย่างปัสสาวะ

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

5.6 การสุ่มเก็บตัวอย่างมูล

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

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

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

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

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

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 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)

การทดลองที่ 2 การศึกษาการเจริญเติบโต และคุณภาพซากในแพะเนื้อ

1. สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ ทำการศึกษาโดยใช้แพะรุ่นลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50% เพศผู้จำนวน 24 ตัว (น้ำหนักตัวเฉลี่ย 17.4± 1.8 กก.) โดยทำการเลี้ยงแพะในคอกขังเดี่ยวยกพื้น จำนวน 24 คอก ภายในคอกมีรางน้ำ รางอาหารและอาหารหยาบแยกออกจากกัน แบ่งสัตว์ออกเป็น 4 กลุ่มทดลอง (treatments) ตามแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (block = น้ำหนัก) โดยมีกลุ่มทดลอง (treatment) เป็นอาหารผสมครบส่วนสูตรต่างๆ คืออาหารผสมครบส่วนที่มีกลีเซอรีนดิบ 0, 5, 10, 20% กลุ่มการทดลองละ 6 ซ้ำ รวมทั้งหมดจำนวน 24 ตัว โดยแพะทุกตัวได้รับการถ่ายพยาธิภายในและให้วัคซีนป้องกันโรคปากและเท้าเปื่อยและควบคุมพยาธิและโรคอื่นๆ อย่างใกล้ชิดในระหว่างการทดลอง

2. อาหารและการเตรียมอาหารทดลอง (ตามรายละเอียดในการทดลองย่อยที่ 1.2 ข้อ 3)

อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารผสมครบส่วนที่มีสัดส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ (หญ้าซิกแนลแห้ง) 75:25 โดยใช้กลีเซอรีนดิบระดับต่างๆ ตามแผนการทดลอง สูตรอาหารข้นมีโปรตีนหยาบ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยสูตรอาหารมีระดับโภชนาการต่างๆ ครบตามความต้องการของแพะตามคำแนะนำของ NRC (1981) แพะทุกตัวถูกขังในคอกขังเดี่ยวได้รับอาหารอย่างอิสระ แบ่งให้กิน 2 ครั้ง เวลา 8.00 และ 16.00 น. สัตว์จะได้รับการปรับตัวกับอาหารทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์ก่อนที่สุ่มเก็บตัวอย่าง

3. การจัดการดูแลสัตว์ทดลอง การเก็บข้อมูล และการเก็บตัวอย่าง

การปรับสัตว์ก่อนเริ่มงานทดลองเพื่อให้คุ้นเคยกับสูตรอาหารเป็นเวลา 14 วัน โดยให้ได้รับอาหารทีละน้อยจนกระทั่งได้รับสูตรอาหารเต็มที่ (*ad libitum*) ทำการทดลองเป็นเวลา 91 วัน บันทึกปริมาณอาหารที่แพะกินตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยชั่งน้ำหนักอาหารที่เหลือวันถัดไป แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณการกินได้ในแต่ละวัน ชั่งน้ำหนัก และบันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวแพะทุกๆ 2 สัปดาห์ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาอัตราการเจริญเติบโต

3.1 การเก็บตัวอย่างเลือด ทำการเก็บตัวอย่างเลือดก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังให้อาหาร 4 ชั่วโมง ในวันสุดท้ายของระยะทดลอง โดยเก็บตัวอย่างเลือดจากเส้นเลือดดำใหญ่บริเวณคอ (jugular vein) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เพื่อนำมาวิเคราะห์กลูโคสในเลือด (blood glucose) **(ตามรายละเอียดในการทดลองย่อยที่ 1.2 ข้อ 5.4)**

3.2 การฆ่า และชำแหละซาก เมื่อเลี้ยงแพะครบกำหนด 91 วัน สุ่มแพะกลุ่มละ 3 ตัว นำมาฆ่าและชำแหละซากตามวิธีการของ สุทธิพงศ์ (2540) ซึ่งมีวิธีการ ดังนี้

3.2.1 การเตรียมแพะก่อนฆ่า ชั่งน้ำหนักแพะทุกตัวก่อนอดอาหาร จากนั้นทำการอดอาหารประมาณ 24 ชั่วโมง โดยมีน้ำให้แพะกินตลอดเวลา แล้วชั่งน้ำหนักตัวแพะหลังจากอดอาหาร (fasted live weight, FLW)

3.2.2 การฆ่าแพะและการเก็บซาก ทำการเชือดคอบริเวณเส้นเลือดดำใหญ่ที่คอ (jugular vein) เอาเลือดออกให้เร็วที่สุด จากนั้นชั่งน้ำหนักแพะหลังฆ่า ทำการเลาะผิวหนัง เริ่มด้วยการเลาะผิวหนังบริเวณแข้ง (shank) ทั้ง 4 ข้างออก แล้วใช้มีดกรีดบริเวณข้อพับด้านในของแข้งทั้งสี่จนมาถึงท้องเป็นแนวกึ่งกลางลำตัว จากนั้นค่อยๆ เลาะผิวหนังออกจากเนื้อ เมื่อเลาะผิวหนังเสร็จทำการตัดแข้งทั้ง 4 กับหัวแพะ เอาอวัยวะภายในออกโดยใช้มีดกรีดตามแนวด้านท้อง เพื่อเอาอวัยวะภายในออก จากนั้นชั่ง และบันทึกน้ำหนักของอวัยวะต่างๆ ได้แก่ หัว หนัง ระบบทางเดินอาหาร แข้งทั้งสี่ หาง ตับ ปอด และหลอดลม ไขมัน อัณฑะ องคชาต กระบังลม ม้าม หัวใจ และไตทั้งสอง หลังจาก

นั้นชั่งน้ำหนักซากไม่รวมหัว และเท้า จะได้น้ำหนักซากอุ่น (hot carcass weight, HCW) แล้วเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 2±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการคิดเปอร์เซ็นต์ซากอุ่น

3.2.3 การตัดแต่งซาก และชำแหละซาก นำซากแพะออกจากตู้แช่ โดยทยอยนำออกจากตู้แช่ครั้งละซาก และชั่งน้ำหนักซากแพะจะได้น้ำหนักซากเย็น (chilled carcass weight, CCW) ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง ทำการแบ่งซากออกเป็น 2 ซีก แล้วชั่งน้ำหนักซากทั้ง 2 ซีก วัดความยาวซากจากตำแหน่งซี่โครงซี่ที่ 1 (anterior edge of the 1st rib) จนถึงกระดูกเชิงกราน (anterior edge of aitch bone) วัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก (*Longissimus dors,* LD) จากบริเวณกระดูกซี่โครงซี่ที่ 12 กับ 13 (12th and 13th ribs) ของซากแพะซีกซ้าย หลังจากนั้นคิดเปอร์เซ็นต์ซากทั้ง 2 ซาก โดยใช้กรรระดาษลอกลายตามวิธีการของ สุทธิพงศ์ (2540) (ภาคผนวก 2) ทำการตัดซากแพะแบบสากลตามรายละเอียดของ มกอช. (2549) ได้แก่ ไหล่ (shoulder) สันซี่โครง (rack) สันสะเอว (loin) สะโพก (chump) ขาหน้า (fore leg) อก (breast) คอ (neck) และขาหลัง (leg) แล้วชั่งน้ำหนัก (ภาคผนวก ก-1 และ 2)

3.2.4 เก็บตัวอย่างเนื้อสันนอกส่วนหนึ่งที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิประมาณ 4°C นาน 24 ชั่วโมง เพื่อนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ได้แก่ ค่าสี (color) การสูญเสียน้ำออกจากเนื้อ (drip loss) ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และกรดไขมัน เป็นต้น

3.2.4.1 การวัดค่าสีของเนื้อ ทำการตรวจวัดค่าสีทางกายภาพด้วยเครื่องวัดสี HunterLab color meter ด้วยการอธิบายสีของเนื้อให้อยู่ในรูปของ CIE (Complete International Comission on Illumination, Hunter Color Quest XE) โดยแบ่งค่าสีออกเป็น 3 เฉดสี คือ L*, a* และ b* โดยที่ L* หมายถึง ความสว่างของสี (lightness) ซึ่งจะอยู่ในเฉดสีดำจนถึงขาว a* หมายถึง ค่าความแดง (redness) ซึ่งจะอยู่ในเฉดสีเขียวจนถึงแดง และ b* หมายถึง ค่าความเหลือง (yellowness) ซึ่งมีเฉดสีตั้งแต่สีน้ำเงินไปถึงสีเหลือง

3.2.4.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ทำการวิเคราะห์ค่าแรงตัดผ่านเนื้อด้วยเครื่อง Warner Brazler shear force (Texture analyzer, Stable Micro System, TA-XTPlus, UK) (ภาคผนวก ก-3)

3.2.4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ โดยวิเคราะห์หาความชื้น โปรตีน ไขมันรวม และเถ้า (AOAC, 1995)

3.2.4.4 การวิเคราะห์หากรดไขมัน ทำการวิเคราะห์กรดไขมันดัดแปลงตามวิธีการของ Folch et al. (1957) โดยทำให้อยู่ในรูป methyl ester แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันโดยเทคนิค Gas Chromatography (GC) โดยสกัดไขมันด้วยคลอโรฟอร์ม : เมธานอล (2:1) (Lepage and Roy, 1986) ทำเมธิลเลชั่นด้วยกรดไฮโดรคลอริก และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC Agilent Technoloies 6890N โดยใช้ตัวตรวจวัดแบบ FID (Flame ionization detector)

3.2.4.5 การสูญเสียน้ำออกจากเนื้อ ทำการวัดค่าการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อ ตามวิธีการของ Honickel (1987) อ้างโดยสัญชัย (2543) โดยสุ่มเนื้อมาตัดเป็นชิ้นขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการซับให้แห้ง ชั่งน้ำหนักจากนั้นห่อด้วยผ้าก๊อตแล้วบรรจุถุงพลาสติกแขวนไว้ในตู้เย็น 4°C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาจากถุงแล้วซับให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนักเนื้อ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากการสูญเสียก่อน และหลังแช่เย็น

4. ข้อมูลที่นำมาศึกษา

4.1 น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (Average daily gain, ADG)

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

4.2 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed conversion ratio, FCR)

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

4.3 ปริมาณการกินได้ (Feed intake, FI)

= ปริมาณอาหารที่กิน – ปริมาณอาหารที่เหลือ

4.4 เปอร์เซ็นต์ซาก

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

5. การวิเคราะห์ต้นทุนการเลี้ยงแพะ

ทำการวิเคราะห์ต้นทุนการเลี้ยงแพะ ได้แก่ ต้นทุนค่าอาหารที่ใช้เลี้ยงแพะทั้งหมด ต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวแพะที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ต้นทุนการเลี้ยงแพะทั้งหมด กำไรเมื่อหักต้นทุนการเลี้ยงแพะทั้งหมด และกำไรเมื่อหักเฉพาะต้นทุนค่าอาหาร (ภาคผนวก ข)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของน้ำหนักตัวเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักตัวเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินได้ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร น้ำหนักซาก น้ำหนักอวัยวะภายในต่างๆ น้ำหนักซากที่ตัดแต่ง ค่าความหนาของไขมันสันหลัง ไขมันช่องท้อง พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ค่าสี ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ และต้นทุนการเลี้ยงแพะ เป็นต้น โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) (Steel and Torrie, 1980)

7. สถานที่ทำการทดลอง และเก็บข้อมูล

1. หมวดแพะ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

3. โรงผสมอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

4. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

5. สถานีวิจัย และพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก (สถานีวิจัยฝึกภาคสนามคลองหอยโข่ง) วิทยาเขตหาดใหญ่

6. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร และโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

8. ระยะเวลาทำการวิจัย

ใช้เวลาทดลอง 1 ปี ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2555 - เดือนกันยายน 2556

บทที่ 4
ผลการทดลอง และวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมักและสมดุลไนโตรเจนในแพะ

4.1.1 การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของกลีเซอรีนดิบ

4.1.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรีนดิบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก บจ. นิว ไบโอดีเซล (New Biodiesel Co., Ltd.) ตั้งอยู่ที่ 23 หมู่ 6 ต. เสวียด อ. ท่าฉาง จ. สุราษฎร์ธานี 84150 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรีนดิบที่ใช้ในการทดลอง (Table 4.1.1) กลีเซอรีนดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีแหล่งผลิตมาจากโรงงานผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) ขนาดใหญ่มีกำลังการผลิตประมาณ 220,000 ลิตรต่อวัน โดยวัตถุดิบที่ใช้มาจากน้ำมันพืช คือน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil, CPO) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) นำมาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification reaction) (Van Gerpen, 2005; Moser, 2009) หมายถึง กระบวนการของปฏิกิริยาเคมีที่มีการแทนที่หมู่แอลกอฮอล์ (alcohol) ในเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์อีกชนิดหนึ่ง โดยใช้เมทานอล (methanol) และใช้เบส (base) คือ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ หรือที่เรียกว่า methyl esters หรือน้ำมันไบโอดีเซล (petro-biodiesel) และกลีเซอรีนดิบ (crude glycerol) (ASTM, 2008; Moser, 2009)

Table 4.1.1 Characterization and physicochemical parameter of crude glycerin of crude palm oil (CPO)[1, 2]

Items	Value	Notes
Information of crude glycerin[1]		
Source	Crude palm oil (CPO)[2]	-
Biodiesel process	Transesterification	-
Reactant	Methanol (MeOH)	-
Catalyst agent	NaOH	-
Physical properties		
Visual evaluation	Light yellow, transparent	-
Color	L*= 32.43, a* = 14.79, b* = 43.76	[3] L (lightness)*: 0 = black to 100 = white; a (redness)*: 0 = green to 100 = red; b (yellowness)*: 0 = blue to 100 = yellow
Odor	Odorless, mild pleasant aroma	-

[1] Crude glycerin was obtained from New Biodiesel Co., Ltd., Surat Thani Province, Thailand.

[2] Crude palm oil = CPO.

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

สอดคล้องกับ Hansen et al. (2009) กล่าวว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification reaction) คือปฏิกิริยาการเปลี่ยนหมู่แอลคอกซิล (alkoxyl group, RO-) ของเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลเล็กกว่า หรืออาจเรียกว่า ปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยแอลกอฮอล์ (alcoholysis reaction) ปฏิกิริยานี้จะใช้เตรียมเอสเทอร์ในกรณีที่ไม่สามารถเตรียมได้ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification reaction) ได้โดยตรง จึงถูกนำมาใช้เตรียมเอสเทอร์ของกรดไขมันเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน (alternative automotive fuel) หรือพลังงานทางเลือก (alternative energy) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Lee et al., 2002)

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรีนดิบ พบว่ากลีเซอรีนดิบที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นของเหลวใส (โปร่ง) ไม่ขุ่น มีสีเหลืองอ่อน (light yellow) (Figure 4.1.1) โดยมีค่าสี L*, a* และ b* เฉลี่ยเท่ากับ 32.43, 14.78 และ 43.76 ตามลำดับ (Table 4.1.1) มีกลิ่นหอมอ่อนๆ ไม่มีกลิ่นฉุนของเมทานอล และมีรสหวานเล็กน้อย ละลายได้ดีในน้ำ มีความหนืดเล็กน้อย

Figure 4.1.1 The color of crude glycerin samples is very apparent[1]

[1]Crude glycerin was obtained from New Biodiesel Co., Ltd., Surat Thani Province, Thailand.

อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรีนดิบขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิด และแหล่งที่มาของน้ำมัน หรือไขมัน กรรมวิธีการผลิตไบโอดีเซล (Dasari, 2007; Kerr et al., 2007; Thompson and He, 2006; Kerr et al., 2009) ปริมาณเมทานอล กลีเซอรอล กรดไขมันอิสระ (FFA) และการปนเปื้อนของสารตกค้างต่างๆ ประกอบด้วยเถ้า โปรตีน ไขมัน น้ำ เกลือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม เป็นต้น (Donkin and Doane, 2007) โดยเฉพาะความหนืดจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของแข็งในกลีเซอรีนดิบ ซึ่งโปรตีนจะมีผลต่อความหนืดมาก (ปิยนาฏ, 2547)

4.1.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรีนดิบ

ผลการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของกลีเซอรีนดิบที่ใช้ในการทดลอง พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความชื้น เถ้ารวม โปรตีนรวม ไขมันรวม และพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 8.07%, 3.34%, 0.01%, 0.30% และ 3989.82 kcal/kg ตามลำดับ (Table 4.1.2) ขณะที่ มีค่าเฉลี่ยของธาตุ Na, Cl, K และ S เท่ากับ 1.24, 1.56, 0.01 และ 0.1% ตามลำดับ และมีธาตุ Ca และ P เท่ากับ 0.0045 และ 0.0059% ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ ใกล้เคียงกับรายงานของ Kerr et al. (2007) ที่รายงานว่า ค่าเฉลี่ยของกลีเซอรีนดิบที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองมีความชื้น 9.22% เถ้ารวม 3.19% โปรตีนรวม 0.41% ไขมันรวม 0.12% กลีเซอรอล 86.95% เมทานอล 0.028%, Na 1.26%, Cl 1.86%, K <0.005%, FFA 0.29% และพลังงานรวม 3,625 kcal/kg ตามลำดับ และ Gunn et al. (2010a) รายงาน

ว่า ค่าเฉลี่ยของกลีเซอรีนดิบที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองมีความชื้น 8.26% เถ้ารวม 3.63% โปรตีนรวม 0.50% กลีเซอรอล 87.50% เมทานอล 0.009% Na 3.57%, S <0.10%, FFA <0.005%

Table 4.1.2 Characterization of crude glycerin from crude palm oil (CPO) [1, 2]

Items	Value	Analytical method
Analysis		
Moisture (Miost.), %	8.07	AOAC[3] method 984.20
Ash[4], %	3.34	AOAC method 942.05
Crude protein (CP), %	0.01	AOAC method 990.03
Ether extract (EE), %	0.30	AOAC method 920.39 (A)
Crude fiber (CF), %	0.00	AOAC method 973.18
Gross energy (GE kcal/kg)	3,989.82	Adiabatic bomb calorimeter
Sodium (Na), %	1.24	AOAC methods 956.01, 9.15.01
Chloride (Cl), %	1.56	AOAC method 943.01
Potassium (K), %	0.01	AOAC method 956.01
Sulfur (S), %	0.10	AOAC method 956.01
Calcium (Ca), %	0.0045	AOAC method 2.019, 9.15.01
Phosphorus (P), %	0.0059	AOAC method 2.019, 2.095-7.098

[1] Crude glycerin was obtained from New biodiesel Co., Ltd., Surat Thani Province.

[2] Analysis by Central Laboratories (Songkhla, SK), Co., Ltd., Songkhla 90110, Thailand.

[3] AOAC (1995).

[4] Notes: Expressed as a percentage of crude glycerin DM.

ทำนองเดียวกับ Shields et al. (2010) ที่รายงานว่า ค่าเฉลี่ยของกลีเซอรีนมีความชื้น 9.22%, Na 1.26%, Cl 1.86% และกลีเซอรอล 86.95% ซึ่งองค์ประกอบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิด และแหล่งของน้ำมัน หรือไขมัน ความบริสุทธิ์ สารปนเปื้อน และกรรมวิธีการผลิตไบโอดีเซล เป็นต้น (Thompson and He, 2006; Dasari, 2007; Kerr et al., 2009) ตรงกันข้ามกับรายงานของ Settapong and Wattanachant (2010) ที่รายงานว่า กลีเซอรีนดิบที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มที่มาจากแหล่งผลิตขนาดใหญ่ (large scale) มีความชื้น 4.27% เถ้ารวม 1.44% โปรตีนรวม 0.48% ไขมันรวม 0.22% และพลังงานรวม 4,650.22 kcal/kg

ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ ของกลีเซอรีนดิบที่ใช้ในการทดลองพบว่ามีค่าเฉลี่ยของกลีเซอรีนรวมเท่ากับ 86.72% เมทานอล 0.64% กรดไขมันอิสระ 0.71% ค่าความกรด-ด่าง 9.48, MONG 2.57% ความหนาแน่น 1.27 ความถ่วงจำเพาะ 1.25 และค่าความหนืด 10.06 (Table 4.1.3) ใกล้เคียงกับรายงานของ Kerr et al. (2007); Shields et al. (2011) อย่างไรก็ตาม ส่วนประกอบทางโภชนะของกลีเซอรีนดิบขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ แหล่งของน้ำมัน หรือไขมัน กรรมวิธีการผลิตไบโอดีเซล และปริมาณของแข็งในกลีเซอรีน (Thompson and He, 2006; Dasari, 2007; Kerr et al., 2009) ซึ่งกลีเซอรีนดิบที่ศึกษาครั้งนี้ได้มาจากกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า transesterification และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีนในการศึกษาครั้งนี้พบว่า มีมาตราฐานความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีนดิบระดับปานกลาง (medium) สอดคล้องกับ Schröder and Südekum (1999); Hippen et al. (2008) ที่กล่าวว่าความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลสามารถแบ่งออกได้ 3 ระดับ คือ 1) ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลระดับต่ำ (low) มีกลีเซ

อรอล 83.3%, Na 0.11, methanol 26.7% 2) ระดับปานกลาง (medium) มีกลีเซอรอล 85.3%, Na 0.09 และ methanol 0.04% และ 3) ระดับสูงมีกลีเซอรอล 99.8%, Na 0.0 และ methanol 0.0% ตามลำดับ

Table 4.1.3 Characterization of crude glycerin from crude palm oil (CPO) [1, 2]

Items	Value, %	Analytical method
Specifications		
Total glycerin, %	87.61	ASTM D 6584-00E01, titration assay (AOCS, 2006)
Methanol, %	0.64	GC/MS with head space technique, 973.23 (AOAC, 1995)
Free fatty acid (FFA), %	0.11	GC/MS with head space technique, 973.23 (AOAC, 1995)
pH	9.48	Orion 230A pH meter with 9107 BN probe, (ISO 12185)
MONG[3]	2.57	ISO 2464, ISO 2464-1973 (slightly modified)
Density, (g/cm^3) at 28°C	1.27	ASTMD1298 (AOCS, 2006)
Specific gravity (g/ml)	1.25	(AOCS, 2006)
Viscosity (cs) at 40°C	10.36	Viscometer (MJ 800S), ASTM D445 (ASTM, 2006)

[1] Crude glycerin was obtained from New biodiesel Co., Ltd., Surat Thani Province.

[2] Analyses by Central Laboratories (Songkhla, SK), Co., Ltd., Songkhla 90110, Thailand.

[3] MONG: matter organic non-glycerol. Defined as 100 – [glycerol content (%) + water content (%) + ash content (%)]. (Yong et al., 2001)

โดยเฉพาะระดับค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่ตกค้างในกลีเซอรีรอลดิบเป็นปัจจัยสำคัญที่จะนำมาพิจารณาก่อนที่จะนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ (animal feed) Gordan (2009) รายงานว่า สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (food and drug administration, FAD) ระบุว่า ระดับที่ปลอดภัยปริมาณของสาร methanol ควรอยู่ในช่วง 5-20,000 mg/kg (0.0005-2%) และมี Sodium Sulfate (Salt) สูงสุดไม่เกิน 16,000 mg/kg (1.6%) ในกลีเซอรีนดิบที่จะนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ ความผันแปรของปริมาณ methanol ของกลีเซอรีนขึ้นอยู่กับจำนวนของ methanol ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล (Hansen et al., 2009) ดังนั้น FAD จึงได้กำหนดมาตรฐานค่าต่ำ-สูงสุดของปริมาณการตกค้างของสาร methanol ในกลีเซอรีนดิบที่ใช้คือ ระดับ 150-10,000 mg/kg (0.015-1%) ซึ่งเป็นระดับมาตรฐานระดับ United States Pharmacopeia (USP) ของสหรัฐ (Donkin and Doane, 2007; Feedstuffs, 2007; Gordan, 2009) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ ที่ระดับเมทานอลในกลีเซอรีรอลดิบ (0.64%) ไม่เกิน 1% ดังนั้น สรุปได้ว่า สามารถนำกลีเซอรีรอลดิบมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ทางเลือก เพื่อทดแทนวัตถุดิบพลังงานที่ขาดแคลน หรือมีราคาแพงได้ เช่น ข้าวโพด ปลายข้าว หรือรำข้าว เป็นต้น โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพของสัตว์ อย่างไรก็ตาม ระดับมาตรฐานของแต่ละประเทศอาจแตกต่างกัน เช่น สหพันธ์รัฐเยอรมันได้กำหนดให้มีระดับ methanol ได้สูงสุด 5,000 mg/kg (0.5%) ในกลีเซอรีนดิบ ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยสำหรับการผลิตสัตว์ (Sellers, 2008) ส่วนในประเทศแคนาดาปริมาณของ methanol ในกลีเซอรีนยอมรับที่ระดับ 1,000 mg/kg (0.1%) ขณะที่ ในกลุ่มประเทศทางยุโรปยอมรับที่ระดับ 5,000 mg/kg และ 1% ของอาหาร หรือ 10,000 mg/kg ในรัฐเทกซัสของสหรัฐอเมริกา (Gordan, 2009)

4.1.2 ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (Chemical composition of the experimental diets)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารผสมเสร็จ (total mixed ration, TMR) ที่ใช้ในการทดลอง ที่ประกอบด้วยข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง หญ้าพลิแคททูลั่มแห้ง และกลีเซอรีนดิบระดับต่างๆ (Table 4.1.4) พบว่ามีค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง (DM) เถ้ารวม (ash) อินทรียวัตถุ (OM) ไขมัน (EE) และโปรตีนหยาบ (CP) ใกล้เคียงกัน โดยมีโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 15.31-15.45% (2.45-2.47% N) ขณะที่ ผนังเซลล์ (NDF) อยู่ในช่วง 38.24-44.07% ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL) อยู่ในช่วง 19.07-20.00 และ 4.47-5.50% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (nonfibrous carbohydrates, NFC) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ขณะที่ค่า NDF มีค่าลดลง ซึ่งความแตกต่างของ NDF, NFC และองค์ประกอบอื่นๆ อาจเนื่องมาจาก ความแตกต่างของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร และสัดส่วนที่ใช้ในสูตร โดยเฉพาะกลีเซอรีนดิบที่ใช้ทดแทนข้าวโพดบดในการทดลองครั้งนี้ไม่มีองค์ประกอบสารเยื่อใย หรือผนังเซลล์ สอดคล้องกับรายงานของ Mach et al. (2009); Gunn et al. (2010a); Seneviratne et al. (2011); Ramos and Kerley (2012) ที่รายงานว่า องค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรีนไม่มีองค์ประกอบสารเยื่อใย หรือผนังเซลล์ในกลีเซอรีนดิบ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าพลิแคททูลั่มแห้งพบว่า หญ้าพลิแคททูลั่มแห้งมีวัตถุแห้ง 91.24 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อคิดเปอร์เซ็นต์โภชนะบนฐานวัตถุแห้ง ประกอบด้วยอินทรียวัตถุ 91.65 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม 3.03 เปอร์เซ็นต์ ไขมันรวม 0.53 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 7.95 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง 5.73 เปอร์เซ็นต์ ผนังเซลล์ 82.76 เปอร์เซ็นต์ ลิกโนเซลลูโลส 52.03 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 9.96 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 30.72 เปอร์เซ็นต์ และเซลลูโลส 42.07 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งและอินทรียวัตถุของหญ้าพลิแคททูลั่มแห้งในการศึกษาครั้งนี้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ จินดา และคณะ (2544); Chanjula et al. (2010) ที่รายงานว่า หญ้าพลิแคททูลั่มแห้งที่อายุการตัด 45 วัน มีวัตถุแห้ง 89.17-91.53 อินทรียวัตถุ 91.44-91.62 และมีโปรตีนรวม 2.99-3.36 เปอร์เซ็นต์

ทำนองเดียวกับ Chanjula and Ngampongsai (2009); Chanjula et al. (2010) ที่รายงานว่า หญ้าพลิแคททูลั่มแห้งมีโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 3.36-3.62% ทั้งนี้คุณค่าทางอาหารของหญ้าพลิแคททูลั่มแห้งที่แตกต่างกันอาจขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น อายุของพืชที่ตัดมาทำแห้ง ความหนาแน่นของพืช ส่วนของพืช ความถี่ในการเก็บเกี่ยว การชะล้าง ปัจจัยแวดล้อมที่พืชอาศัยอยู่ ฤดูกาล และสภาพอากาศ เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยปกติพืชจะมีคุณค่าอาหารสูงในช่วงที่กำลังเจริญเติบโต และจะลดลงเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น (นิวัติ, 2543; สายัณห์, 2548) ซึ่งพืชอาหารสัตว์จะมีโปรตีนมากที่สุดเมื่ออยู่ในระยะกำลังเจริญเติบโต แต่โปรตีนจะเริ่มลดลงเมื่อพืชนั้นออกดอก และการลดลงของโปรตีนในพืชอาหารสัตว์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออายุของพืชเพิ่มขึ้น (สายัณห์, 2548)

Table 4.1.4 Chemical composition of the experimental diets and plicatulum hay

Item	Dietary crude glycerin (% of dietary DM)[1]				Plicatulum hay, PH
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)	
DM[2]	86.94	86.77	85.85	85.99	91.24
Ash	6.48	6.21	6.41	6.53	7.95
OM	93.52	93.79	93.59	93.47	91.65
CP	15.44	15.32	15.31	15.45	3.03
EE	2.62	2.12	2.25	2.15	0.53
NFC[3]	31.39	34.05	37.79	36.79	5.73
NDF	44.07	42.33	38.24	39.08	82.76
ADF	19.44	19.97	20.00	19.07	52.03
ADL	5.22	5.50	4.47	5.46	9.96
Hemicellulose[4]	24.63	22.33	18.24	20.01	30.72
Cellulose[5]	14.22	14.47	15.53	13.61	42.07
Fatty acids, % of total FAME					
C16:0	23.38	21.42	21.58	19.68	-
C18:0	4.57	4.73	5.05	4.35	-
C18:1n-9 cis	26.97	31.39	30.78	30.50	-
C18:2n-6	29.67	35.48	36.99	36.52	-
C18:3n-3	0.21	0.30	0.31	0.32	-
SFA	27.95	26.15	26.63	24.03	-
UFA	56.85	67.17	68.08	67.34	-
MUFA	26.97	31.39	30.78	30.50	-
PUFA	29.88	35.78	37.30	36.84	-

[1] T1 = Level of crude glycerin (CG) 0%, T2 = Level of CG 5%, T3 = Level of CG 10%, T4 = Level of CG 20%.

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

[3] Estimated: NFC = 100 - (% NDF + % CP + % ether extract + % ash) (Mertens, 1997).

[4] Estimated: Hemicellulose = NDF-ADF.

[5] Estimated: Cellulose = ADF-ADL.

4.1.3 ผลของระยะเวลาเก็บรักษาอาหารต่อคุณภาพทางเคมีของอาหารทดลอง (Effect of storage-life on chemical composition of the experimental diets)

คุณภาพของอาหารสัตว์ทั้งในด้านโภชนะ กายภาพ และเนื้อสัมผัสมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์เศรษฐกิจที่ต้องการให้ได้ผลตอบแทนเร็ว ดังนั้น การควบคุม การประเมิน และติดตามคุณภาพอาหารสัตว์ตั้งแต่คุณภาพของวัตถุดิบอาหารที่ดี กระบวนการผลิต และเก็บรักษาคงที่สม่ำเสมอ และการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทั้งในด้านโภชนะทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องควบคุมและติดตามเพื่อให้ได้อาหารที่มีคุณภาพ และรวมถึงได้อาหารสัตว์ที่ปลอดภัย โดยเฉพาะผลของระยะเวลาเก็บต่อคุณภาพทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลอง ที่ประกอบด้วยข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง และกลีเซอรีนดิบระดับต่างๆ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา ประกอบด้วย 2 ระยะคือ สัปดาห์ที่ 1 (WK_1) และสัปดาห์ที่ 2 (WK_2) (Table 4.1.5) พบว่าค่าเฉลี่ยโดยรวมของวัตถุแห้ง (DM) เถ้ารวม (ash) อินทรียวัตถุ (OM) ไขมัน (EE) และโปรตีนหยาบ (CP) ใกล้เคียงกัน โดยมีโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 15.33-15.46% (2.45-2.47% N) ซึ่งไม่แตกต่างกัน ขณะที่ ผนังเซลล์ (NDF) อยู่ในช่วง 38.24-44.05% ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL) อยู่ในช่วง 19.07-19.99 และ 4.45-5.51% ตามลำดับ จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่า ระยะเวลาเก็บรักษาอาหารประมาณ 2 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีของสูตรอาหาร อาจเนื่องจาก ระยะเวลาเก็บสั้น และสภาพอากาศไม่ร้อนมาก (พฤศจิกายน-ธันวาคม 2555) จำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไปในอนาคตเกี่ยวกับคุณภาพกับอายุการเก็บรักษา

Table 4.1.5 Chemical composition of the experimental diets

Item[1]	Week 1 (WK_1)				Week 2 (WK_2)			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)
DM[2]	86.68	86.65	85.34	85.45	86.96	86.77	85.89	85.99
Ash	6.45	6.21	6.39	6.52	6.48	6.21	6.41	6.53
OM	93.55	93.79	93.61	93.48	93.52	93.79	93.59	93.47
CP	15.42	15.33	15.32	15.41	15.46	15.36	15.33	15.46
EE	2.62	2.12	2.25	2.15	2.61	2.18	2.24	2.13
NFC[3]	31.46	34.05	37.79	37.03	31.59	34.03	37.78	36.8
NDF	44.05	42.29	38.25	38.89	43.86	42.22	38.24	39.08
ADF	19.56	19.85	19.99	19.45	19.44	19.83	19.91	19.07
ADL	5.24	5.51	4.47	5.46	5.21	5.46	4.45	5.42
Hemicellulose[4]	24.49	22.44	18.26	19.44	24.42	22.39	18.33	20.01
Cellulose[5]	14.32	14.34	15.52	13.99	14.23	14.37	15.46	13.65

[1] T1 = Level of crude glycerin (CG) 0%, T2 = Level of CG 5%, T3 = Level of CG 10%, T4 = Level of CG 20%.

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

[3] Estimated: NFC = 100 - (% NDF + % CP + % ether extract + % ash) (Mertens, 1997).

[4] Estimated: Hemicellulose = NDF-ADF.

[5] Estimated: Cellulose = ADF-ADL.

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพ พบว่าสีของอาหารแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน โดยมีสีเข้มขึ้นจากสีเหลืองอ่อนๆ เล็กน้อยจนถึงสีน้ำตาลเหลือมดำ (Figure 4.1.2 และ 4.1.3 ตามลำดับ) ตามระดับระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร แต่ระยะเวลาเก็บ (WK_1 และ WK_2) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของสูตรอาหาร (Figure 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ) ซึ่งความแตกต่างมีผลเนื่องมาจากอิทธิพลของกลีเซอรีนดิบ ซึ่งมีสีเหลืองอ่อน (light yellow) (Figure 4.1.1) ดังนั้น ระดับที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารส่งผลให้สีของอาหารแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม สีของสูตรอาหารขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของวัตถุดิบ ระดับ หรือปริมาณที่ใช้ในสูตร (%) และความชื้น เป็นต้น แต่ไม่มีผลต่อการยอมรับของแพะ โดยประเมินผลจากข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้

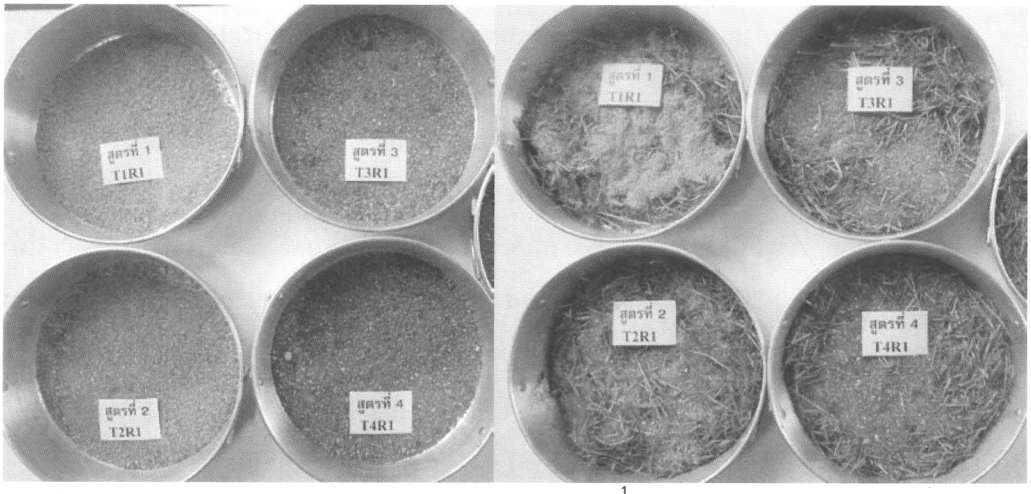


Figure 4.1.2 The color of experimental diets at first week (WK_1)[1]

[1]T1 = Level of crude glycerin (CG) 0%, T2 = Level of CG 5%, T3 = Level of CG 10%, T4 = Level of CG 20%.

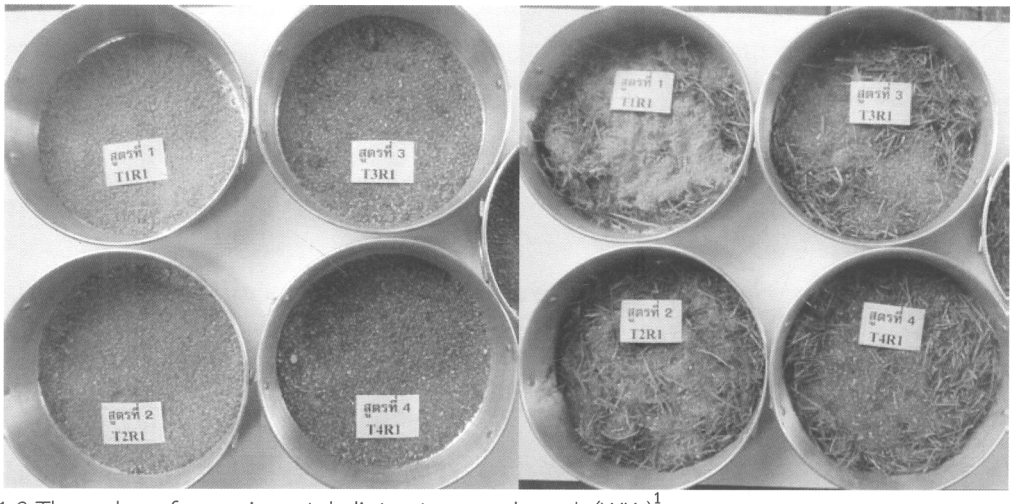


Figure 4.1.3 The color of experimental diets at second week (WK_2)[1]

[1]T1 = Level of crude glycerin (CG) 0%, T2 = Level of CG 5%, T3 = Level of CG 10%, T4 = Level of CG 20%.

เมื่อพิจารณาเรื่องกลิ่น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันเมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 1 และมีกลิ่นหืนเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บในอาหารทุกสูตร ซึ่งความแตกต่างอาจเนื่องจาก ระยะเวลาการเก็บ การทำปฏิกริยาของอาหารกับความชื้น อากาศ แสง หรือเกิดจากตัววัตถุดิบที่ประกอบในสูตรอาหารสัตว์ เป็นต้น ซึ่ง อุทัย (2529) กล่าวว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา แตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดที่สำคัญ ได้แก่ ปลายข้าว เก็บได้นาน 2–3 เดือน รำละเอียดหรือรำสด ควรใช้ให้หมดภายใน 2 สัปดาห์ ข้าวโพด ถ้าเป็นเมล็ดอาจเก็บได้นานหรือข้ามฤดูแต่ต้องแห้งสนิท ถ้าเป็นข้าวโพดที่บดแล้ว ควรใช้ให้หมดภายใน 1 เดือน กากถั่วเหลือง กากเมล็ดพืชน้ำมันอื่นๆ และปลาป่น สามารถเก็บไว้ได้นาน 2–3 เดือน ขึ้นกับปริมาณของไขมันที่หลงเหลืออยู่ในอาหารชนิดนั้นๆ ถ้ามีน้ำมัน หรือไขมันมากจะเก็บไม่ได้นาน เพราะจะมีกลิ่นเหม็นหืน และคุณภาพลดลง ซึ่งอาหารสัตว์ที่ผสมแล้วควรใช้ให้หมดภายใน 15 วัน แต่ถ้าเป็นฤดูที่อากาศแห้ง อาจเก็บไว้ได้นานถึง 1 เดือน

4.1.3 การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจนในแพะ

4.1.3.1 ปริมาณการกินได้ของอาหาร (feed intake)

จากการศึกษา ผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมด (วัตถุแห้ง) ทั้งที่คิดเป็นปริมาณเฉลี่ย (kg/d) และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) หรือกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก (g/kg $W^{0.75}$) ของแพะทุกกลุ่ม (Table 4.1.6) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยปริมาณการกินได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.908-0.970 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน สอดคล้องกับรายงานของ Gunn et al. (2010a) ที่ศึกษาผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0-20 เปอร์เซ็นต์) ในแกะ พบว่าระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ และสมรรถภาพการเจริญของแกะ ขณะที่ พบว่าระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จมากกว่า 20-30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการกินได้ทั้งหมด สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากลดลงตามระดับระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (Gunn et al., 2010a, b) และการให้อาหารที่มีระดับกลีเซอรีนดิบสูง 45% DM มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ทั้งหมดของวัตถุแห้งลดลงในรูปแบบเส้นตรง (Musselman et al., 2008; Gunn et al., 2010b) มากกว่านั้น ทำให้การย่อยได้ของเยื่อใย การผลิตกรดอะซีติค และประชากรแบคทีเรียลดลง (Abo El-nor et al., 2010) ซึ่งกลีเซอรีนเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมนสามารถเปลี่ยนแปลงได้ 3 ทางคือ 1) ถูกส่งผ่านไปยังระบบทางเดินอาหารส่วนล่าง (lower gut) 2) ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน และถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสที่ตับ และ 3) ถูกหมักย่อยเป็นกรดโพรพิออนิคส่งผลให้ความเข้มข้นของกลูโคสในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น (Krehbiel, 2008)

Table 4.1.6 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on feed intake of goats (Exp. 1)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
DMI (kg/d)										
Total DMI, kg/d	0.908	0.946	0.970	0.915	0.03	0.70	0.50	0.83	0.31	0.74
DMI, %BW	2.82	3.12	3.23	2.89	0.14	0.25	0.38	0.78	0.22	0.82
DMI, kg/kg $W^{0.75}$	67.29	73.36	75.69	68.49	3.12	0.28	0.39	0.79	0.21	0.80
OMI, kg/d	0.850	0.888	0.915	0.859	0.03	0.51	0.44	0.77	0.27	0.70
CPI, kg/d	0.140	0.145	0.148	0.141	0.01	0.70	0.57	0.83	0.41	0.75
NDFI, kg/d	0.400	0.401	0.371	0.357	0.01	0.17	0.27	0.07	0.71	0.57
ADFI, kg/d	0.176	0.189	0.194	0.174	0.01	0.22	0.35	0.99	0.08	0.67
BW change, kg/d	0.037^{b}	0.090^{ab}	0.132^{a}	0.090^{ab}	0.02	0.02	0.13	0.02	0.23	0.21
BW change, %	2.01^{b}	6.45^{a}	9.71^{a}	6.70^{a}	1.15	0.02	0.11	0.19	0.21	0.69

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า อาหารที่มีระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จของแพะ (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมด ดังนั้น การนำใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหาร

สัตว์เคี้ยวเอื้อง อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่อาจช่วยลดต้นทุนการผลิตสัตว์ให้ต่ำลง และเป็นแนวทางการเพิ่มศักยภาพการใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่น เพราะต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงสัตว์เป็นค่าอาหารมากกว่า 60-70 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว (kg/d และ %) ดีกว่า และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, $P=0.02$) ตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า อาหารที่มีระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จของแพะ (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่มีผลต่อปริมาณการกินอาหารทั้งหมดอย่างอิสระ หรือสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง โดยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหาร 10% มีปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดสูง และการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวดีกว่ากลุ่มควบคุม (0% CG) (Table 4.1.5) ขณะที่ ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ ดังนั้น การนำใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่อาจช่วยลดต้นทุนการผลิตสัตว์ให้ต่ำลง และเป็นแนวทางการเพิ่มศักยภาพการใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่น เพราะต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงสัตว์เป็นค่าอาหารมากกว่า 60-70 เปอร์เซ็นต์

4.1.3.2 ความสามารถในการย่อยได้ และปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร

ผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะและโภชนะรวมที่ย่อยได้ของแพะ (Table 4.1.7) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ไขมัน ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส มีค่าอยู่ในช่วง 71.92-75.86, 73.37-77.27, 75.73-79.28, 61.30-53.67 และ 43.05-29.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของผนังเซลล์มีแนวโน้มลดลง (L, $P=0.15$) ทำนองเดียวกับสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของลิกนิน พบว่ามีความแตกต่างกัน ($P<0.02$) และมีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, $P=0.001$) ตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบ สอดคล้องกับผลการทดลองก่อนหน้านี้ ได้แก่ การทดลองของ Rémond et al. (1993) ที่รายงานว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณการกินได้ และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ เมื่อเสริมกลีเซอรอลทดแทนแป้งในการทดลองหาความสามารถย่อยได้ แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และ Avila-Stagno et al. (2013) พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DMI) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) พลังงานรวม (GE) และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, CP, NDF, ADF และ DE) ไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณการกินได้ของ NDF และ CP มีแนวโน้มลดลง ($P= 0.10$ และ 0.06 ตามลำดับ) เช่นเดียวกับการทดลองเมื่อใช้กลีเซอรีนดิบทดแทนถั่วอัลฟัลฟ่าในอาหารโค (Schröder and Südekum, 1999) หรือข้าวสาลีในการทดลองด้วยวิธีการในหลอดทดลอง (in vitro) (Krueger et al., 2010) พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ในทางตรงกันข้าม Wang et al. (2009) รายงานว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมกลีเซอรอลในอาหารระดับ 0-3.3% ในโคที่ได้รับพืชอาหารสัตว์เป็นหลัก และ Avila et al. (2013) ที่รายงานว่า การย่อยได้ในหลอดทดลอง (IVDMD) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรงเมื่อเสริมกลีเซอรอลระดับ 0-21% DM เมื่อทดแทนข้าวบาร์เลย์ในสูตรอาหารโคขุนที่มีระดับ 50% ข้าวบาร์เลย์ และ 50% ข้าวบาร์เลย์หมักเป็นอาหารหลัก ทำนองเดียวกับในแม่โคนม พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะของ DM, OM, N และ GE เพิ่มขึ้น ตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (Donkin et al., 2009) ขณะที่ ไม่มีความแตกต่างกันของสัมประสิทธิ์การย่อยได้

ของโภชนะของ DM, OM, N และ NDF ในแม่โคนม (Khalili et al., 1997) แต่เมื่อเสริมกลีเซอรอลร่วมกับกรดไขมันที่มาจากพืชจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของไขมัน และไม่มีผลเมื่อเสริมเฉพาะกลีเซอรอลอย่างเดียว (Khalili et al., 1997)

Table 4.1.7 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on feed intake of goats (Exp. 1)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Apparent total tract digestibility, %										
DM	71.92	75.22	74.22	75.86	3.60	0.87	0.38	0.44	0.79	0.62
OM	73.37	76.48	76.28	77.27	3.32	0.84	0.33	0.38	0.71	0.73
CP	75.73	79.21	79.45	79.28	3.17	0.81	0.31	0.42	0.54	0.83
EE	82.41	83.50	84.98	85.06	2.07	0.77	0.36	0.30	0.77	0.58
NDF	61.30	61.06	54.89	53.67	4.95	0.60	0.35	0.15	0.91	0.57
ADF	36.98	43.05	36.16	29.82	6.47	0.58	0.91	0.25	0.26	0.57
ADL	30.31[ab]	37.78[a]	20.39[b]	19.31[b]	3.02	0.02	0.28	0.001	0.24	0.02
Digestible nutrient intake, kg/d										
DOM	0.642	0.677	0.659	0.664	0.04	0.63	0.24	0.43	0.28	0.87
DCP	0.106	0.114	0.118	0.112	0.01	0.66	0.26	0.47	0.27	0.83
DNDF	0.246	0.244	0.205	0.188	0.02	0.26	0.16	0.02	0.67	0.50
DADF	0.065	0.080	0.072	0.056	0.01	0.49	0.82	0.31	0.11	0.84
Estimated energy intake[2]										
ME Mcal/d	2.37	2.57	2.65	2.52	0.15	0.63	0.24	0.43	0.28	0.87
ME Mcal/kg DM	2.61	2.72	2.70	2.75	0.11	0.81	0.33	0.37	0.78	0.61

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

[2] 1 kg DOM = 3.8 Mcal ME/kg (Kearl, 1982).

จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จของแพะ (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการกินได้ทั้งหมด และปริมาณการกินได้ของโภชนะ (OMI, CPI, NDFI และ ADFI) แม้ว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของผนังเซลล์ และลิกนินมีแนวโน้มลดลงแต่ไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพและการเจริญเติบโตของสัตว์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Abo El-nor et al. (2010) ที่รายงานว่าการทดแทนข้าวโพดด้วยกลีเซอรอลระดับ 72 และ 108 g glycerol/kg DM ทำให้สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของผนังเซลล์ลดลง ทำนองเดียวกับรายงานของ Paggi et al. (2004) ที่พบว่า carboxymethylcellulose digestibility ลดลง 0.07 และ 0.17% เมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มจาก 50-200 และ 300 mM ในกระเพาะรูเมน ตามลำดับ การลดลงของสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของผนังเซลล์ อาจเนื่องจาก กลีเซอรอลมีผลต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่ง Roger et al.

(1992) ได้แสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโต การเกาะจับ และกิจกรรมการย่อยสลายเซลลูโลสของแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสในกระเพาะรูเมน (ruminal cellulolytic species) 2 ชนิดถูกยับยั้งเมื่อเสริมกลีเซอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อระดับสูง (0.05; v/v) แต่ไม่มีผลกับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรอลระดับต่ำ (<0.01; v/v) และ Paggi et al. (2004) พบว่ากิจกรรมการย่อยสลายเซลลูโลสของสารสกัดในกระเพาะรูเมนลดลงตามระดับกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ ดังนั้น จึงส่งผลให้การย่อยได้ของเยื่อใย การผลิตกรดอะซีติค และประชากรแบคทีเรียลดลง โดยเฉพาะกลุ่ม *Butyrivibrio fibrisolvens* และ *Ruminococcus albus* (Abo El-nor et al., 2010) มากกว่านั้น มีรายงานว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของผนังเซลล์ลดลงมีผลทำให้ความเข้มข้นของ C_2 และสัดส่วน C_2:C_3 ลดลง (Ribeiro etal., 2005; Castillejos etal., 2006)

จากการคำนวณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Mcal/d และ Mcal/kg ME) พบว่า แพะทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 2.61-2.75 Mcal/kg ซึ่งใกล้เคียงกับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่คำนวณ (Table 3.1) และเพียงพอต่อความต้องการของแพะเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (NRC, 1981)

4.1.3.3 ผลผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด

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

ผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกันต่ออุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (Table 4.1.8) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกระเพาะรูเมนของแพะในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหารและค่าเฉลี่ยรวม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของอุณหภูมิในกระเพาะรูเมนค่อนข้างคงที่ (39.10-39.35 °C) ซึ่งเป็นระดับที่ปกติ และเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (38-40 °C) (Van Soest, 1994)

Table 4.1.8 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on rumen fermentation of goats (Exp. 1)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Temperature, °C										
0 h-post feeding	39.20	39.30	39.00	39.10	0.15	0.77	0.60	0.62	0.67	0.80
4	39.50	39.40	39.20	39.40	0.24	0.82	0.38	0.53	0.29	0.64
Mean	39.35	39.30	39.10	39.25	0.16	0.69	0.77	0.83	0.23	0.53
Ruminal pH										
0 h-post feeding	6.63	6.62	6.71	6.55	0.09	0.73	0.95	0.74	0.51	0.46
4 h-post feeding	6.42	6.36	6.25	6.41	0.07	0.38	0.54	0.79	0.34	0.55
Mean	6.53	6.51	6.48	6.48	0.06	0.93	0.72	0.70	0.89	0.93

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

ทำนองเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือ pH ภายในกระเพาะรูเมนของแพะในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหารและค่าเฉลี่ยรวม พบว่าค่า ruminal pH ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแต่ละกลุ่มที่

ได้รับสูตรอาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของความเป็นกรด-ด่าง ค่อนข้างคงที่ (6.48-6.53) สอดคล้องกับการทดลองของ Abo El-nor et al. (2010) ที่รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีนไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.53-6.57 ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้ และเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic bacteria) (Russell and Wilson, 1996) และการย่อยของโปรตีน (6.0-7.0) (Hungate, 1969) สอดคล้องกับรายงานของเมธา (2533) และฉลอง (2541) รายงานว่า ระดับ pH ที่เหมาะสมในกระเพาะรูเมนอยู่ในช่วง 6.5-7.0 และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่า pH ตามช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร พบว่า ค่า rumen pH ลดต่ำลง (6.25-6.42) ในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร แต่ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) อาจเนื่องมาจาก เกิดกระบวนการหมักสูงสุดในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร

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

ค่าความเข้มข้นของระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) ภายในกระเพาะรูเมน พบว่าค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมนที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ยกเว้น กลุ่มที่ 4 (20% CG) ค่า NH_3-N ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (Table 4.1.9) ทำนองเดียวกับการศึกษาของ Wang et al. (2009) ที่รายงานว่า โคขุนกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนที่ระดับ 0-300g/hd/d มีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลง แต่ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ Abo El-nor et al. (2010) รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีนไม่มีผลต่อค่า NH_3-N แต่ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้น

Table 4.1.9 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on rumen fermentation of goats (Exp. 1)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
NH_3-N, mg/dL										
0 h-post feeding	20.95	21.07	20.75	20.02	0.64	0.67	0.89	0.86	0.88	0.75
4 h-post feeding	21.59^{ab}	22.64^{ab}	22.90^{a}	20.57^{b}	0.63	0.12	0.86	0.85	0.77	0.46
Mean	21.27^{ab}	21.86^{a}	21.83^{a}	20.29^{b}	0.42	0.11	0.98	0.99	0.82	0.56
BUN, mg/dL										
0 h-post feeding	20.87	23.20	19.57	19.32	1.29	0.23	0.93	0.33	0.49	0.27
4 h-post feeding	21.65^{ab}	25.80^{a}	21.37^{ab}	19.37^{b}	1.56	0.11	0.82	0.23	0.14	0.24
Mean	21.26^{ab}	24.50^{a}	20.47^{ab}	19.35^{b}	1.36	0.14	0.93	0.26	0.26	0.24

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

สอดคล้องกับการศึกษาในโคเนื้อที่พบว่า มีแนวโน้มใกล้เคียงกันในกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนที่ระดับ 0%, 4%, 8% และ12% (DM) (Mach et al., 2009) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ NH_3-N มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของ NH_3-N อยู่ในช่วง 20.29-21.86 (Table 4.1.8) และค่า NH_3-N ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงที่

เหมาะสม 10-30 mg/dL (Ferguson et al., 1993) สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ทำนองเดียวกับ Preston and Leng (1987) รายงานว่า ระดับ NH_3-N 5-25 mg/dL เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ขณะที่ Windschitl (1991) รายงานระดับ NH_3-N ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนคือ 11.8-18.3 mg% และ Mehrez et al. (1977) รายงานระดับ NH_3-N ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 15-20 mg% ซึ่งความเข้มข้นของ NH_3-N ที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสัตว์ ชนิดของอาหาร โดยเฉพาะแหล่งคาร์โบไฮเดรต ปริมาณโปรตีนที่กินได้ (Lewis, 1975) ศักยภาพในการเกิดกระบวนการหมักของอาหาร ความสามารถในการย่อยสลายได้ของโปรตีน และสภาพนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสม (เมธา, 2533) จากการศึกษาของ Erdman et al. (1986) กล่าวว่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของอาหารเกิดสูงสุด และความสามารถในการย่อยสลายได้สูง เกิดขึ้นที่ระดับความเข้มข้นของ NH_3-N 170 และ 250 mg/l ตามลำดับ

ทำนองเดียวกับค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (BUN) ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ยกเว้น กลุ่มที่ 4 (20% CG) มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อย่างไรก็ตาม มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ สอดคล้องกับ Lloyd (1982) รายงานว่า ระดับปกติของ BUN ในแพะอยู่ในช่วง 11.2-27.7 mg/dL และในแกะ 8-20 mg/dL (Kaneko, 1989) ซึ่งค่าความเข้มข้นของ BUN ปกติจะผันแปรขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อายุ อาหาร ปริมาณโปรตีนที่กินได้ และโดยเฉพาะระดับของ NH_3-N ในกระเพาะรูเมน ดังนั้น การเพิ่มของระดับ NH_3-N ในกระเพาะรูเมน มีผลต่อการเพิ่มของระดับ BUN ในกระแสเลือด สอดคล้องกับ Preston et al. (1965) รายงานว่า ค่าของ BUN มีสหสัมพันธ์สูง (highly correlation) กับปริมาณโปรตีนที่กินได้ และสัมพันธ์กับระดับการผลิตแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน (Lewis, 1975; Kung and Huber, 1983)

4.1.3.4 ระดับความเข้มข้นของอินซูลิน (insulin) กลูโคส (glucose) เบต้าไฮดรอกซี่บิวทีเรท (β-hydroxybutyrate) และปริมาตรเม็ดโลหิตแดงอัดแน่น (packed cell volume) ในกระแสเลือด

ค่าทางโลหิตวิทยาของร่างกายต่างๆ สามารถบ่งชี้ความสมดุลทางสรีระของร่างกายสัตว์ ตัวชี้วัดที่ดีสำหรับสุขภาพสัตว์ และระดับโภชนาการของสัตว์คือ ค่าความเข้มข้นของกลูโคส (glucose, Glu) ปริมาตรเม็ดโลหิตแดงอัดแน่น (pack cell volumn, PCV) เบต้าไฮดรอกซี่บิวทีเรท (β-hydroxybutyrate, BHBA) ระดับโปรตีนในซีรั่ม (total serum protein, TSP) และระดับโปรตีนอัลบูมินในซีรั่ม (serum albumin, SA) และยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (blood urea nitrogen, BUN) เป็นต้น กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของสัตว์ทุกชนิด ในสัตว์เคี้ยวเอื้องกลูโคสเป็นสารตั้งต้น (precursor) ที่สำคัญในการสังเคราะห์น้ำตาลแลคโตส (lactose) และกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งโดยทั่วไปสัตว์ต้องการกลูโคสเพื่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิต

ผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อค่ากลูโคส (glucose), BHBA และค่า PCV ในกระแสเลือดในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) (Table 4.1.10) แต่ที่ช่วงเวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร ค่ากลูโคสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น (L, $P= 0.09$) โดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในช่วง 67.36-75.73 mg/dl, 4.62-5.75 mg/dl และ 29.12-31.25% ตามลำดับ อาจเนื่องจาก กลีเซอรีนเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส (Lin, 1977; Mourot et al. (1994) สอดคล้องกับรายงานของ Johns

(1953); Wright, (1969); Rémond et al. (1993; Kijora et al. (1998) พบว่า C_3 เพิ่มขึ้นทั้งการศึกษาใน in vitro และ in vivo และกลูโคสในกระแสเลือดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติในแพะ คือ 50-75 mg/dL (2.77 to 4.16 mmol/L) (Kaneko, 1980) ทำนองเดียวกับค่า PCV ที่รายงานโดย Jain (1993) รายงานว่า ค่า PCV ที่ปกติของแพะอยู่ในช่วง 22-38% ซึ่งค่า PCV หรือค่าฮีมาโตคริต (hematocrit) เป็นดัชนีที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้วินิจฉัย หรือประเมินความสมบูรณ์ของร่างกายแพะ และสุขภาพสัตว์เบื้องต้นว่า สัตว์มีความผิดปกติของเลือดหรือไม่ โดยหากค่า PCV ต่ำกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรคโลหิตจาง (anemia) ในทางตรงกันข้ามหากค่า PCV สูงกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรคโพลีซัยธีเมีย (polycythemia) ซึ่งเกิดจากการสร้างเม็ดเลือดแดงที่มากผิดปกติ (Jain, 1993)

Table 4.1.10 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on blood metabolites in goats (Exp. 1)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Glucose, mg/dL										
0 h-post feeding	67.53	70.95	70.65	74.80	3.28	0.52	0.29	0.21	0.92	0.62
4 h-post feeding	67.19	71.75	73.25	76.65	2.62	0.18	0.14	0.09	0.87	0.76
Mean	67.36	71.59	71.95	75.73	2.59	0.25	0.16	0.11	0.94	0.63
Insulin, μU/mL										
0 h-post feeding	1.47	2.95	4.23	4.62	0.92	0.16	0.05	0.03	0.59	0.88
4 h-post feeding	1.93^{c}	2.93^{bc}	10.96^{a}	10.35^{ab}	1.87	0.02	0.009	0.001	0.65	0.06
Mean	1.85^{b}	2.94^{ab}	7.60^{a}	7.44^{a}	1.29	0.03	0.01	0.002	0.62	0.16
BHBA, mg/dL										
0 h-post feeding	4.27	4.82	4.27	4.60	0.32	0.60	0.50	0.80	0.76	0.25
4 h-post feeding	5.37	6.67	5.05	4.65	0.42	0.06	0.86	0.06	0.06	0.04
Mean	4.82	5.75	4.66	4.62	0.33	0.16	0.65	0.30	0.19	0.07
PCV, %										
0 h-post feeding	31.25	31.00	31.00	32.25	1.39	0.90	0.92	0.67	0.64	0.88
4 h-post feeding	31.25	31.25	27.25	30.25	1.69	0.37	0.43	0.39	0.41	0.19
Mean	31.25	31.12	29.12	31.25	1.50	0.70	0.69	0.78	0.49	0.42

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของระดับอินซูลิน (insulin) ที่เวลา 0 ชั่วโมงก่อนการให้อาหารพบว่า พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.11) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ในช่วงเวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่าค่าอินซูลินในกระแสเลือดมีความแตกต่างกัน (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.001 และ 0.001 ตามลำดับ) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์

โดยทั่วไปการหมุนเวียนของอินซูลินในกระแสเลือดมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของกลูโคสในกระแสเลือด (Evans et al., 1975) ปริมาณกลูโคสในกระแสเลือดที่เพิ่มขึ้นทำให้ระดับอินซูลินในกระแสเลือดที่เพิ่มขึ้น (Jenny and Polan, 1975) อย่างไรก็ตาม การหลั่งของอินซูลินขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อาหารที่ได้รับ อายุ สุมดุลของพลังงาน กรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด ระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่าง และสถานะภาพของสัตว์ เป็นต้น บางกรณี มีรายงานว่ามีสหสัมพันธ์ที่ต่ำกับค่ากลูโคสในกระแสเลือด (McAtee and Trenkle, 1971)

4.1.3.5 ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะรูเมน

4.1.3.5.1 ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้

ผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acids, TVFAs) รวมทั้งระดับความเข้มข้นของกรดอะซีติค (acetic acid, C_2) กรดโพรพิออนิค (propionic acid, C_3) กรดบิวทีริค (butyric acid, C_4) และก๊าซเมธเทน (methane, CH_4) ในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม (Table 4.1.11)

จากการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังจากให้อาหาร มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.12) อาจเนื่องมาจาก ปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของอาหารกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ที่ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ ทำนองเดียวกับรายงานของ Mach et al. (2009) ที่รายงานว่า TVFAs ของโคเพศผู้กลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 8% มีแนวโน้ม (P= 0.09) ดีกว่ากลุ่มอื่น (0, 4 และ 12% CG) เนื่องจากปริมาณการกินได้ของอาหารข้นสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ขณะที่ เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Meale et al. (2013) ศึกษาผลของการเสริมกลีเซอรีนดิบ (0, 6 และ 12% DM) ในแกะ พบว่ากรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด และองค์ประกอบของกรดไขมันที่ระเหยได้ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ยกเว้น กรดโพรพิออนิค และค่าสัดส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ (C_2:C_3) ที่แตกต่างกัน โดยกรดโพรพิออนิคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.05) ขณะที่ สัดส่วนของ C_2:C_3 มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.04) ตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0% CG)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสัดส่วนของกรดไขมันแต่ละตัวตามช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหารและค่าเฉลี่ยรวม พบว่ากรดอะซีติคที่เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม กรดบิวทีริค และกรดไขมันอื่นๆ (isobutyrate, isovalerate และ valerate) ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร แต่กรดอะซีติค ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหารพบว่า มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.12) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0% CG) ทำนองเดียวกับค่ากรดโพรพิออนิคพบว่า ที่เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร แต่กรดโพรพิออนิค ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่ามีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 5, 10 และ 20

เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.03) ตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0% CG)

Table 4.1.11 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on volatile fatty acid profiles in goats (Exp. 1)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Total VFA, mmol/l										
0 h-post feeding	67.73	72.16	74.01	70.57	8.13	0.95	0.72	0.83	0.72	0.95
4	66.02^{b}	68.22^{ab}	88.63^{a}	80.69^{ab}	6.14	0.09	0.23	0.12	0.58	0.27
Mean	66.80	70.19	81.32	75.63	4.38	0.20	0.25	0.21	0.49	0.41
Proportion of individual VFA, %										
Acetate (C_2)										
0 h-post feeding	65.59	63.23	60.99	56.80	4.52	0.59	0.24	0.10	0.81	0.90
4	66.94^{a}	64.02^{ab}	57.79^{b}	60.42^{b}	1.79	0.04	0.15	0.12	0.44	0.45
Mean	66.27	63.65	59.39	58.62	2.63	0.23	0.10	0.05	0.74	0.69
Propionate (C_3)										
0 h-post feeding	19.23	21.35	22.32	28.55	3.53	0.36	0.26	0.09	0.57	0.68
4	18.99^{b}	21.23^{ab}	27.36^{a}	27.45^{a}	2.21	0.07	0.08	0.03	0.71	0.45
Mean	19.11^{b}	21.30^{b}	24.85^{ab}	28.00^{a}	1.81	0.05	0.06	0.01	0.84	0.87
Butyrate (C_4)										
0 h-post feeding	12.63	12.83	13.88	11.69	2.18	0.91	0.94	0.86	0.60	0.69
4	11.99	11.97	12.97	10.00	1.06	0.33	0.88	0.59	0.47	0.59
Mean	12.31	12.40	13.47	10.84	1.21	0.54	0.97	0.69	0.47	0.58
Other VFA[4]										
0 h-post feeding	2.53	2.53	2.71	3.52	0.58	0.61	0.59	0.27	0.51	0.87
4	2.07	2.74	1.79	2.12	0.39	0.44	0.78	0.71	0.71	0.19
Mean	2.30	2.64	2.25	2.82	0.49	0.53	0.65	0.43	0.69	0.52
Acetate:propionate ratio										
0 h-post feeding	3.43	3.27	3.24	2.19	0.53	0.40	0.46	0.19	0.47	0.67
4	3.56^{a}	3.03^{ab}	2.32^{b}	2.32^{b}	0.20	0.02	0.01	0.01	0.41	0.52
Mean	3.49^{a}	3.15^{ab}	2.78^{ab}	2.25^{b}	0.25	0.06	0.10	0.03	0.80	0.94
Methane[5], **mol%**										
0 h-post feeding	29.32	27.73	26.91	22.61	2.63	0.39	0.26	0.10	0.61	0.72
4	29.69^{a}	27.75^{ab}	23.67^{b}	23.64^{b}	1.61	0.08	0.08	0.03	0.66	0.52
Mean	29.49^{a}	27.75^{ab}	25.28^{ab}	23.01^{b}	1.40	0.06	0.05	0.01	0.87	0.90

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

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

[5] CH_4 = (0.45 x acetic acid) - (0.275 x propionic acid) + (0.40 x butyric acid) (Moss et al., 2000).

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ (acetate: propionate, C_2:C_3 ratio) พบว่าที่เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร แต่ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่ามีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.01 และ 0.03 ตามลำดับ) ตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0% CG) โดยกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด กรดอะซิติค กรดโพรพิออนิค กรดบิวทีริค กรดไขมันอื่นๆ และสัดส่วนของของกรดอะซิติคต่อกรดโพรพิออนิค ในการทดลองนี้มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 66.80-81.32 มิลลิโมลต่อลิตร 58.62-66.27, 19.11-28.00, 10.84-13.47, 2.25-2.82 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด และ 2.25-3.49 ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Meale et al. (2013) ศึกษาผลของการเสริมกลีเซอรีนดิบ (0, 6 และ 12% DM) ในแกะ พบว่ากรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด และองค์ประกอบของกรดไขมันที่ระเหยได้ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ยกเว้น C_3 และค่าสัดส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ (C_2:C_3) ที่แตกต่างกัน โดย C_3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.05) ขณะที่ สัดส่วนของ C_2:C_3 มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.04) ตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0% CG) ทำนองเดียวกับการศึกษาของ DeFrain et al. (2004); Trabue et al. (2007) ที่รายงานว่า กลุ่มแม่โครีดนมที่ได้รับการเสริมกลีเซอรอลมีค่าความเข้มข้นของกรด C_3 สูงกว่า และค่าสัดส่วนของ C_2:C_3 ลดลงต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมกลีเซอรอล และ Linke et al. (2004) ที่พบว่า การเสริมกลีเซอรอล 1 kg ให้แม่โนมโดยให้ทางปาก (oral drench) และทางกระเพาะรูเมน (via rumen) หรือเสริมให้กับโคเนื้อขุน 200 หรือ 300g/hd/d (Wang et al., 2009) ทำให้ค่าความเข้มข้นของกรด C_3 สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริม มากกว่านั้น การศึกษาก่อนหน้าได้รายงานว่ากลีเซอรอลทั้งหมดที่หมักย่อยในกระเพาะรูเมนจะถูกเปลี่ยนไปเป็น กรด C_3 (Garton et al., 1961; Bergner et al., 1995)

จากผลการทดลองครั้งนี้ ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดเฉลี่ยของของเหลวในกระเพาะรูเมนอยู่ในช่วง 66.80-81.32 mmol/L ใกล้เคียงกับรายงานของ Chanjula et al. (2007a, b) ที่รายงานว่า ค่า TVFA ของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยเพศผู้ (พื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.00-86.57% ตามลำดับ ซึ่ง France and Siddons (1993) รายงานว่า ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดในกระเพาะรูเมนปกติมีค่าระหว่าง 70-130 mmol/L ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้ และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุที่ได้ (Forbes and France, 1993) สอดคล้องกับ Sutton (1985) รายงานว่า การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ โดยถ้าหากความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด และสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน การดูดซึมของกรดไขมันที่ระเหยได้ผ่านผนังกระเพาะรูเมน อัตราการไหลผ่าน (ruminal passage rate) ของของเหลวไปยังกระเพาะอะโบมาซัม (abomasum) (López et al., 2003) มากกว่านั้น ยังขึ้นกับความเข้มข้นสัดส่วนของกรดอินทรีย์ (organic acid) ทั้งหมดในกระเพาะรูเมนซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์โบไฮเดรต และปริมาณที่สัตว์กิน (Heldt et al., 1999) สัดส่วนอาหารข้น และอาหารหยาบ (Sarwar et al., 1992) และ Sutton et al. (1993) รายงานว่า ปริมาณแป้งที่ย่อยสลายได้ง่ายเพิ่มขึ้นในอาหารข้นมีผลทำให้ระดับความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิคในกระเพาะรูเมนสูงขึ้น ขณะที่ ระดับความเข้มข้นของกรดอะซีติคลดลง

นอกจากนี้ Van Soest (1994) กล่าวว่า สัดส่วน C_2:C_3 ที่ต่ำกว่าจะช่วยเพิ่มการกักเก็บพลังงาน เพราะการผลิต C_3 ให้ประสิทธิภาพของพลังงานสูงกว่า และในทางทฤษฎีสามารถลดการผลิตแก๊สเมทเธน จากการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยไฮโดรเจน (H) ที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์กรดทั้งสอง (H_2+CO_2 = CH_4) (Preston and Leng, 1987) แต่สำหรับการสังเคราะห์กรดโพรพิออนิคจะไม่มีแก๊สเมทเธนเกิดขึ้น ดังนั้น ถ้ามีการสังเคราะห์กรดโพรพิออนิคมากก็จะมีแก๊สเมทเธนเกิดขึ้นน้อย ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีการสังเคราะห์กรดอะซิติค และกรดบิวทีริคมากกว่าก็จะมีแก๊สเมทเธนเกิดขึ้นมาก ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานทางหนึ่งนอกเหนือจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก (เมธา, 2533; Preston and Leng, 1987; Van Soest, 1994)

4.1.3.5.2 ความเข้มข้นของก๊าซเมธเทน (methane, CH_4) ในกระเพาะรูเมน

การผลิตก๊าซเมธเทน (CH_4) พบว่าความเข้มข้นของก๊าซ CH_4 ในกระเพาะรูเมนที่ชั่วโมงที่ 4 และค่าเฉลี่ยรวมลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.03 และ 0.01 ตามลำดับ) เมื่อสัดส่วนของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการผลิต CH_4 สูงกว่า ($P<0.05$) กลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการผลิตกรดอะซิติคซึ่งมีค่าสูงที่สุดด้วยเช่นกัน เนื่องจากการผลิตกรดอะซิติค และกรดบิวทีริกจะมีแก๊สเมทเธนเกิดขึ้นด้วย จากการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ด้วยไฮโดรเจนที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์กรดทั้งสอง แต่สำหรับการสังเคราะห์กรดโพรพิโอนิกจะไม่มีแก๊สเมทเธนเกิดขึ้น ดังนั้น ถ้ามีการสังเคราะห์กรดโพรพิโอนิกมากก็จะมีแก๊สเมทเธนเกิดขึ้นน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการสังเคราะห์กรดอะซิติค และกรดบิวทีริกมากกว่าก็จะมีแก๊สเมทเธนเกิดขึ้นมาก ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานทางหนึ่งนอกเหนือจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก (ฉลอง, 2541)

สอดคล้องกับ Lee et al. (2011) รายงานว่า สัดส่วนของ C_2:C_3 ลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของการผลิตก๊าซ CH_4 จากการศึกษาในหลอดทดลอง (in vitro) ในห้องปฏิบัติการภายหลังการทดแทนถั่วอัลฟัลฟ่าเฮย์ (alfalfa hay) และข้าวโพดด้วยกลีเซอรีน อาจเนื่องจาก กระบวนการหมักของกลีเซอรีนไม่มีผลต่อการทำให้เกิดผลผลิตของไฮโดรเจนมาก (H_2 sink) เพราะสามารถเปลี่ยนผลผลิตจากการหมักคาร์โบไฮเดรตจากการผลิต acetate เป็น propionate ซึ่งอาจมีผลต่อสมดุลของอิเล็คตรอน (electron balance) ในกระเพาะรูเมน และลดจำนวนไฮโดรเจนที่สามารถนำไปผลิต หรือสร้างเป็นก๊าซ CH_4 ในกระเพาะ และเมื่อคิดตามเปอร์เซ็นต์ของพลังงานรวม (GE) หรือพลังงานย่อยได้ (DE) ที่กินได้ พบว่าการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ของแกะในกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรอล 14 และ 21% ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (0%) และกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรอล 7% (Avila-Stagno et al., 2013) ในทางกลับกัน Meale et al. (2013) รายงานว่า ระดับของกลีเซอรีนดิบไม่มีผลต่อผลผลิตของก๊าซ CH_4 ในกระเพาะรูเมน ($P \geq 0.42$) ทำนองเดียวกับ Avila et al. (2013) ที่รายงานว่า การเสริมกลีเซอรอลในอาหาร 0-21% DM ไม่มีผลต่อการปลดปล่อยของก๊าซ CH_4 ในกระเพาะรูเมนจากแกะ และสรุปว่าระดับของ NDF ที่ต่ำในอาหารอาจมีผลต่อการศึกษาครั้งนี้

4.1.3.6 จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนโดยวิธีการนับตรง (Total direct count)

การศึกษาประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเพื่อให้ทราบถึงตระกูล (genus) ชนิด (species) และชีวมวล (biomass) เป็นอีกวิธีการที่ช่วยให้สามารถนำข้อมูลมาปรับกลยุทธ์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในกระเพาะรูเมน เพราะกระบวนการหมักส่วนใหญ่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเป็นหลัก (Van Soest, 1994)

จากการทดลองนี้ พบว่าจำนวนประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราในกระเพาะรูเมนของแพะ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) และมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.89-2.23 $x10^{10}$ และ 1.60-2.22 $x10^{6}$ cell/ ml ตามลำดับ (Table 4.1.12) แต่มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (P, L= 0.14 และ P, L= 0.12) ตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนกับกลุ่มควบคุม (0% CG) ผลการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานก่อนหน้านี้ของ Chanjula et al. (2007a, b) รายงานว่า ประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยเพศผู้ (พื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.40-1.90 $x10^{10}$ และ 1.15-2.89 $x10^{6}$ cell/ ml ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Bryant and Robinson (1961); Hungate (1966) รายงานว่าประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราในกระเพาะรูเมน มีค่าอยู่ในช่วง 10^{10}-10^{12} และ 10^{4}-10^{6} cell/ ml ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า อาหารที่มีระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหาร ไม่มีผลต่อกระบวนการหมัก และนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนของแพะ หรือสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง แม้ว่ามีแนวโน้มประชากรแบคทีเรีย และเชื้อราลดลงในกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารกลุ่มที่ 3 และ 4 (10 และ 20% CG) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารที่สูงมากกว่า 5% อาจมีผลรบกวนกลุ่มประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Farias, et al., 2012) และ Roger et al. (1992) พบว่าระดับกลีเซอรีนดิบ (0.05 v/v) สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์จากเชื้อรา (fugal activity; *Neocallimastix frontalis*) และแบคทีเรียที่ย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic activity) เช่น *Ruminococcus flavefaciens* และ *Fibrobacter succinogenes* ขณะที่ ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การเกาะยึด และ cellulolytic activity ของ *Ruminococcus flavefaciens* และ *Fibrobacter succinogenes* แต่จะยับยั้งเมื่อระดับความเข้มข้นมากกว่า 5%

Table 4.1.12 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on rumen microbes in goats (Exp. 1)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Total direct count										
Bacteria ($x10^{10}$cell/ml)										
0 h-post feeding	1.86	2.01	1.81	1.74	0.11	0.49	0.94	0.49	0.57	0.59
4	2.59	2.13	2.09	2.04	0.17	0.18	0.09	0.12	0.38	0.67
Mean	2.23	2.07	1.95	1.89	0.13	0.21	0.13	0.14	0.43	0.65
Fungal zoospores ($x10^{6}$ cell/ ml)										
0 h-post feeding	2.09	1.88	1.42	1.41	0.19	0.12	0.17	0.10	0.79	0.61
4	2.34	2.13	1.84	1.79	0.21	0.30	0.20	0.13	0.76	0.79
Mean	2.22	2.01	1.63	1.60	0.18	0.23	0.16	0.12	0.73	0.71
Total Protozoa($x10^{6}$ cell/ml)										
0 h-post feeding	1.62	1.75	1.50	1.37	0.27	0.78	0.80	0.46	0.67	0.70
4	2.12	2.25	1.75	1.62	0.41	0.68	0.60	0.29	0.76	0.59
Mean	1.87	2.01	1.62	1.49	0.32	0.69	0.62	0.48	0.75	0.65

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

จากผลการทดลองใน Table 4.1.12 พบว่าประชากรโปรโตซัวทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.31-2.01x10^6 cell/ ml ซึ่งสอดคล้องกับ Hungate (1966) รายงานว่าประชากรโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนมีค่าอยู่ในช่วง 10^4-10^6 cell/ ml และมีค่าต่ำกว่ารายงานของ Chanjula et al. (2007a, b) รายงานว่า ประชากรของประชากรโปรโตซัวเฉลี่ยของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยเพศผู้ (พื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.87-3.65 x10^6 และ 2.41-3.57 x10^6 cell/ ml ตามลำดับ ขณะที่ Khampa et al. (2006) ได้ทำการทดลองในโคนมเพศผู้ตอน พบว่ามีประชากรโปรโตซัวเฉลี่ย 1.4x10^6 cell/ ml อาจเนื่องมาจาก การเสริมกลีเซอรีนทดแทนข้าวโพดระดับสูงอาจมีผลไปลดปริมาณแป้ง และน้ำตาลที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในสูตรอาหารตามระดับการเสริมกลีเซอรีนที่เพิ่มขึ้น เพราะกลีเซอรอลเกือบทั้งหมดถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดโพรพิออนิค (C_3) ภายในกระเพาะรูเมน (Garton et al., 1961; Bergner et al., 1995) ขณะที่ แป้ง และน้ำตาลเป็นอาหารของโปรโตซัว โดย Williams and Coleman (1992); Russell (2002) รายงานว่าโปรโตซัวกลุ่ม *Holotrich sp.* ชอบใช้ soluble carbohydrate ขณะที่กลุ่ม *Entodiniomorphs sp.* มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับ feed particle และชอบใช้แป้ง (starch) มากกว่า ทำนองเดียวกับ Jouany and Ushida (1999) ที่รายงานว่า การเสริมแป้งช่วยพัฒนาการเจริญเติบโตของโปรโตซัวสอดคล้องกับ Russell (2002) ที่รายงานว่า การเจริญของโปรโตซัวเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีแป้ง และถ้าอาหารปราศจากแป้งความหนาแน่นของโปรโตซัว และอัตราการย่อยอาหารพวกแป้งจะลดลง ซึ่ง Jouany and Ushida (1999) รายงานว่า จำนวนของโปรโตซัวขึ้นอยู่กับน้ำตาล และแป้งที่ละลายได้ในอาหาร

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

4.1.3.7 ความสมดุลของไนโตรเจน (N balance) และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน (nitrogen utilization) ปริมาณการขับอนุพันธ์พิวรีน (purine derivatives excreted) และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

ผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อสมดุลของไนโตรเจน และปริมาณของไนโตรเจนที่กักเก็บไว้ได้ (Table 4.1.13) ปรากฏว่า ปริมาณการกินได้ของไนโตรเจนทั้งหมด (Total N intake) ปริมาณการขับไนโตรเจน (N excretion) ทั้งในรูปของการขับไนโตรเจนทางปัสสาวะ (Urinary N) ปริมาณการขับไนโตรเจนในมูล (Fecal N) และปริมาณการขับโตรเจนทั้งหมด (Total N excretion) ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05)

ทำนองเดียวกับค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (Absorbed N) และปริมาณการกักเก็บไนโตรเจนในร่างกาย (Retained N) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) อาจเนื่องมาจาก ปริมาณการกินได้ทั้งหมดของอาหารผสมเสร็จความสามารถในการย่อยได้ และปริมาณการกินได้ของโภชนะโปรตีนในอาหารไม่แตกต่างกัน (Table 4.2 และ 4.3) ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่แพะได้รับ มีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้อย่างอิสระ และความสามารถในการย่อยได้

เมื่อพิจาณาค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (% of N intake) และค่ากักเก็บไนโตรเจน (% of N intake) หรือประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (N efficiency) พบว่า ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.67-79.45 และ 55.31-61.57% ตามลำดับ

Table 4.1.13 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on feed intake of goats (Exp. 1)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
N balance, g/d										
Total N intake	22.45	23.20	23.77	22.62	0.84	0.69	0.56	0.82	0.39	0.75
N excretion, g/d										
Fecal N	5.48	4.89	4.82	4.70	0.76	0.88	0.46	0.49	0.76	0.86
Urinary N	3.28	6.04	5.76	5.67	1.54	0.35	0.24	0.44	0.69	0.24
Total N excretion	8.76	10.93	10.58	10.37	1.95	0.86	0.47	0.65	0.59	0.78
Absorbed N	16.96	18.31	18.95	17.92	1.10	0.65	0.25	0.46	0.27	0.84
Retained N	13.79	12.27	13.19	12.24	1.96	0.92	0.63	0.71	0.89	0.66
N output (% of N intake)										
Absorbed	75.67	79.22	79.45	79.28	3.17	0.80	0.30	0.41	0.54	0.82
Retained	61.57	53.38	55.31	53.33	7.78	0.85	0.47	0.58	0.73	0.73

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนมีค่าเป็นบวกในแพะทุกกลุ่ม แสดงให้เห็นว่าระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่มีผลต่อค่าความสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน อาจเนื่องจาก แพะทุกกลุ่มได้รับไนโตรเจนสูงกว่าความต้องการของร่างกาย ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) ในกระเพาะรูเมนของแพะทุกกลุ่ม ที่มีค่าเกินระดับที่แนะนำสำหรับการเจริญที่เหมาะสมของจุลินทรีย์ (5-8 mg/dL; Satter and Slyter, 1974 หรือ 3.3-8.5 mg/100 mL; Kang-Meznarich and Broderick, 1981) สำหรับการเจริญเติบโต และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสูงสุด แสดงให้เห็นว่าอาหารที่ใช้ระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารสัตว์ได้ และสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี และเพียงพอต่อการดำรงชีพ โดยไม่มีผลกระทบต่อ ปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน สมดุลของไนโตรเจน การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน และสมรรถภาพของสัตว์ สอดคล้องกับรายงานของ Gunn et al. (2010a) ที่ศึกษาผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0-20 เปอร์เซ็นต์) ในแกะ พบว่าระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ และสมรรถภาพการเจริญของแกะ

ในทางตรงกันข้าม ถ้าสัตว์ได้รับไนโตรเจนจากอาหารน้อยสัตว์จะเพิ่มการกักเก็บไนโตรเจนไว้ในร่างกาย ไนโตรเจนจะถูกขับออกมาทางมูล และปัสสาวะน้อยลง เพื่อเป็นการรักษาสมดุลไนโตรเจนในร่างกาย เนื่องจากสัตว์มี

กลไกควบคุมความสมดุลของไนโตรเจนในร่างกาย เมื่อได้รับไนโตรเจนจากอาหารในปริมาณที่ต่ำ โดยไตจะลดการขับยูเรียออกทางปัสสาวะทำให้ยูเรียหมุนกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนได้อีก (Church, 1979) และพนอม (2526) รายงานว่า กระบือที่ได้รับโปรตีนจากอาหารต่ำกว่าความต้องการของร่างกาย ไนโตรเจนที่ถูกขับออกมาในปริมาณที่มากกว่าไนโตรเจนที่ได้รับ ทำให้ไนโตรเจนที่กักเก็บเป็นลบไม่เพียงพอต่อการดำรงชีพ

การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาณการกินได้ การเจริญเติบโต และคุณภาพซากในแพะ

4.2.1 การศึกษาปริมาณการกินได้ และการเจริญเติบโตในแพะ

4.2.1.1 ปริมาณการกินได้ของอาหาร (feed intake)

จากการศึกษา ผลของระดับกลีเซอรีนดิบ (crude glycerin, CG) ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบของแพะขุน (Table 4.2.1) ระยะเวลาการขุนแพะ 91 วัน โดยมีน้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง และน้ำหนักตัวเพิ่มไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 16.76-17.52, 25.20-27.44 และ 8.20-10.88 กิโลกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์) กับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จระดับต่างๆ (5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์) พบว่ากลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารมีแนวโน้มน้ำหนักตัวเพิ่มสูงขึ้น (P =0.08) หรือเท่ากับ 1.88, 2.68 และ 1.96 กิโลกรัม ตามลำดับ

Table 4.2.1 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on performance and DMI of finishing goats (Exp. 2)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Growth performance										
No. of goats	6	6	6	6	-	-	-	-	-	-
Days on feed	91	91	91	91	-	-	-	-	-	-
BW, kg										
Initial BW, kg	17.08	17.52	16.76	16.76	0.42	0.55	0.96	0.75	0.87	0.72
Final BW, kg	25.20	27.40	27.44	26.96	1.17	0.50	0.26	0.45	0.39	0.81
Weight grain (kg)	8.20	10.08	10.88	10.16	1.16	0.43	0.08	0.16	0.22	0.92
DMI										
kg/d	0.653	0.674	0.738	0.654	0.02	0.18	0.43	0.70	0.19	0.27
%BW	3.10	2.99	3.26	3.01	0.08	0.08	0.91	0.23	0.98	0.17
g/kg of $BW^{0.75}$	66.51	65.13	70.89	65.04	1.87	0.16	0.82	0.93	0.34	0.13
OM, kg/d	0.611	0.632	0.691	0.611	0.03	0.17	0.42	0.71	0.17	0.28
CP, kg/d	0.101	0.103	0.113	0.101	0.01	0.20	0.47	0.68	0.23	0.26
NDF, kg/d	0.288	0.285	0.282	0.255	0.01	0.25	0.46	0.17	0.46	0.74
ADF, kg/d	0.126^{b}	0.134^{ab}	0.147^{a}	0.125^{b}	0.005	0.05	0.31	0.82	0.06	0.24
ADG, kg/d	0.090	0.112	0.120	0.112	0.01	0.39	0.06	0.14	0.20	0.94
ADG, g/kg $W^{0.75}$	9.29	10.82	11.63	11.14	1.15	0.53	0.15	0.21	0.37	0.90
G:F, kg/kg	0.137	0.167	0.164	0.172	0.01	0.37	0.09	0.13	0.47	0.51

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

[3] SEM = Standard error of the mean (n = 6)

เมื่อพิจารณาปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมด (วัตถุแห้ง) ทั้งที่คิดเป็นปริมาณเฉลี่ย (kg/d) เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) คิดเป็นต่อกิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก (g/kg $W^{0.75}$) และปริมาณการกินได้ของโภชนะต่างๆ (OM, CP และ NDF) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยปริมาณการกินได้ทั้งหมด และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว มีค่าอยู่ในช่วง 0.653-0.738 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน และ 2.99-3.26 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ตามลำดับ ขณะที่ ปริมาณการกินได้ของลิกโนเซลลูโลส (ADF) พบว่ามีความแตกต่างกัน (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 10% มีค่าสูงกว่า (0.147kg/d) กลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 5 และ 20% (0.126 และ 0.125 kg/d) ขณะที่ไม่แตกต่างระหว่างกลุ่มควบคุม (0% CG) กับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบ (P= 0.31) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Rémond et al. (1993) ที่รายงานว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณการกินได้ และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (OM) เมื่อเสริมกลีเซอรอลทดแทนแป้งในการทดลองหาความสามารถย่อยได้ แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และ Avila-Stagno et al. (2013) พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DMI) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) พลังงานรวม (GE) และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, CP, NDF, ADF และ DE) ไม่แตกต่างกัน แม้ว่า ปริมาณการกินได้ของโภชนะ (NDF และ ADF) มีแนวโน้มลดลง (P= 0.06 และ P= 0.20 ตามลำดับ) และ Bartoñ et al. (2013) รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีนในอาหารโคขุนระยะเวลา 251 วัน ปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันในโคขุนที่ได้รับกลีเซอรีน (0-10%) ทำนองเดียวกับรายงานของ Mach et al. (2009) ที่พบว่าสามารถเสริมกลีเซอรีน 0-12% ในโค Holstein bulls ระยะเวลา 90 วัน

ผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่ออัตราการเจริญเติบโต กิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่มของแพะพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.090-0.120 กิโลกรัมต่อวัน 9.29-11.63 g/kg $W^{0.75}$ และ 0.137-0.172 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์) กับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จระดับต่างๆ (5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์) พบว่ากลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารมีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโต กิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่มของแพะเพิ่มสูงขึ้น (P =0.06, P =0.15 และ P =0.09 ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักตัวเพิ่ม และปริมาณการกินได้ทั้งหมดของแพะ ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Musselman et al. (2008); Terré et al. (2011) พบว่าการเสริมกลีเซอรีนที่ระดับ 0-15% ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ในแกะ และ Gunn et al. (2010a) ที่ศึกษาผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0-20 เปอร์เซ็นต์) พบว่าระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ และสมรรถภาพการเจริญของแกะ ทำนองเดียวกับการศึกษาในโคขุน Mach et al. (2009) รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีน (0-12%) ในโค Holstein bulls เป็นเวลา 91 วัน และ Bartoñ et al. (2013) ที่รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีน (0-10%) ในอาหารโคขุนระยะเวลา 251 วัน ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมด สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของโคขุน

ตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Pyatt et al. (2007); Parsons et al. (2009) ที่พบว่าการเสริมกลีเซอรีนในโคขุนตอน (10%) และในโคขุนสาว (12-16%) ทำให้ลดปริมาณการกินได้ และโดยเฉพาะเมื่อเสริมกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จมากกว่า 20% (30-45%) ทำให้ปริมาณการกินได้ทั้งหมด สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากลดลงตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (Musselman et al., 2008; Gunn et al., 2010b) เนื่องมาจาก การเสริมกลีเซอรีนดิบทดแทนข้าวโพดระดับสูงไปมีผลเปลี่ยนแปลงต่อกระบวนการหมัก ลดการย่อยได้ของเยื่อใย ผลผลิตของ C_2 และประชากรแบคทีเรียในกรเพาะรูเมน (Abo El-nor et al., 2010)

ซึ่งกลีเซอรีนเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมนสามารถเปลี่ยนแปลงได้ 3 ทางคือ 1) ถูกส่งผ่านไปยังระบบทางเดินอาหารส่วนล่าง (lower gut) 2) ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน และถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสที่ตับ และ 3) ถูกหมักย่อยเป็นกรดโพรพิออนิคส่งผลให้ความเข้มข้นของกลูโคสในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น (Rémond et al., 1993; Krehbiel, 2008) จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า อาหารที่มีระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จของแพะ (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่มีผลต่อต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมด และสมรรถภาพของสัตว์ แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรีนดิบสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดสำหรับแพะที่มีปัญหาทั้งราคา และปริมาณการผลิต ดังนั้นการนำใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่อาจช่วยลดต้นทุนการผลิตสัตว์ให้ต่ำลง และเป็นแนวทางการเพิ่มศักยภาพการใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่น เพราะต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงสัตว์เป็นค่าอาหารมากกว่า 60-70 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 การศึกษาคุณภาพซากในแพะ

4.2.2.1 องค์ประกอบของร่างกายของแพะ

Table 4.2.2 แสดงองค์ประกอบของร่างกายของแพะที่ได้รับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) โดยเฉลี่ยพบว่า แพะทั้ง 4 กลุ่ม มีน้ำหนักตัวก่อนอดอาหาร (29.01 กิโลกรัม) น้ำหนักตัวหลังอดอาหาร (27.25 กิโลกรัม) น้ำหนักซากอุ่น (13.52 กิโลกรัม) และเปอร์เซ็นต์ซาก (49.52%) ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีเปอร์เซ็นต์ซากสูงกว่าในแพะพื้นเมืองที่รายงานโดยศิริชัย และคณะ (2533) (47.8%); ณัฐพล (2548) (46.56%) และขวัญชนก และคณะ (2553) (46.11%) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ในแกะ (Gunn et al., 2010a; Avila-Stagno et al., 2013) และในโคเนื้อ (Mach et al., 2009) ที่พบว่าการเสริมกลีเซอรีนทดแทนข้าวโพด และข้าวบาร์เลย์ในอาหารข้น 0-20% และ 16% DM ตามลำดับ ไม่มีผลต่อคุณภาพซาก ทำนองเดียวกับ Bartoñ et al. (2013) ที่รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีนในอาหารโคขุนระยะเวลา 251 วัน ไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวหลังอดอาหาร น้ำหนักซากอุ่น เปอร์เซ็นต์ซาก และองค์ประกอบของซาก (carcass composition) รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ (chemical composition) อย่างไรก็ตาม มีข้อน่าสังเกตุพบว่าคุณลักษณะของการสะสมไขมันในซาก (คะแนนความหนาไขมันในซาก ไขมันภายในซาก ไขมันที่แยกจากซาก ความหนาของไขมันในกล้ามเนื้อ *longissimus lumborum* (MLL) และ % ไขมันใน MLL) ดีกว่าในกลุ่มที่ได้รับการเสริมกลีเซอรีนเมื่อเปรียบทียบกับกลุ่มควบคุม (0% CG)

เมื่อพิจารณาความยาวซาก ความกว้างของซาก และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 59.66-61.33, 26.00-27.66 เซนติเมตร และ 11.66-13.43 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ สุทธิพงศ์ และคณะ (2550) ที่รายงานว่า แพะลูกผสมมีความยาวซากเฉลี่ย 61.72 เซนติเมตร แต่พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกต่ำกว่าในแกะ (17.2-20.5 cm^2, Gunn et al., 2010a, b) ขณะที่ สูงกว่าในแพะพื้นเมืองที่รายงานโดยณัฐพล (2548) มีความยาวซาก 48.17 เซนติเมตร และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก 7.89 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

Table 4.2.2 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on slaughtered carcass characteristics of finishing goats (Exp. 2)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	Diet	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Slaughter data										
Live weight, kg	28.26	29.60	29.50	28.66	1.37	0.87	0.64	0.89	0.55	0.94
Fasted live weight, kg	26.86	29.03	26.16	26.93	1.09	0.36	0.83	0.78	0.73	0.37
[4]HCW, kg	13.16	14.60	13.00	13.30	0.56	0.26	0.69	0.79	0.59	0.30
Dressing percentage, %	49.04	50.25	49.45	49.32	0.67	0.64	0.45	0.99	0.36	0.41
Carcass length (cm)	61.00	61.33	59.66	61.00	0.80	0.52	0.76	0.70	0.61	0.26
Carcass width (cm)	27.33	27.66	26.00	27.00	0.61	0.34	0.61	0.44	0.66	0.19
LM area[5], cm^2	11.66	12.86	12.20	13.43	0.78	1.05	0.31	0.30	0.98	0.39

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

[4] HCW = hot carcass weight.

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

4.2.2.2 องค์ประกอบของร่างกายแพะ

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของร่างกายของแพะในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าแพะทั้ง 4 กลุ่ม ที่ได้รับกลีเซอรีนดิบระดับต่างๆ มีเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของร่างกาย ได้แก่ หัว หนัง หาง หัวใจ ปอดรวมหลอดลม ม้าม กระบังลม ไต ตับ เลือด อัณฑะรวมองคชาต ระบบทางเดินอาหาร ลำไส้ใหญ่ ไขมันในช่องท้อง และไขมันหุ้มไต พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (Table 4.2.3) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.37, 10.15, 0.15, 2.70, 0.43, 1.75, 0.19, 0.41, 0.29, 1.77, 3.26, 0.97, 2.11, 0.70, 0.85, 0.45, 1.46, 1.88 และ 3.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่การศึกษาครั้งนี้ พบว่าแพะมีเปอร์เซ็นต์ของลำไส้เล็ก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยแพะกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 10% มีค่า (2.91%) สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 20% (1.70%) แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มอื่นๆ ซึ่งเหตุผลยังไม่ชัดเจน อาจมีบางปัจจัยในอาหารทำให้ลดลง ขณะที่ การทดลองของ Bartoň et al. (2013) ในโคขุน พบว่ากระเพาะอาหาร-ลำไส้ (gastrointestinal tract) ของโคทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน (P>0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 5.66-5.87% น้ำหนักซาก อย่างไรก็ตาม แพะกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบมีค่าไขมันหุ้มไตเฉลี่ยสูงกว่า (3.20%) กลุ่มควบคุม (2.80%) แม้ว่าไม่มีความแตกต่าง (P>0.05)

ผลการศึกษาครั้งนี้ ทำนองเดียวกับงานทดลองของ Bartoň et al. (2013) ที่รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีนในอาหารโคขุนระยะเวลา 251 วัน พบว่าคุณลักษณะทางซาก องค์ประกอบของซาก และองค์ประกอบทางเคมีของ MLL ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม มีข้อน่าสังเกตุพบว่า คุณลักษณะของการสะสมไขมัน (ไขมันหุ้มไต ไขมันในกระเพาะรูเมน ไขมันภายในทั้งหมด คะแนนความหนาไขมันในซาก ไขมันภายในซาก และไขมันที่แยกจากซาก) สูงกว่าในกลุ่มที่ได้รับการเสริมกลีเซอรีนเมื่อเปรียบทียบกับกลุ่มควบคุม (P>0.05) จากการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้ ได้แสดงให้เห็นว่ากลูโคสเป็นแหล่งของสารตั้งต้นหลัก (lipid precursor) ของไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ ขณะที่ กรดอะซิ-

ติก (C_2) มีสหสัมพันธ์ช่วยสนับสนุนการสังเคราะห์กรดไขมัน (lipogenesis) โดยเฉพาะในการสร้างเนื้อเยื่อไขมันใต้ผิวหนังมากที่สุด (Smith and Crouse, 1984; Smith et al., 2009) เพราะกรดอะซิติกเป็นแหล่งของ acetyl unite สำหรับการสังเคราะห์เนื้อเยื่อไขมันใต้ผิวหนัง 70-80% ขณะที่ กลูโคสเป็นแหล่งของ acetyl unite หลักสำหรับการสังเคราะห์ไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ 50-75% (Smith and Crouse, 1984) ซึ่งกลีเซอรีนเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของการสังเคราะห์กลูโคส (glucogenic precursor) ดังนั้น จึงส่งผลให้ระดับของเนื้อเยื่อไขมันในมัดกล้ามเนื้อ (intramuscular adipose tissue) หรือไขมันแทรก (marbling fat) เพิ่มขึ้นจากเหตุผลดังกล่าว แต่การศึกษาในครั้งนี้ ไม่ได้มีการศึกษาคุณลักษณะของการสะสมไขมันในชากอื่นๆ และปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ ทำนองเดียวกับรายงานของ Mach et al. (2009) ที่รายงานว่า โคขุนที่ได้รับกลีเซอรีน (8% DM) พบว่ามีปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากเหตุผลดังกล่าว จึงอาจมีผลทำให้มีการสะสมของไขมันเพิ่มขึ้นในการทดลองครั้งนี้ สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.1 (Table 4.1.11) พบว่ากรดโพรพิออนิคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.05) ขณะที่ สัดส่วนของ C_2:C_3 มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.04) ตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0% CG) สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ การเสริมกลีเซอรีนทำให้กรดโพรพิออนิค และกรดบิวทีริคเพิ่มขึ้น (Rémond et al., 1993; Schröder and Südekum, 1999)

ในทางตรงกันข้าม Bergen and Mersmann (2005) รายงานว่าสัตว์ที่มีกระเพาะส่วนหน้า (forestomach) ขยายใหญ่ เช่น โค และกระบือ ผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมักในระบบทางเดินอาหารจะได้ C_2 เป็นผลผลิตหลักสำหรับเป็นสาตั้งต้นใน *de novo* lipogenesis ดังนั้น ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ต่ำ ซึ่งเป็นแหล่งสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ไขมัน จึงอาจเป็นเหตุผล ทำไมการเสริมกลีเซอรีนทำให้ทั้งการสะสมเนื้อเยื่อไขมันใต้ผิวหนังและคะแนนไขมันแทรกในกล้ามเนื้อของโคสาวขุนลดลง (Parsons et al., 2009) และลดค่า % ไขมันในเนื้อแกะขุน (Gunn et al., 2010b) ซึ่งการสะสมเนื้อเยื่อไขมันใต้ผิวหนัง และคะแนนไขมันแทรกในกล้ามเนื้อของโคขุนลดลงเป็นไปได้อาจเนื่องจากกลีเซอรีนไปมีผลเปลี่ยนแปลงการสะสมของไขมัน (Parsons et al., 2009)

4.2.2.3 องค์ประกอบ และสัดส่วนชากสากลของแพะ

Table 4.2.4 แสดงองค์ประกอบของชากจากการตัดแต่งชากแบบสากลของของแพะที่ได้รับที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ (CG) ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน พบว่าแพะที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีสัดส่วนของสันสะเอว (loins) สะโพก (chump) ขาหน้า (fore leg) อก (breast) และคอ (neck) ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.87-12.38, 6.91-7.15, 9.35-10.43, 10.29-14.43, 19.89-21.08, 8.36-11.59 และ 5.34-5.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ยกเว้น ขาหลัง (hind leg) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสิถิติ (P<0.05) โดยกลุ่มที่ 4 (20% CG, 23.38%) มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 2 (5% CG, 21.42%) และกลุ่มที่ 3 (10% CG, 22.02%) ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบ (P = 0.76) ซึ่งสัดส่วนชากสากลของแพะลูกผสมในการศึกษาครั้งนี้ ใกล้เคียงกับการศึกษาของสาธิต (2552) ที่รายงานว่า แพะพื้นเมืองที่ปล่อยแทะเล็มในแปลงหญ้าพลิแคททูลั่มเสริมอาหารข้นที่มีโปรตีนรวม 14 เปอร์เซ็นต์ มีสัดส่วนของสันสะเอว (10.13 เปอร์เซ็นต์) ขาหลัง (21.13 เปอร์เซ็นต์) สะโพก (6.91 เปอร์เซ็นต์) สันซี่โครง (10.38 เปอร์เซ็นต์) ไหล่ (8.63 เปอร์เซ็นต์) ขาหน้า (19.73 เปอร์เซ็นต์) อก (10.54 เปอร์เซ็นต์) และคอ (10.52 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ขณะที่ สุทธิ พงศ์ และคณะ (2550) รายงานว่า แพะลูกผสมมีมีเปอร์เซ็นต์ชากของส่วนคอ ไหล่ ซี่โครง อก แข้ง เนื้อสัน พื้นท้อง และขาเฉลี่ย 8.22, 24.07, 8.65, 9.29, 7.77, 7.33, 1.99 และ 29.02% ตามลำดับ

Table 4.2.3 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on body and gut composition of finishing goats (Exp. 2)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	Diet	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Body and gut contents[4], %										
Head	7.94	8.38	8.19	9.00	0.40	0.37	0.20	0.10	0.62	0.43
Skin	9.90	10.51	9.92	10.28	0.28	0.43	0.39	0.71	0.71	0.18
Tail	0.17	0.15	0.13	0.15	0.02	0.68	0.31	0.39	0.44	0.72
Shank	2.67	2.64	2.99	2.51	0.16	0.32	0.63	0.88	0.94	0.31
Heart	0.41	0.41	0.44	0.44	0.01	0.61	0.62	0.40	1.00	0.49
Lung	2.20	1.62	1.64	1.53	0.19	0.15	0.05	0.08	0.33	0.50
Spleen	0.17	0.19	0.19	0.20	0.01	0.49	0.35	0.38	0.81	0.59
Diaphragm	0.41	0.42	0.40	0.40	0.04	0.97	0.94	0.77	0.90	0.72
Kidney	0.30	0.28	0.31	0.28	0.01	0.27	0.71	0.83	0.87	0.27
Liver	1.81	1.73	1.76	1.79	0.07	0.90	0.65	0.91	0.58	0.83
Blood	3.26	3.04	3.55	3.20	0.30	0.71	0.98	0.81	0.82	0.26
Penis	0.95	0.96	1.05	0.93	0.06	0.63	0.82	0.95	0.53	0.49
Rumen	2.27	1.82	2.37	1.98	0.23	0.39	0.68	0.87	0.95	0.34
Omasum	0.72	0.66	0.79	0.62	0.06	0.38	0.95	0.93	0.90	0.90
Reticulum	0.87	0.75	0.95	0.83	0.06	0.25	0.96	0.97	0.99	0.79
Abomasum	0.49	0.42	0.47	0.41	0.02	0.31	0.11	0.18	0.73	0.10
Small intestine	2.32^{ab}	2.25^{ab}	2.91^{a}	1.70^{b}	0.21	0.04	0.88	0.21	0.02	0.02
Large intestine	1.33	1.42	1.42	1.66	0.18	0.65	0.46	0.28	0.72	0.72
Visceral fat	2.20	1.86	1.70	1.79	0.38	0.80	0.38	0.45	0.60	0.97
Kidney fat, %	2.80	3.08	3.42	3.12	0.20	0.19	0.25	0.33	0.33	0.58
Pelvic fat, %	0.55	0.60	0.63	0.65	0.02	0.19	0.12	0.08	0.76	0.95
Heart fat, %	0.96	0.1.30	1.04	1.14	0.13	0.41	0.26	0.67	0.42	0.17
Gallbladder, %	0.34	0.57	0.54	0.39	0.19	0.79	0.53	0.89	0.41	0.87

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

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

Table 4.2.4 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on carcass composition of finishing goats (Exp. 2)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)			0 vs. others[2]	L	Q	C
Carcass composition[4]										
Loin, %	11.22	12.38	11.36	10.87	0.46	0.22	0.62	0.41	0.16	0.29
Hind leg, %	22.11^{ab}	21.42^{b}	22.02^{b}	23.38^{a}	0.42	0.07	0.76	0.06	0.05	0.80
Chump, %	7.15	7.00	7.04	6.91	0.39	0.97	0.70	0.67	0.98	0.83
Rack, %	10.17	10.43	9.35	10.03	0.61	0.65	0.75	0.60	0.74	0.28
Shoulder, %	11.44	13.90	14.93	10.29	1.38	0.16	0.30	0.68	0.02	0.47
Fore leg, %	21.08	19.89	20.62	20.94	0.41	0.27	0.43	0.91	0.26	0.43
Breast, %	11.09	8.36	8.70	11.59	0.97	0.13	0.17	0.66	0.01	0.90
Neck, %	5.72	5.34	5.96	5.96	0.34	0.57	0.93	0.43	0.61	0.35

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

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

4.2.2.4 คุณค่าทางโภชนาการ และสมบัติทางกายภาพของเนื้อแพะ

4.2.2.4.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ

คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะแต่ละกลุ่มทดลองที่เสริมกลีเซอรีนดิบ (CG) ระดับต่างๆ ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20% CG) (Table 4.2.5) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ของวัตถุแห้ง (ความชื้น) เถ้า โปรตีน และไขมัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 25.76-26.45, 1.50-1.63, 22.09-22.42 และ 1.37-1.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำนองเดียวกับค่าแคลเซียม (Ca) และฟอสฟอรัส (P) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.10-0.11 และ 0.63-0.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระดับการเสริมกลีเซอรีนดิบไม่อิทธิพลต่อคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ อาจเนื่องจาก การทดลองครั้งนี้แพะทุกกลุ่มได้รับโภชนะใกล้เคียงกันและเป็นแพะพันธุ์เดียวกัน อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์ไขมันในกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นโค้งกำลังสาม (C, P= 0.09) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0%) อาจเนื่องจาก เหตุผลดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และจากการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้ ได้แสดงให้เห็นว่ากลูโคสเป็นแหล่งของสารตั้งต้นหลัก (lipid precursor) ของไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ ขณะที่ กรดอะซิติก (C_2) มีสหสัมพันธ์ช่วยสนับสนุนการสังเคราะห์กรดไขมัน (lipogenesis) โดยเฉพาะในการสร้างเนื้อเยื่อไขมันใต้ผิวหนังมากที่สุด (Smith and Crouse, 1984; Smith et al., 2009)

เนื่องจากกลีเซอรีนเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของการสังเคราะห์กลูโคส (glucogenic precursor) (Rémond et al., 1993) ดังนั้น จึงส่งผลให้ระดับของเนื้อเยื่อไขมันในมัดกล้ามเนื้อ (intramuscular adipose tissue) หรือไขมันแทรก (marbling fat) เพิ่มขึ้น ทำนองเดียวกับรายงานของ Mach et al. (2009) ที่รายงานว่า โคขุนที่ได้รับกลีเซอรีน (8% DM) พบว่ามีปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และ Bartoñ et al. (2013) ที่รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีน (5-10% DM) ในอาหารโคขุนระยะเวลา 251 วัน พบว่า% ไขมันในกล้ามเนื้อ *longissimus lumborum* สูงกว่าในกลุ่มที่ได้รับการเสริมกลีเซอรีน จากเหตุผลดังกล่าว จึงอาจมีผลทำให้มีการสะสม

ของไขมันเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ การเสริมกลีเซอรีนทำให้กรดโพรพิออนิค และกรดบิวทีริค เพิ่มขึ้น (Rémond et al., 1993; Schröder and Südekum, 1999)

Table 4.2.5 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on chemical composition and physical properties of *Longissimus dorsi* muscle of finishing goats (Exp. 2)

Item[2]	Dietary crude glycerin[1], %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)			0 vs. others[2]	L	Q	C
Nutritional composition										
DM, %	26.45	25.76	26.35	26.05	0.33	0.51	0.31	0.68	0.55	0.16
Moist.	73.51	74.24	73.64	73.94	0.33	0.49	0.28	0.64	0.53	0.16
Ash, %	1.62	1.53	1.63	1.50	0.11	0.81	0.57	0.58	0.87	0.41
Protein, %	22.21	22.09	22.15	22.42	0.23	0.79	0.98	0.59	0.49	0.98
Ether extract, %	1.47	1.37	1.99	1.72	0.16	0.14	0.31	0.12	0.66	0.09
Calcium, %	0.10	0.11	0.10	0.11	0.01	0.95	0.89	0.89	0.87	0.58
Phosphorous, %	0.67	0.63	0.63	0.69	0.04	0.59	0.67	0.77	0.26	0.99
Physical properties of meat goats										
Drip loss (%)	15.10[a]	16.40[a]	10.30[b]	11.06[b]	0.85	0.01	0.04	0.001	0.77	0.03
WBS[4] (kg/cm^2)	4.01	3.71	3.18	3.47	0.31	0.37	0.17	0.17	0.38	0.47
Colour of LM, *(Longissimus dorsi)*[5]										
L*	39.76	39.25	37.75	39.95	1.01	0.41	0.52	0.84	0.20	0.32
a*	12.61	12.58	12.11	11.83	0.60	0.75	0.49	0.26	0.82	0.80
b*	11.54	11.46	10.15	11.29	0.57	0.30	0.36	0.40	0.26	0.13

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

[4] WBS: Warner-Bratzler shear force.

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

จากการทดลองนี้ ค่า % โปรตีน และเถ้าสูงกว่ารายงานของ Beserra et al. (2004) ที่รายงานว่า โปรตีน และเถ้าเนื้อแพะที่ฆ่าที่อายุ 8-10 เดือน มีโปรตีน และเถ้าช่วง 20.7-21.9 และ 1.1-1.1% ตามลำดับ แต่มี % ไขมันต่ำกว่า (1.5-2.7%) ขณะที่ % ไขมันที่ศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่ารายงานของเฉลิมขวัญ (2550) ที่รายงานว่า แพะลูกผสมแองโกลนูเบียน 50% x พื้นเมือง 50% และแพะพื้นเมืองมีไขมัน 1.35 และ 0.90% ตามลำดับ ความแตกต่างน่าเป็นผลจากอาหารทดลองที่แตกต่างกัน ปริมาณอาหารที่กิน อายุ และเพศ เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้แพะลูกผสมแองโกลนูเบียน 50% x พื้นเมือง 50% เพศผู้ที่ไม่ตอน ปริมาณการสะสมไขมันในเนื้อจึงมีค่าสูงกว่าแพะพื้นเมือง ซึ่ง Evan et al. (1976) รายงานว่า สายพันธุ์แพะที่แตกต่างกันมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อแพะ โดยสัตว์พันธุ์ต่างประเทศ หรือสัตว์ลูกผสมจะมีการสะสมไขมันสูงกว่าสัตว์พันธุ์พื้นเมือง (Xiong et al., 1993) มากกว่านั้น

องค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันอาจเป็นผลเนื่องมาจากพันธุกรรม รูปแบบการให้อาหาร อายุ และสิ่งแวดล้อมที่สัตว์ได้รับ โดยจะมีผลตอบสนองที่เด่นชัดกับการสะสมไขมันในกล้ามเนื้อ หรือไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (ชัยณรงค์, 2529; Swatland, 1994)

4.2.2.4.2 ค่าการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อแพะ และค่าแรงตัดผ่านเนื้อของกล้ามเนื้อแพะ

จากการศึกษา ผลของระดับกลีเซอรีนดิบ (CG) ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อค่าการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อแพะขณะเก็บรักษา (drip loss) พบว่า มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 5% มีค่าสูงกว่า (15.10 และ 16.40%) เมื่อเปรียบกับกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 10 และ 20% (10.30 และ 11.06%) ตามลำดับ ซึ่งค่าการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity, WHC) ดังนั้น ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อต่ำจะทำให้สูญเสียน้ำออกไปมาก ส่งผลให้ลักษณะของเนื้อเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ไม่ดี และเนื้อมีความชุ่มฉ่ำลดลง (Warriss, 2000) ซึ่งค่า WHC เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้บ่งบอกคุณภาพของเนื้อสัตว์ ซึ่งสัมพันธ์กับคุณสมบัติของเนื้อสัตว์ เช่น ความชุ่มฉ่ำ (jujceness) และกลิ่นและรสชาติของเนื้อสัตว์ (flavor) (Schonfeldt et al., 1993; Warriss, 2000) โดยปัจจัยหลักของการสูญเสีย WHC เป็นผลมาจากการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในเนื้อ และการเกิดสภาวะการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อหลังสัตว์ตาย (rigor mortis) ซึ่งการสูญเสียน้ำออกมามากส่งผลให้เนื้อมีค่าแรงตัดผ่านสูงด้วย (ชัยณรงค์, 2529) นอกจากนี้ Schonfeldt et al. (1993) รายงานว่าการสูญเสียน้ำของกล้ามเนื้อนั้นยังเกี่ยวข้องกับปริมาณไขมันในกล้ามเนื้อด้วย โดยทั่วไปค่าการสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าแรงตัดผ่านเนื้อของกล้ามเนื้อแพะ (Table 4.2.5) พบว่ากล้ามเนื้อสันนอก *(Longissimus dorsi)* ของแพะทุกกลุ่มมีค่าแรงตัดผ่านไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.18-4.01 กิโลกรัม แสดงว่าระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อของกล้ามเนื้อแพะ แต่มีแนวโน้มลดลง ($P, L= 0.17$) แม้ว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) จากการทดลองค่าแรงตัดผ่านเนื้อสอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำของเนื้อ ซึ่งค่าแรงตัดผ่าน (shear force) บ่งบอกลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ความนุ่มเหนียวของเนื้อ (จุฑารัตน์, 2540; สัญชัย, 2543) ดังนั้น ความนุ่มเหนียวของเนื้อถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินการยอมรับของเนื้อโดยผู้บริโภค (consumer acceptance) และความนุ่มของเนื้อ (tenderness) (Warriss, 2000; Miller et al., 2001) ซึ่งมีสหสัมพันธ์กันระหว่างความนุ่มของเนื้อ และไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ ซึ่งค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่เป็นที่ยอมรับของความนุ่มของเนื้อควรมีค่าน้อยกว่า 4.00 กิโลกรัม (Miller et al., 2001)

อย่างไรก็ตาม ความนุ่มเหนียวของเนื้อสัตว์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของสัตว์ อายุสัตว์ เพศ ระบบการเลี้ยง ชนิดของกล้ามเนื้อ การทำงานของกล้ามเนื้อในร่างกายแต่ละส่วน และปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (marbling) โดยทั่วไป สัตว์ที่มีอายุมากจะเหนียวกว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย เนื่องจากมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และปริมาณของ intermolecular crosslink เพิ่มขึ้น ส่วนเรื่องเพศ สัตว์เพศผู้มีกล้ามเนื้อเหนียวกว่ากล้ามเนื้อสัตว์เพศเมีย และการทำงานของกล้ามเนื้อพบว่า กล้ามเนื้อที่มีการทำงานหนักจะมีปริมาณของกล้ามเนื้อเกี่ยวพันสูงส่งผลให้เนื้อมีความเหนียวมากขึ้น (Lawrie, 1991; Xionget al., 1999; Warriss, 2000) มากกว่านั้น ความนุ่มเหนียวของเนื้อยังผันแปรตามปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และการหดตัวของเส้นใยโปรตีน actomyosin โดยอายุมากขึ้นเนื้อเกี่ยวพันจะเพิ่มมากขึ้น (Warriss, 2000) ขณะที่ ชนิดอาหาร Lee et al. (2008) รายงานว่า ชนิดอาหารไม่มีผลต่อ

ค่าแรงตัดผ่านในกล้ามเนื้อสันนอกของแพะ ทำนองเดียวกับระดับโภชนะในอาหารพบว่าไม่มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านในกล้ามเนื้อ (Kannan et al., 2001)

4.2.2.4.3 ค่าสีของกล้ามเนื้อแพะ

ผลของระดับกลีเซอรีนดิบ (CG) ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อค่าสีของกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*) ของแพะ พบว่าระดับของกลีเซอรีนดิบในอาหารไม่มีผลต่อค่าสี L*, a* และ b* ของกล้ามเนื้อแพะแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าสีอยู่ในช่วง 37.75-39.95, 11.83-12.61 และ 10.15-11.34 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Lee et al. (2008) ที่รายงานว่า ค่าสีของกล้ามเนื้อสันนอกของแพะลูกผสม Boer x Spanish ที่เลี้ยงในโรงเรือนโดยได้รับอาหารที่แตกต่างกันมีค่าสี (L*, a* และ b*) อยู่ในช่วง 39.81-43.57, 9.34-9.89 และ 11.09-12.45 ตามลำดับ จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีค่าสี L* สูงกว่า แต่มีค่าสี a* และ b* ต่ำกว่ารายงานของ Solaiman et al. (2011) ที่รายงานว่า ค่าสี (L*, a* และ b*) ของกล้ามเนื้อสันนอกของแพะลูกผสม Boer และแกะ มีค่าสีเฉลี่ย 28.05; 29.91, 16.21; 17.35 และ 15.44; 16.82 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของค่าสีที่เกิดในกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลายประการ เช่น พันธุ์ อายุ เพศ ชนิดอาหารที่สัตว์กิน ชนิดกล้ามเนื้อจากส่วนต่างๆ ของร่างกาย ปริมาณของรงควัตถุไมโอโกลบิน (myoglobin pigment) ที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ ตลอดจนสภาวะความเป็นกรด-ด่าง และสภาวะการสูญเสียน้ำของกล้ามเนื้อสัตว์ เป็นต้น (Lawire, 1991; Warriss, 2000) ซึ่ง Dhanda et al. (2003a) รายงานว่าอายุแพะที่มากกว่ามีแนวโน้มค่าสีสูงกว่าในแพะที่อายุน้อย ทั้งนี้เพราะแพะที่มีอายุมากกว่ามีการใช้ และสะสมออกซิเจนในปริมาณที่สูงกว่าแพะที่มีอายุน้อยกล้ามเนื้อจึงมีสีเข้มกว่า สอดคล้องกับการศึกษาในแกะ ผลของอายุดังรายงานของ Sanudo et al. (1996); Beriain et al. (2000) พบว่า แกะที่มีน้ำหนักฆ่าสูงจะมีสีคล้ำกว่าแกะที่มีน้ำหนักฆ่าต่ำกว่า เพราะเนื้อจากซากที่มีน้ำหนักฆ่าเพิ่มขึ้นจะมีค่าความเข้มข้นของ myoglobin ในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้สีของเนื้อเข้มขึ้น นอกจากนี้ ความแตกต่างเรื่องสายพันธุ์พบว่า แพะลูกผสม Feral x Feral และ Saanen x Feral มีค่า a* (12.4) สูงกว่าแพะลูกผสมพันธุ์อื่นๆ (10.3-11.8) ส่วนค่า L* และ b* พบว่าลูกผสม Boer x Saanen มีค่าสีทั้ง 2 ชนิด สูงที่สุด (Dhanda et al., 2003a) และสัญชัย (2543) รายงานว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างในกล้ามเนื้อมีผลให้สีของเนื้อซีดลงได้ ถ้ามีค่าต่ำกว่า 5.8 ทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพในการอุ้มน้ำ ทำให้เม็ดสี myoglobin ไหลออกจากเซลล์กล้ามเนื้อด้วย

จากผลการทดลองครั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างของค่าสีเนื้อมาจากอิทธิพลของระดับกลีเซอรีนดิบ (CG) ในสูตรอาหารผสมเสร็จ อาจเนื่องจาก แพะทดลองมีอายุใกล้เคียงกันขณะเข้าฆ่า ดังนั้น จึงไม่มีผลจากอาหารทดลองสำหรับค่าสีของเนื้อ (L*, a* และ b*) และกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในกล้ามเนื้อสัตว์ภายหลังสัตว์ตายเป็นไปอย่างปกติ ดังนั้น จึงไม่ส่งผลต่อค่าสีของกล้ามเนื้อแพะ

4.2.2.5 รูปแบบของกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอก

ผลของระดับกลีเซอรีนดิบ (CG) ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อรูปแบบของกรดไขมันชนิดต่างๆ ในกล้ามเนื้อสันนอก (Table 4.2.6) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ยกเว้นกรด C16:0 ลดลง (P<0.02) และกรด C16:1 เพิ่มขึ้น (P<0.001) ขณะที่ C15:0 และ C22:5n-3 มีความแตกต่างกัน (Q, P= 0.02 และ C, P= 0.001) โดยมีค่าเฉลี่ย 22.38, 2.13, 2.36 และ 2.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระดับการเสริมกลีเซอรีนดิบไม่อิทธิพลต่อรูปแบบของกรดไขมันของเนื้อแพะ อาจเนื่องจาก การทดลองครั้งนี้แพะทุก

กลุ่มได้รับโภชนะใกล้เคียงกัน และเป็นแพะพันธุ์เดียวกัน อย่างไรก็ตาม ปริมาณกรด C16:0 ที่ลดลงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เพราะกรด C16:0 (palmitic acid) มีผลทำให้เพิ่มค่าปริมาณความเข้มข้นของ cholesterol ในเลือดสูงขึ้น ขณะที่ C18:0 (stearic acid) ไม่มีผลทำให้ค่าของ cholesterol เปลี่ยนแปลงในมนุษย์ และ C18:1 (oleic acid) ทำให้ค่าของ cholesterol ในเลือดลดลง (Yu et al., 1995; Banskalieva et al., 2000) ซึ่งค่าสัดส่วนของ C18:0+ C18:1/ C16:0 มีประโยชน์สามารถใช้อธิบายผลของชนิดของไขมันที่มีความแตกต่างที่มีผลต่อสุขภาพ (Banskalieva et al., 2000) นอกจากนี้ มีรายงาน C18:1 (oleic acid) เป็นกรดไขมันมีมากที่สุดในเนื้อโค (Turk and Smith, 2009) และเนื้อแกะ (Diaz et al., 2005) ซึ่งการเพิ่มของ oleic acid มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันชนิดดี หรือ high-density lipoprotein (HDL) ในมนุษย์ (Gilmore et al., 2011)

ซึ่งรูปแบบของกรดไขมันอิ่มตัวในครั้งนี้คล้ายกับที่รายงานในโคที่ได้รับหญ้ามากกว่าเมล็ดธัญพืช (Daley et al., 2010) เพราะหญ้ามี stearic และ linoleic acid มากกว่า ขณะที่ เมล็ดธัญพืชมี palmitic acid มากกว่า ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Avila-Stagno et al. (2013) ที่รายงานว่า ไขมันใต้ผิวหนังของแกะที่ได้รับกลีเซอรอลดิบ (0-21% DM) มีค่ากรด C16:0 ลดลง ขณะที่ C18:0 เพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Terré et al. (2011) ที่รายงานว่า รูปแบบของกรดไขมันในเนื้อสันนอกของแกะที่ขุนระยะอายุน้อย (4 wk after weaning) และมีน้ำหนักตัวต่ำ (24.5 ± 0.4 kg) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้น ค่า C12:0 และ C17:0 ที่เพิ่มสูงขึ้น อาจเนื่องมาจาก ระยะเวลาขุนสั้น และน้ำหนักตัวต่ำทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของรูปแบบกรดไขมัน และกลีเซอรีนที่ใช้ระดับต่ำ (0-10% DM) (Terré et al., 2011)

Table 4.2.6 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on fatty acid (FA) profiles (% of total FA) in *Longissimus dorsi* muscle of finishing goats (Exp. 2)

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)			0 vs. others[2]	L	Q	C
Fatty acids, % of total FAME										
C10:0	0.11	0.12	0.18	0.12	0.02	0.18	0.22	0.34	0.13	0.12
C12:0	1.09	1.04	1.01	1.51	0.15	0.14	0.31	0.06	0.19	0.41
C14:0	3.10	3.12	2.81	3.08	0.65	0.98	0.92	0.92	0.88	0.80
C15:0	2.06^{b}	3.22^{a}	2.34^{ab}	1.82^{b}	0.30	0.07	0.24	0.24	0.02	0.09
C16:0	23.98^{a}	22.30^{b}	22.09^{b}	21.15^{b}	0.32	0.02	0.01	0.01	0.24	0.13
C16:1	1.65^{c}	1.45^{d}	2.12^{b}	3.31^{a}	0.05	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	0.31
C18:0	14.16	13.87	13.27	14.27	0.40	0.27	0.55	0.92	0.17	0.24
C18:1n-9 cis	44.71	43.50	47.08	46.06	1.05	0.16	0.38	0.09	0.95	0.07
C18:1n-9 trans	1.65	1.74	1.68	1.93	0.16	0.26	0.24	0.20	0.90	0.33
C18:2n-6	4.97	5.06	5.21	3.81	0.62	0.42	0.68	0.21	0.20	0.53
C18:3n-3	0.14	0.15	0.15	0.14	0.01	0.45	0.76	0.36	0.14	0.64
C22:5n-3 (DPA)	2.30^{b}	4.40^{a}	2.05^{b}	2.77^{b}	0.28	0.01	0.09	0.56	0.08	0.001

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

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

อย่างไรก็ตาม มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อความรูปแบบกรดไขมันที่อยู่ในกล้ามเนื้อ ได้แก่ แตกต่างของชนิดสัตว์ พันธุ์ อายุ การจัดการเลี้ยงดู อาหาร และชนิดกล้ามเนื้อ เป็นต้น โดยเฉพาะพันธุ์ และอาหารเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อรูปแบบกรดไขมันที่อยู่ในกล้ามเนื้อ Addrizzo (2002) รายงานว่า เนื้อแพะมีปริมาณไขมันต่ำกว่าเนื้อโคถึง 50-65% ต่ำกว่าเนื้อแกะ (chevon) 42-59% น้อยกว่าเนื้อลูกโค (veal) 25% และมีกรดไขมันอิ่มตัวน้อยกว่าเนื้อไก่ 40% ทำนองเดียวกับ สุทธิพงศ์ และคณะ (2550) ที่รายงานว่า เนื้อแกะมีเปอร์เซ็นต์ไขมันมากกว่าเนื้อแพะ และ Gaili and Ali (1985) ที่กล่าวว่า แพะมีแนวโน้มที่สะสมไขมันภายในร่างกาย เช่น ไขมันรอบๆ อวัยวะภายในมากกว่า แต่แกะสะสมไขมันใต้ผิวหนังในซากได้มากกว่า

4.2.3 ระดับความเข้มข้นของอินซูลิน (insulin) กลูโคส (glucose) และเบต้าไฮดรอกซี่บิวทีเรท (β-hydroxybutyrate) ในกระแสเลือด

ผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อค่ากลูโคส และ BHBA ในกระแสเลือดในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) (Table 4.2.7) แม้ว่า ที่ช่วงเวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมค่ากลูโคสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น (L, P= 0.07 และ 0.10 ตามลำดับ) โดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในช่วง 63.01-65.22 mg/dl และ 3.10-3.48 mg/dl ตามลำดับ เนื่องจาก กลีเซอรีนเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น (Lin, 1977) ซึ่งกลูโคสในกระแสเลือดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติในแพะ คือ 50-75 mg/dL (2.77 to 4.16 mmol/L) (Kaneko, 1980)

Table 4.2.7 Effects of 0, 5, 10 and 20% dietary crude glycerin on blood metabolite and hormone concentrations of finishing goats (Exp. 2)

Item[2]	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Glucose, mg/dL										
0 h-post feeding	62.34	63.48	63.76	64.47	0.72	0.31	0.23	0.19	0.84	0.79
4 h-post feeding	63.68	64.48	64.76	65.97	0.78	0.31	0.16	0.07	0.80	0.69
Mean	63.01	63.98	64.26	65.22	0.98	0.24	0.16	0.10	0.99	0.72
Insulin, μU/mL										
0 h-post feeding	2.85	2.44	3.10	3.43	0.42	0.46	0.80	0.28	0.45	0.53
4 h-post feeding	2.52[b]	2.71[ab]	3.10[ab]	3.67[a]	0.27	0.08	0.06	0.01	0.49	0.99
Mean	2.68[b]	2.58[b]	3.10[ab]	3.55[a]	0.23	0.08	0.23	0.02	0.32	0.57
BHBA, mg/dL										
0 h-post feeding	3.51	2.88	3.10	3.50	0.21	0.19	0.22	0.86	0.05	0.53
4 h-post feeding	3.34	3.48	3.10	3.47	0.31	0.81	0.99	0.99	0.80	0.56
Mean	3.43	3.18	3.10	3.48	0.20	0.50	0.57	0.93	0.25	0.80

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

[3] SEM = Standard error of the mean (n = 6).

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของระดับอินซูลิน (insulin) ที่เวลา 0 ชั่วโมงก่อนการให้อาหารพบว่า พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่ในช่วงเวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.01 และ 0.02 ตามลำดับ) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปการหมุนเวียนของอินซูลินในกระแสเลือดมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของกลูโคสในกระแสเลือด (Evans et al., 1975) ปริมาณกลูโคสในกระแสเลือดที่เพิ่มขึ้นทำให้ระดับอินซูลินในกระแสเลือดที่เพิ่มขึ้น (Jenny and Polan, 1975) อย่างไรก็ตาม การหลั่งของอินซูลินขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อาหารที่ได้รับ อายุ สุมดุลของพลังงาน กรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด ระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่าง และสถานะภาพของสัตว์ เป็นต้น บางกรณี มีรายงานว่ามีสหสัมพันธ์ที่ต่ำกับค่ากลูโคสในกระแสเลือด (McAtee and Trenkle, 1971)

4.2.4 ต้นทุน และผลตอบแทนการเลี้ยงแพะ

Table 4.2.8 แสดงต้นทุนการเลี้ยงแพะที่ได้รับระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน เป็นระยะเวลา 91 วัน พบว่าราคาอาหารต่อ 1 กิโลกรัมมีค่าลดลงตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหาร โดยอาหารที่ใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบด 20 เปอร์เซ็นต์ มีราคา 10.12 บาทต่อกิโลกรัม ต่ำกว่าอาหารที่ใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบด 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ (11.4, 11.03 และ 10.71 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ดังนั้น การนำใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่อาจช่วยลดต้นทุนการผลิตสัตว์ให้ต่ำลง เพราะต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงสัตว์เป็นค่าอาหารมากกว่า 60-70 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาต้นทุนค่าอาหารทั้งหมดตลอดการทดลอง พบว่ามีความแตกต่างกัน (P<0.05) โดยแพะที่ได้รับอาหารที่ใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบด 10 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารทั้งหมด 829.8 บาทต่อตัว สูงกว่าแพะที่ได้รับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบด 20 เปอร์เซ็นต์ (700.9 บาทต่อตัว) ทั้งนี้เนื่องมาจากแพะที่ได้รับอาหารที่ใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบด 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กินได้สูงกว่าแพะที่ได้รับอาหารที่ใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบด 20 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ ไม่แตกต่างระหว่างกลุ่มควบคุม (0% CG) กับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบ (P= 0.92)

สำหรับ ค่าแพะทดลอง ค่ายาถ่ายพยาธิ และต้นทุนทั้งหมด พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แต่หากพิจารณาต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวแพะที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม และต้นทุนทั้งหมดต่อน้ำหนักตัวแพะที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม พบว่ามีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.01 และ 0.05 ตามลำดับ) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ กำไรเมื่อหักจากการรวมต้นทุนทั้งหมดของการเลี้ยงแพะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.07 และ P = 0.04) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบ สอดคล้องกับกำไรเมื่อหักเฉพาะต้นทุนค่าอาหารพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.15) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความแตกต่างของราคาอาหาร โดยอาหารที่ใช้กลีเซอรีนดิบทดแทนข้าวโพดบด 0 เปอร์เซ็นต์ มีราคา 11.40 บาทต่อกิโลกรัม สูงกว่าอาหารที่ใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบด 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ (11.4, 11.03 และ 10.71 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และแพะกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบมีอัตราการเจริญเติบโต กิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่มดีกว่ากลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์)

Table 4.2.8 Effects of increasing concentrations of crude glycerin in the diet on economical return of finishing goats (Exp. 2)

Item[2]	Dietary crude glycerin, %				SEM[3]	*P*-value	Contrasts, *P*-value[1]			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		Diet	0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Feed cost, ฿/kg	11.40	11.03	10.71	10.12	-	-	-	-	-	-
Total feed cost, ฿/hd	774.6[ab]	778.2[ab]	829.8[a]	700.9[b]	33.45	0.10	0.92	0.39	0.14	0.25
Goat cost, ฿/hd	3074.4	3153.6	3117.6	3024.0	73.50	0.63	0.92	0.85	0.71	0.95
Drug+Vacc., ฿/hd	39.79	40.82	40.35	39.14	0.95	0.63	0.92	0.85	0.71	0.95
Total cost, ฿/hd	3888.8	3972.6	3987.8	3764.2	84.77	0.27	0.94	0.76	0.56	0.88
Feed cost/gain, ฿/hd	104.7[a]	77.3[b]	77.4[b]	71.1[b]	8.17	0.05	0.01	0.01	0.20	0.35
Total cost/gain, ฿/hd	546.8	395.0	374.7	380.8	55.68	0.14	0.02	0.05	0.17	0.68
Live goat sale, ฿/hd	4536.0	4968.0	5076.0	4852.0	203.40	0.31	0.20	0.41	0.26	0.99
Income over feed, ฿/hd	3761.3	4189.8	4246.1	4151.8	176.34	0.24	0.15	0.29	0.31	0.84
Income over total cost, ฿/hd	647.2	995.4	1088.1	1088.6	183.49	0.31	0.04	0.07	0.31	0.82

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

[1] Treatment and contrast *P*-values; P-value for L = Linear effect, Q = Quadratic effect, C = Cubic effect.

[2] Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment.

[3] SEM = Standard error of the mean (n = 6).

จากผลการทดลองครั้งนี้ ส่งผลให้มีกำไรจากการเลี้ยงแพะสูงกว่าแพะที่ได้รับอาหารผสมครบส่วนที่ใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบด 0 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น การตัดสินใจการเลี้ยงแพะในเชิงธุรกิจ การใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบด 5-20% น่าจะให้ผลตอบแทนที่ดีกว่ากลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

การศึกษา ผลของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมักสมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ เพื่อจะนำไปสู่เป้าหมายในการพัฒนาเทคโนโลยีอาหารแพะโดยอาศัยอาหารที่มีอยู่ในท้องถิ่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ จากการวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปการดำเนินการทดลองโดยรวมได้ ดังนี้

5.1 คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของกลีเซอรีนดิบ พบว่ากลีเซอรีนดิบที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นของเหลวใส (โปร่ง) ไม่ขุ่น มีสีเหลืองอ่อน (light yellow) โดยมีค่าสี L*, a* และ b* เฉลี่ยเท่ากับ 32.43, 14.78 และ 43.76 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาคุณค่าทางโภชนาการของกลีเซอรีนดิบที่ใช้ในการทดลอง พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความชื้น เถ้ารวม โปรตีนรวม ไขมันรวม และพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 8.07%, 3.34%, 0.01%, 0.30% และ 3989.82 kcal/kg ตามลำดับ ขณะที่ มีค่าเฉลี่ยของธาตุ Na, Cl, K และ S เท่ากับ 1.24, 1.56, 0.01 และ 0.1% ตามลำดับ และมีธาตุ Ca และ P เท่ากับ 0.0045 และ 0.0059% ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยของกลีเซอรีนรวมเท่ากับ 86.72% เมทานอล 0.64% กรดไขมันอิสระ 0.71% ค่าความกรด-ด่าง 9.48, MONG 2.57% ความหนาแน่น 1.27 ความถ่วงจำเพาะ 1.25 และค่าความหนืด 10.06

5.2 **การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจนในแพะ**

ผลของอาหารที่มีระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จของแพะ (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) พบว่าสามารถใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จ (TMR) ของแพะได้ระดับ 0-20% โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินอาหารทั้งหมดโดยรวมของอาหาร ตลอดจนสัมประสิทธิ์การย่อยได้ (DM, OM, CP, EE, NDF, ADF) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) กลูโคส BHBA และ PCV ในกระแสเลือด ประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในแพะ ขณะที่ ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) และค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (BUN)พบว่ามีความแตกต่างกัน แต่มีค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของระดับอินซูลิน พบว่าค่าอินซูลินในกระแสเลือดมีความแตกต่างกัน โดยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวของกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว (kg/d และ %) ดีกว่า ดังนั้น สามารถใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จของแพะทดแทนข้าวโพดบดในสูตรอาหารได้ระดับ 0-20% โดยไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ การย่อยได้ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจน หรือสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง

5.3 การศึกษาปริมาณการกินได้ การเจริญเติบโต และคุณภาพซากในแพะ

การศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแพะ พบว่าน้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง และน้ำหนักตัวเพิ่มไม่มีความแตกต่างกัน แต่กลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารมีแนวโน้มน้ำหนักตัวเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมด (วัตถุแห้ง) ปริมาณการกินได้ของโภชนะต่างๆ (OM, CP และ NDF) อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่มของแพะพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์) กับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบ

ในสูตรอาหารผสมเสร็จระดับต่างๆ (5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์) พบว่ากลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารมีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโต กิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่มของแพะเพิ่มสูงขึ้น

องค์ประกอบของร่างกายของแพะ จากการศึกษาพบว่า น้ำหนักตัวก่อนอดอาหาร น้ำหนักตัวหลังอดอาหาร น้ำหนักซากอุ่น เปอร์เซ็นต์ซาก ความยาวซาก ความกว้างของซาก และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ทำนองเดียวกับองค์ประกอบของร่างกายของแพะ ได้แก่ หัว หนัง หาง หัวใจ ปอดรวมหลอดลม ม้าม กระบังลม ไต ตับ เลือด อัณฑะรวมองคชาต ระบบทางเดินอาหาร ลำไส้ใหญ่ ไขมันในช่องท้อง และไขมันหุ้มไต การตัดแต่งซากแบบสากล คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อของกล้ามเนื้อแพะ ค่าสีของกล้ามเนื้อสันนอก พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ ค่าการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อแพะขณะเก็บรักษา พบว่ามีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 5% มีค่าสูงกว่า เมื่อเปรียบกับกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 10 และ 20% ตามลำดับ

รูปแบบของกรดไขมันชนิดต่างๆ ในกล้ามเนื้อสันนอก พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้น กรด C16:0 ลดลง ($P<0.02$) และกรด C16:1 เพิ่มขึ้น ($P<0.001$) ขณะที่ C15:0 และ C22:5n-3 มีความแตกต่างกัน (Q, $P= 0.02$ และ C, $P= 0.001$) โดยมีค่าเฉลี่ย 22.38, 2.13, 2.36 และ 2.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อค่ากลูโคส และ BHBA ในกระแสเลือดในแต่ละช่วงเวลา และค่าเฉลี่ยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แม้ว่า ที่ช่วงเวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมค่ากลูโคสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของระดับอินซูลินพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรงตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันในกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์

ค่าแพะทดลอง ค่ายาถ่ายพยาธิ และต้นทุนค่าอาหารทั้งหมด พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่หากพิจารณาต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวแพะที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม ต้นทุนค่าอาหารทั้งหมดต่อน้ำหนักตัวแพะที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม พบว่ามีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรงตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น ขณะที่กำไรเมื่อหักจากการรวมต้นทุนทั้งหมดของการเลี้ยงแพะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับกำไรเมื่อหักเฉพาะต้นทุนค่าอาหารพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, $P= 0.15$) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองครั้งนี้ สามารถใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบดระดับสูงถึง 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซากของแพะ และสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง มากกว่านั้น ส่งผลให้มีกำไรจากการเลี้ยงแพะสูงกว่าแพะที่ได้รับอาหารผสมครบส่วนที่ใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบด 0 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น การตัดสินใจการเลี้ยงแพะในเชิงธุรกิจ การใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารทดแทนข้าวโพดบด 20% น่าจะให้ผลตอบแทนที่ดีกว่ากลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งจะเป็นลู่ทางในการใช้วัตถุดิบอาหารในท้องถิ่นการลดต้นทุนการผลิต และการเพิ่มผลผลิตกำไร อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาในแพะขุน หรือแพะรีดนมในระยะต่างๆ ในสภาวะการเลี้ยงของเกษตรกร ต่อไป

บทที่ 6
เอกสารอ้างอิง

กรมธุรกิจพลังงาน. 2556. รายชื่อผู้ผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (บี100) (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.doeb.go.th/info/data/dataoil/SaleB100.pdf (เข้าถึงเมื่อ 26 เมษายน 2556).

กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ. 2555. สรุปข้อมูลและสถิติจำนวนปศุสัตว์และเกษตรกรผู้เลี้ยงประจำปี 2554 (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.dld.go.th/ict/th/images/stories/stat_web/yearly/2554/.pdf. (เข้าถึงเมื่อ 26 เมษายน 2556).

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

จินดา สนิทวงศ์ ณัฐวุฒิ บุรินทราภิบาล และเฉลียว ศรีชู. 2544. ผลการใช้หญ้าสกุล *Paspalum* เป็นอาหารหยาบหลักเลี้ยงโคเนื้อ. *ใน* รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2544. หน้า 177-185. กรุงเทพฯ: กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2540. การจัดการโรงฆ่าสัตว์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฉลอง วชิราภากร. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

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

ชาคริต ทองอุไร สัญชัย กลิ่นพิกุล ชิต ลิ่มวรพันธ์ และเสถียร วาณิชวิริยะ. 2545. รายงานการวิจัยเพื่อการแปรรูปน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

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

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2547. ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันไทย. จดหมายข่าวปาล์มน้ำมัน. 4:2-6.

นิวัติ เรืองพานิช. 2543. วิทยาศาสตร์ทุ่งหญ้า. กรุงเทพฯ: ลินคอร์นโปรโมชั่น.

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

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

ปิยนาฏ อินทนกูล. 2547. การทำกลีเซอรอลที่ได้จากการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์. ปริญญานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมปิโตรเคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

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

มกอช. 2549. เนื้อแพะ. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.acfs.go.th/standard/download/ Goat.pdf. (เข้าถึงเมื่อ 15 มิถุนายน 2556).

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี่พลับบลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

วสันต์ ใหญ่คำมา และสุวรรณี คำมี. 2546. ผลของระดับโปรตีนในอาหารข้นที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตของแพะเพศผู้ที่แทะเล็มในแปลงหญ้า. รายงานปัญหาพิเศษ. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

วินัย ประลมพ์กาญจน์. 2542. การผลิตแพะเนื้อและแพะนมในเขตร้อน. สำนักเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. นครศรีธรรมราช.

สมเกียรติ สายธนู. 2528ก. การเลี้ยงแพะ. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

สมเกียรติ สายธนู. 2528ข. ลักษณะของการเลี้ยงแพะในประเทศไทย. ว. สงขลานครินทร์. 7:335-342.

สมเกียรติ สายธนู พีรศักดิ์ สุทธิโยธิน และเสาวนิต คูประเสริฐ. 2544. การกระจายของประชากรแพะและลักษณะของแพะพื้นเมืองในภาคใต้. สงขลา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก ฝ่ายวิจัยและบริการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สายัณห์ ทัดศรี. 2548. หญ้าอาหารสัตว์และหญ้าพื้นเมืองในประเทศไทย. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สาธิต เขาไข่แก้ว. 2552. ผลของพันธุ์และระบบการเลี้ยงที่มีต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะซาก และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในแพะเพศผู้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

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

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

สุธารักษ์ บุญโชติ. 2544. การทำกลีเซอรีนที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชั่นของน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

สุมน โพธิ์จันทร์ และประเสริฐ โพธิ์จันทร์. 2537. ผลตอบแทนจากการขุนแพะในคอก. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2537. กรุงเทพฯ: กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์.

สุรศักดิ์ คชภักดี สมเกียรติ สายธนู สุรพล ชลดำรงกุล และวัชรี ด้วงแก้ว. 2544. สีขนและลักษณะรูปร่างแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย และพันธุ์ลูกผสมพื้นเมืองไทย-แองโกลนูเบียน ณ สถานีวิจัยคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา. สงขลา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก ฝ่ายวิจัยและบริการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สัญชัย จตุรสิทธา. 2543. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. เชียงใหม่: ธนบรรณการพิมพ์.

เสาวนิต คูประเสริฐ สุรศักดิ์ คชภักดี อภิชาติ หล่อเพชร สุรพล ชลดำรงค์กุล สมเกียรติ สายธนู และจารุรัตน์ ชินาจริยวงศ์. 2543. การเจริญเติบโตหลังหย่านมของแพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน ที่ได้รับอาหารข้นเสริมที่มีระดับพลังงานและโปรตีนต่างกัน. การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ภาคใต้ครั้งที่ 1 ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 8-10 สิงหาคม 2543 หน้า 157-160.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.oae.go.th/main.php?filename=index. (เข้าถึงเมื่อ 12 มีนาคม 2556).

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

อุทัย คันโธ. 2529. อาหารและการผลิตอาหารสุกรและสัตว์ปีก. พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. กำแพงแสน. จ. นครปฐม.

Abo El-Nor, S., A. A. AbuGhazaleh, R. B. Potu, D. Hastings and M. S. A. Khattab. 2010. Effects of different levels of glycerol on rumen fermentation and bacteria. Anim. Feed Sci. Technol. 162:99-105.

Addrizzo, J. R. 2002. Use of goat milk and goat meat as therapeutic aids in cardiovascular diseases. (Online). Available at: http://www.clemson.edu/agronomy/goat/handbook/.html. Accessed on 26 May, 2011.

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

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. 54:1162-1173.

American Soybean Association International Marketing. 2007. Glycerin market analysis. http://www.asasea.com/index.php?language=en&screenname=_docs_Trade%20Reports%7CGlycerin. Accessed on 25 June, 2010.

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

ASTM. 2006. Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards International, Vol. 05.04, Petroleum Products and Lubricants (IV): D6557. West Conshohocken, PA. ASTM International.

ASTM. 2008. Standard specification for biodiesel fuel (B100) blend stock for distillate fuels. In: Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, Method D6751-08.

Atadashi, I. M., M. K. Aroua and A. Abdul Aziz. 2011. Biodiesel separation and purification: A review. Renewable Energy. 36:437-443.

Avila, J. S., A. V. Chaves. T. A. McAllister, M. L. He, O. M. Harstad, K. A. Beauchemin and S. M. McGinn. 2013. Effects of increasing concentrations of glycerol in concentrate diets on nutrient digestibility, methane emissions, growth, fatty acid profiles and carcass traits of lambs. J. Anim. Sci. 90:833–841.

Avila-Stagno, J., A. V. Chaves, M. L. He, O. M. Harstad, K. A. Beauchemin, S. M. McGinn and T. A. McAllister. 2013. Effects of increasing concentrations of glycerol in concentrate diets on nutrient digestibility, methane emissions, growth, fatty acid profiles, and carcass traits of lambs. J. Anim. Sci. 91:829-837.

Banskalieva, V., T. Sahlut and A. L. Goest. 2000. Fatty acid composition of goat muscles and fat depot: a review. Small Rumin. Res. 37:255-268.

Bartoň, L., D. Bureš, P. Homolka, F. Jančík, M. Marounek and D. Řehák. 2013. Effects of long-term feeding of crude glycerine on performance, carcass traits, meat quality, and blood and rumen metabolites of finishing bulls. Livest. Sci. 153:53-59.

Bergen, W. G. and H. J. Mersmann. 2005. Comparative aspects of lipid metabolism: impact on contemporary research and use of animal models. J. Nutr. 135:2499–2502.

Bergman, E. N., D. J. Starr and S. S. Reulein. 1968. Glycerol metabolism and gluconeogenesis in the normal hypoglycemic ketotic sheep. Am. J. Phy. 215: 874-880.

Bergner, H., C. Kijora, Z. Ceresnakova and J. Szakacs. 1995. In vitro studies on glycerol transformation by rumen microorganisms. Arch. Tierenahr. 48:245–256.

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

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

Boniface, A. N., R. M. Murray and J. P. Hogan. 1986. Optimum level of ammonia in the rumen liquid of cattle fed tropical pasture hay. Proc. Aust. Soc. Anim. Proc. 16:151-154.

Brambilla, S. and F. W. Hill. 1966. Comparison of neutral fat and free fatty acids in high lipid low carbohydrates diets for the growing chicken. J. Nutr. 88:84-92.

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

Bryant, M. P. and I. M. Robinson. 1961. An improved nonselective culture media for ruminal bacteria and its use in determining diurnal variation in number of bacteria in the rumen. J. Dairy Sci. 44:1446-1453.

Castillejos, L., S. Calsamiglia and A. Ferret. 2006. Effect of essential oils active compounds on rumen microbial fermentation and nutrient flow in *in vitro* systems. J. Dairy Sci. 89:2649-2658.

Cerrate, S., F. Yan, Z. Wang, C. Coto, P. Sacakli and P.W. Waldroup. 2006. Evaluation of glycerine from biodiesel production as a feed ingredient for broilers. Int. J. Poulty Sci. 5:1001-1007.

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

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

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

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

Chisti, Y. 2009. Biodiesel from microalgae. Biotechnol. Adv. 25:294–306.

Chung, Y. H., D. E. Rico, C. M. Martinez, T. W. Cassidy, N. Noirot, A. Ames and G. A. Varga. 2007. Effects of feeding dry glycerin to early postpartum Holstein dairy cows on lactational performance and metabolic profiles. J. Dairy Sci. 90:5682–5691.

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

Crandall, L. 2004. Glycerol abundance cause for concern. Inform. 15:146-147.

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

Czerkawski, R. W. 1986. An Introduction to Rumen Studies. Pergamon Press, Oxford 199p.

Czerkawski, J. W. and G. Breckenridge. 1972. Fermentation of various glycolytic intermediates and other compounds by rumen micro-organisms, with particular reference to methane production. Br. J. Nutr. 27:131-146.

Daley, C. A., A. Abbott, P. S. Doyle, G. A. Nader and S. Larson. 2010. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. Nutr. J. 9:10.

Dasari, M. 2007. Crude glycerol potential described. Feedstuffs. 79:1-3.

DeFrain, J. M., A. R. Hippen, K. F. Kalscheur and P. W. Jardon. 2004. Feeding glycerol to transition dairy cows: Effects on blood metabolites and lactation performance. J. Dairy Sci. 87:4195–4206.

Devendra, C. 1980. Potential of sheep and goats in less developed countries. J. Anim. Sci. 51:461-473.

Devendra, C. and M. Burns. 1983. Goat production in the Tropics. 2nd ed. Slough: Commonwealth Agricultural Bureau.

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

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

Dhanda, J. S., Taylor, D. G., Murray, P. J., Pegg, R. B. and Shand, P. J. 2003c. Goat meat production: Present status and future possibilities. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 16:1842-1852.

Diaz, M. T., I. Alvarez, J. De la Fuente, C. Sanudo, M. M. Campo, M. A. Oliver, I. Font, M. Furnols, F. Montossi, R. San Julián, G. R. Nute and V. Cañeque. 2005. Fatty acid composition of meat from typical lamb production systems of Spain, United Kingdom, Germany and Uruguay. Meat Sci. 71:256–263.

Donkin, S. S., S. L. Koser, H. M. White, P. H. Doane and M. J. Cecava. 2009. Feeding value of glycerol as a replacement for corn grain in rations fed to lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 92:5111-5119.

Donkin, S. S. and P. Doane. 2007. Gylcerol as a feed ingredient in dairy rations. In: Tri-state Dairy Nutrition Conference. April 24-25, 2007. Ft. Wayne. Proceedings. The Ohio State University, Michigan State University, Purdue University. pp. 97-103. http://tristatedairy.osu.edu/Proceedings%202007/Donkin%20paper.pdf. Accessed on 5 March, 2013.

Dozier, W. A., B. J. Kerr, A. Corzo, M. T. Kidd, E. Weber and K. Bregendals. 2008. Apparent metabolism energy of glycerin for broiler. Poult. Sci. 87:317-322.

Elam, N. A., K. S. Eng, B. Bechtel, J. M. Harris and R. Crocker. 2008. Glycerol from Biodiesel Production: Considerations for feedlot diets. Proceeding of the Southwest Nutrition Conference. Feb. 21, 2008. Tempe, AZ.

Erdman, R. A., G. H. Proctor and J. H. Vandersall. 1986. Effect of rumen ammonia concentration on in situ rate and extent of digestion of feedstuffs. J. Dairy Sci. 69. 2312–2320.

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

Evans, E., J. G. Buchanan-Smith and G. K. Macleod. 1975. Postprandial patterns of plasma glucose, insulin and volatile fatty acids in ruminants fed low- and high-roughage diets. J. Anim. Sci. 41:1474.

Farias, M. de S., R. R. Silva, F. Zawadzki, C. E. Eiras, B. S. Lima and I. N. do Prado. 2012. Glycerin level for crossed heifers supplement in pasture: intake behavior. Acta Scientiarum. 34:63-69.

Faruk, B. and K. Emin. 2007. The effect of different slaughter weight on the fattening performance, slaughter and carcass characteristics of male Karayaka lambs. Turk. J. Vet. Anim. Sci. 31:25-31.

FDA. 2007. Code of Federal Regulations. Title 21, Volume 6. 21CFR582.1320. http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=582.1320. Accessed on 2 March, 2013.

Feedstuffs. 2007. Texas puts crude glycerin policy in place. Newswatch. Feedstuffs 80:01 p. 2.

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

Fisher, L. J., J. D. Erfle, G. A. Lodge and F. D. Sauer. 1973. Effects of propylene glycol or glycerol supplementation of the diet of dairy cows on feed intake, milk yield and composition, and incidence of ketosis. Can. J. Anim. Sci. 53:289–296.

Folch, J., M. Lees and G. H. S. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purifi cation of total lipides from animal tissues. J. Biol. Chem. 226:497–509.

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

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

Gaili, E. S. and A. E. Ali. 1985. Meat from Sudan desert sheep and goats II: Composition of muscular and fatty tissues . Meat Sci. 13:229-236.

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

Garton, G. A., A. K. Lough and E. Vioque. 1961. Glyceride hydrolysis and glycerol fermentation by sheep rumen contents. J. Gen. Microbiol. 25:215-225.

Gilmore, L. A., R. L. Walzem, S. F. Crouse, D. R. Smith, T. H. Adams, V. Vaidyanathan, X. Cao and S. B. Smith. 2011. Consumption of higholeic acid ground beef increases HDL-Cholesterol concentration but both high- and low-oleic acid ground beef decrease HDL particle diameter in normocholesterolemic men. J. Nutr. 141:1188–1194.

Goff, J. P. and R. L. Horst. 2001. Oral glycerol as an aid in the treatment of ketosis/fatty liver complex. J. Dairy Sci. 84(Suppl. 1):153. (Abstr.).

Gordan, R. C. 2009. FDA policy on use of biodiesel-derived glycerin in animal feed. National Grain and Feed Association Newsletter. 61:1-7.

Gomes, A. B., G. V. DeMoraes, M. Mataveli, F. D. F. DeMacedo, C. Carneiro and R. M. Rossi. 2011. Performance and carcass characteristics of lambs fed on diets supplemented with glycerin from biodiesel production. Rev. Bras. Zootecn. 40:2211–2219.

Gott, P. 2009. Variation in the chemical composition of crude glycerin. https://kb.osu.edu/dspace/bitstream/1811/37082/1/Paige_N_Gott_HONORS_THESIS.pdf Accessed on 15 July, 2010.

Griffiths, W. R. 1952. Treatment of pregnancy toxaemia in ewes by oral administration of glycerol. Vet. Rec. 64:734.

Groesbeck, C. N., L. J. McKinney, J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, R. D. Goodband, S. S. Dritz, J. L. Nelssen, A. W. Duttlinger, A. C. Fahrenholz and K. C. Behnke. 2008. Effect of crude glycerin on pellet mill production and nursery pig growth performance. J. Anim. Sci. 86:2228-2236.

Gunn, P. J., M. K. Neary, R. P. Lemenager and S. L. Lake. 2010a. Effects of crude glycerin on performance and carcass characteristics of finishing wether lambs. J. Anim. Sci. 88:1771-1776.

Gunn, P. J., A. F. Schultz, M. L. Van Emon, M. K. Neary, R. P. Lemenager, C. P. Rusk and S. L. Lake. 2010b. Effects of elevated crude glycerin concentrations on feedlot performance, carcass characteristics, and serum metabolite and hormone concentrations in finishing ewe and wether lambs. Prof. Anim. Sci. 26:298-306.

Gunn, P. J., R. P. Lemenager, D. R. Buckmaster, M. C. Claeys and S. L. Lake. 2011. Effects of dried distillers grains with soluble and crude glycerin on performance, carcass characteristics, and metabolic parameters of early weaned beef calves. Prof. Anim. Sci. 27:283-294.

Hansen, C. F., A. Hernandez, B. P. Mullan, K. Moore, M. Trezona-Murray, R. H. King and J. R. Pluske. 2009. A chemical analysis of samples of crude glycerol from the production of biodiesel in Australia, and the effects of feeding crude glycerol to growing-finishing pigs on performance, plasma metabolites and meat quality at slaughter. Anim. Prod. Sci. 49:154–161.

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

Hess, B. W., S. L. Lake and S. A. Gunter. 2008. Using glycerin as a supplement for forage-fed ruminants. J. Anim. Sci. 86(E-Suppl. 2):392. (Abstr.)

Hippen, A. R., J. M. DeFrain and P. L. Linke. 2008. Glycerol and other energy sources for metabolism and production of transition dairy cows. January 29-30, 2008, Florida Ruminant Nutrition Symposium, Best Western Gateway Grand, Gainesville, FL. http://dairy.ifas.ufl.edu/rns/2008/Hippen.pdf. Accessed on 28 April, 2012.

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

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

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

Jarvis, G. N., E. R. B. Moore and J. H. Thiele. 1997. Formate and ethanol are major products of glycerol fermentation produced by *Klebsiella planticola* strain isolated from red deer. J. Applied Microbiol. 83:166-174.

Jenny, B. F. and C. E. Polan. 1975. Postprandial blood glucose and insulin in cows fed high grain. J. Dairy Sci. 58:512.

Johns, A. 1953. Fermentation of glycerol in the rumen of sheep. New Zealand J. Sci. Technol. 35:262-269.

Johnson, R. B. 1954. The treatment of ketosis with glycerol and propylene glycol. Cornell Vet. 44:6-21.

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

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

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

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

Kannan, G., B. Kouakou and S. Gelaye. 2001. Color changes reflecting myoglobin and lipid oxidation in chevon cuts during refrigerated display. Small Rumin. Res. 42:67-75.

Kato, T., Y. Hayashi, K. Inoue and H. Yuasa. 2005. Glycerol absorption by Na+- dependent carrier-mediated transport in the closed loop of the rat small Intestine. Biol. Pharm. Bull. 28:553-555.

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

Kerr, B. J., M. Honeyman, P. Lammers and S. Hoyer. 2007. Feeding Bioenergy Coproducts to Swine. Iowa State University, University Extension (online). Available from: http://www.ipic.iastate.edu/publications/IPIC11b.pdf. Accessed on 6 July, 2010.

Kerr, B. J., T. E. Weber, W. A. Dozier III and M. T. Kidd. 2009. Digestible and metabolizable energy content of crude glycerin originating from different sources in nursery pigs. J. Anim. Sci. 87:4042–4049.

Khalili, H., T. Varvikko, V. Toivonen, K. Hissa and M. Suvitie. 1997. The effects of added glycerol or unprotected free fatty acids or a combination of the two on silage intake, milk production, rumen fermentation and diet digestibility in cows given grass silage based diets. Agric. Food Sci. Finl. 6:349–362.

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

Kijora, C., H. Bergner, K.P. Gotz, J. Bartelt, J. Szakacs and A. Sommer. 1998. Research note: investigation on the metabolism of glycerol in the rumen of bulls. Arch. Tierermhr. 51:341-348.

Kijora, C., R. D. Kupscy and L. Hagemann. 1995. Glycerol as a feed component in diets of fattening pigs. Arch. An. Nutr. 47:345-360.

Kinoshita, H., I. Ijiri, S. Ameno, N. Tanaka, T. Kubota, M. Tsujima, R. Watanabe and K. Ameno. 1998. Combined toxicity of methanol and formic acid. J. Legal. Med. 111:334-335.

Koyuncu, M., S. Duru, K. Uzum and S. Ozin. 2006. Effect of castration on growth and carcass traits in hair goat kids under a semi-intensive system in the South-Marmara region of Turkey. Small Rumin. Res. 50:83-88.

Krehbiel, C. R. 2008. Ruminal and physiological metabolism of glycerin. J. Anim. Sci. 86(E-Suppl. 2):392. (Abstr.).

Krueger, N. A., R. C. Anderson, L. O. Tedeschi, T. R. Callaway, T. S. Edrington and D. J. Nisbet. 2010. Evaluation of feeding glycerol on free-fatty acid production and fermentation kinetics of mixed ruminal microbes in vitro. Bioresour. Technol. 101:8469–8472.

Kung, L. Jr. and J. T. Huber. 1983. Performance of high producing cows in early lactation fed protein of varying amounts, sources, and degradability. J. Dairy Sci. 66:227-234.

Lammers, P. J., B. J. Kerr, T. E. Weber, W. A. Dozier III, M. T. Kidd, K. Bregendahl and M. S. Honeyman. 2007. Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. J. Anim. Sci. 86:602–608.

Lammers, P. J., B. J. Kerr, M. S. Honeyman, W. A. Dozier, T. E. Weber, T. E. Kidd and K. Bregendahl. 2008. Nitrogen corrected apparent metabolism energy value of crude glycerol for layer hens. Poult. Sci. 87:104-107.

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

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

Lee, K. T., T. A. Foglia and K. S. Chang. 2002. Production of Alkyl Ester as Biodiesel from Fractionated Lard and Restaurant Grease. J. the American Oil Chemists' Society. 79:191-195.

Lee, S. Y., S. M. Lee, Y. B. Cho, D. K. Kam, S. C. Lee, C. H. Kim and S. Seo. 2011. Glycerol as a feed supplement for ruminants: In vitro fermentation characteristics and methane production. Anim. Feed Sci. Technol. 166–167:269–274.

Leoneti, A. B., V. Aragão-Leoneti and S. V. W. Borges de Oliveira. 2012. Glycerol as a by-product of biodiesel production in Brazil: Alternatives for the use of unrefined glycerol. Renewable Energy. 45:138-145.

Lepage, G. and C. C. Roy. 1986. Direct transesterification of all classes of lipids in a one step reaction. J. Lipid Research. 27:114-120.

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

Lin, E. C. C. 1977. Glycerol utilization and its regulation in mammals. Ann. Rev. Biochem. 46:765-95.

Linke, P. L., J. M. DeFrain, A. R. Hippen and P. W. Jardon. 2004. Ruminal and plasma responses in dairy cows to drenching or feeding glycerol. J. Dairy Sci. 87(Suppl.):343 (Abstr.).

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

Lotero, E., Y. Liu, D. E. Lopez, K. Suwannakarn, D. A. Bruce and J. G. Goodwin, Jr. 2005. Synthesis of biodiesel via acid catalysis. Ind. Eng. Chem. Res. 44:5353-5363.

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

Ma, F. and M. A. Hanna. 1999. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology. 70:1-15.

Mach, N., A. Bach and M. Devant. 2009. Effects of crude glycerin supplementation on performance and meat quality of Holstein bulls fed high-concentrate diets. J. Anim. Sci. 87:632-638.

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.

Martin, J. M. 1983. Processing Red Meat a Practical Guide for Cutting Beef, Pork and Lamb. North Dakota State University Fargo, North Dakota, USA.

McAtee, J. W. and A. Trenkle. 1971. Metabolic regulation of plasma insulin levels in cattle. J. Anim. Sci. 33:438.

McGregor, B. A. 1984. Growth development and carcass composition of goat: a review. Proceedings of Workshop on Goat Production and Research in the Tropics, University of Queensland, Brisbane, Australia, 6-8 February 1984. pp. 89-90.

Meale, S. J., A. V. Chaves, S. Ding, R. D. Bush and T. A. McAllister. 2013. Effects of crude glycerin supplementation on wool production, feeding behavior, and body condition of Merino ewes. J. Anim. Sci. 91:878-885.

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

Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. J. Dairy Sci. 80:1463-1481.

Michnick, S., J. L. Roustan, F. Remize, P. Barre and S. Dequin. 1997. Modulation of glycerol and ethanol yields during alcoholic fermentation in *Saccharomyces cerevisiae* strains overexpressed or disrupted for GPD1 encoding glycerol 3-phosphate dehydrogenase. Yeast. 13:783-793.

Miller, M., M. Carr, C. Ramsey, K. Crocket and L. Hoover. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. J. Anim. Sci. 79:3062–3068.

Moser, B. R. 2009. Biodiesel production, properties, and feedstocks. In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant. 45:229-266.

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

Mourad, M., G. Gbanamou and I. B. Balde. 2000. Carcass characteristics of West African dwarf goat under extensive system. Small Rumin. Res. 42:83-86.

Mourot, J., A. Aumaitre, A. Mounier, P. Peiniau and A. C. François. 1994. Nutritional and physiological effects of dietary glycerol in the growing pig. Consequences on fatty tissues and post mortem muscular parameters. Livest. Prod. Sci. 38:237-244.

Musselman, A. F., M. L. Van Emon, P. J. Gunn, C. P. Rusk, M. K. Neary, R. P. Lemenager and S. L. Lake. 2008. Effects of crude glycerin on feedlot performance and carcass characteristics of market lambs. Am. Soc. Anim. Sci. West. Sect. Proc. 59:353-355.

Naqpal, A. K., D. Singh, V. S. S. Prasad and P. C. Jain. 1995. Effects of weaning age and feeding system on growth performance and carcass triats of male kids in three breeds in India. Small Rumin. Res. 17:45-50.

National Biodiesel Board. 2010. Official site of the National Biodiesel Board. http://www.biodiesel.org. Accessed on 10 June, 2010.

Nilles, D. 2006. Combating the Glycerin Glut. Biodiesel. 3:38-44.

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. National Academy Press, Washington, DC., USA.

NRC. 1994. Nutrient Research of Poultry. 9th rev. ed. National Academy press, Washington, D.C., USA.

Ogborn, K. L. 2006. Effects of method of delivery of glycerin on performance and metabolism of dairy cows during the transition period. M.S. Thesis. Cornell University, Ithaca, NY.

Oman, J. S., D. F. Waldron, D. B. Griffin and J. W. Savell. 1999. Effect of breed-type and feeding regimen on goat carcass traits. J. Anim. Sci. 77:3215-3218.

Osman, M. A., P. S. Allen, N. A. Mehyar, G. Bobe, J. F. Coetzee, K. J. Koehler and D. C. Beitz. 2008. Acute metabolic responses of postpartal dairy cows to subcutaneous glucagon injections, oral glycerol or both. J. Dairy Sci. 91:3311-3322.

Paggi, R. A., J. P. Fay and H. M. Fernandez. 1999. Effect of short-chain acids and glycerol on the proteolytic activity of rumen fluid. Anim. Feed Sci. Technol. 78:341-347.

Paggi, R. A., J. P. Fay and C. Faverin. 2004. In vitro ruminal digestibility of oat hay and cellulolytic activity in the presence of increasing concentrations of short-chain acids and glycerol. J. Agric. Sci. 142:89-96.

Parsons, G. L., M. K. Shelor and J. S. Drouillard. 2009. Performance and carcass traits of finishing heifers fed crude glycerin. J. Anim. Sci. 87:653–657.

Parsons, G. L. and J. S. Drouillard. 2010. Effects of crude glycerin on ruminal metabolism and diet digestibility in flaked corn finishing diets. J. Anim. Sci. 88(Suppl. 3):96 (Abstr.).

Pethick, D. W., L. Cummins, G. E. Gardner, B. W. Knee, M. McDowell, B. L. McIntyre, G. Tudor, P. J. Walker and R. D. Warner. 1999. The regulation of glycogen level in the muscle of ruminants

by nutrition. Retrieved 28th February 2007. Available from: http://msa.une.edu.au/msa/public/5a59985.htm. Accessed on 4 June, 2012.

Pralomkarn, W., S. Kochapakdee, S. Saithanoo and B. W. Norton. 1995. Energy and protein utilization for maintenance and growth rate for Thai Native and Anglo-Nubian x Thai native male weaner goats. Small Rumin. Res. 16:13-20.

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

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

Pyatt, A., P. H. Doane and M. J. Cecava. 2007. Effect of crude glycerin in finishing cattle diets. J. Anim. Sci. 85(Suppl. 1):530 (Abstr.).

Ramos, M. H. and M. S. Kerley. 2012. Effect of dietary crude glycerol level on ruminal fermentation in continuous culture and growth performance of beef calves. J. Anim. Sci. 2012. 90:892-899.

Rémond, B., E. Souday and J. P. Jouany. 1993. In vitro and in vivo fermentation of glycerol by rumen microbes. Anim. Feed Sci. Technol. 41:121-132.

Ribeiro, C. V. D. M., S. K. R. Karnati and M. L. Eastridge. 2005. Biohydrogenation of fatty acids and digestibility of fresh alfalfa or alfalfa hay plus sucrose in continuous culture. J. Dairy Sci., 88:4007-4017.

Roger, V., G. Fonty, C. Andre and P. Gouet. 1992. Effects of glycerol on the growth, adhesion, and cellulolytic activity of rumen cellulolytic bacteria and anaerobic fungi. Curr. Microbiol. 25:197-201.

Russell, J. B. 2002. Predominant ruminal bacteria and archaea. In: Russell, J. B. (Ed.), Rumen Microbiology and its Role in Ruminant Nutrition. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA, pp. 18–24.

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

Ryan, S. M., J. A. Unruh, M. E. Corrigan, J. S. Drouillard and M. Seyfert. 2007. Effect of concentrate level on carcass traits of Boer crossbred goats. Small Rumin. Res. 73:67-76.

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

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

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

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

Schieck, S. J., B. J. Kerr, S. K. Baidoo, G. C. Shurson and L. J. Johnston. 2010. Use of crude glycerol, a biodiesel coproduct, in diets for lactating sows. J. Anim. Sci. 88:2648-2656.

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

Schonfeldt, H. C., R. T. Naude, W. Bok, S. M. van Heerden and R. Smit. 1993. Flavour- and tenderness- related quality characteristics of goat and sheep meat. Meat Sci. 34:363-379.

Schröder, A. and K. H. Südekum. 1999. Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants. In New Horizons for an Old Crop. Proc. 10th Int. Rapeseed Congr., Canberra, Australia, September 26-29, 1999, Paper No. 241. N. Wratten and P. A. Salisbury, ed.

Sellers, R. S. 2008. Glycerin as a feed ingredient, official definition (s) and approvals. J. Anim. Sci. 86: (E. Suppl 2):488 (Abstr.).

Sengar, O. P. S. 1975. Investigation of milk and meat potential of Indian goats. Final technical report. Raja Balwant Singh College, Bichpuri, Agra, India.

Seneviratne, R. W., E. Beltranena, L. A. Goonewardene and R. T. Zijlstra. 2011. Effect of crude glycerol combined with solvent-extracted or expeller-pressed canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility of weaned pigs. Anim. Feed. Sci. Technol. 170:105-110.

Settapong, A. and C. Wattanachant. 2010. Preliminary study on chemical composition of glycerine from various sources. In Proceeding. The 7th IMT_GT UNINET The 3rd Joint International PSU-UNS Conferences on Bioscience for the Future 2010 International Conference (Ag-P15), Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, Thailand. October 7th-8th, 2010. pp. 24-26.

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

Shields, M. C., E. van Heugten, X. Lin, J. Odle and C. S. Stark. 2011. Evaluation of the nutritional value of glycerol for nursery pigs. J. Anim. Sci. 80:2145-2153.

Smith, S. B. and J. D. Crouse. 1984. Relative contributions of acetate, lactate and glucose to lipogenesis in bovine intramuscular and subcutaneous adipose tissue. J. Nutr. 114:792-1984.

Smith, S. B., H. Kawachi, C. B. Choi, C. W. Choi, G. Wu and J. E. Sawyer. 2009. Cellular regulation of bovine intramuscular adipose tissue development and composition. J. Anim. Sci. 87:E72-E82.

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

Solomon, M. and B. Simret. 2008. Body weight and carcass characteristics of Somali goats fed hay supplemented with graded levels of peanut cake and wheat bran mixture. Trop. Anim. Health Prod. 40:553-560.

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.

Srivastava, A. and R. Prasad. 2000. Triglycerides-based diesel fuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 4:111-133.

Stewart, C. S. and M. P. Bryant. 1988. The rumen bacteria. In: P.N. Hobson (Editor), The Rumen Microbial Ecosystem. Elsevier Applied Science, London, pp. 21-75.

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

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

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

Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., New York, NY.

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

Terré, M., A. Nudda, P. Casado and A. Bach. 2011. The use of glycerine in rations for light lamb during the fattening period. Anim. Feed Sci. Technol. 164:262–267.

The Soap and Detergent Association. 1990. Glycerin: an overview. http://www.aciscience.org/docs/Glycerine_-_an_overview.pdf. Accessed on 12 July, 2010.

Thompson, J. C. and B. B. He. 2006. Characterization of crude glycerin from biodiesel production from multiple feedstocks. Applied Eng. Agr. 22:261-265.

Trabue, S., K. Scoggin, S. Tjandrakusuma, M. A. Rasmussen and P. J. Reilly. 2007. Ruminal fermentation of propylene glycol and glycerol. J. Agric. Food. Chem. 55:7043-7051.

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

Turk, S. N. and S. B. Smith. 2009. Carcass fatty acid mapping. Meat Sci. 81:658–663.

Van Gerpen, 2005. J. Biodiesel processing and production. Fuel Process. Technol. 86:1097-1107.

Van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fire and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci., 74:3579-3583.

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

Versemann, B. A., B. R. Wiegand, M. S. Kerley, J. H. Porter, K. S. Roberts and H. L. Evans. 2008. Dietary inclusion of crude glycerol changes beef steer growth performance and intramuscular fat deposition. J. Anim. Sci. 86(E-Suppl. 2):478. (Abstr.).

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-Aust. J. Anim. Sci. 12:904-907.

Wang, C., Q. Liu, W. J. Huo, W. Z. Yang, K. H. Dong, Y. X. Huang and G. Guo. 2009. Effects of glycerol on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. Livest. Sci. 121:15–20.

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

Williams, A.G. and G.S. Coleman. 1992. The Rumen Protozoa. Springer-Verlag, New York.

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

Wright, D. E. 1969. Fermentation of glycerol by rumen micro-organisms. N. Z. J. Agric. Res. 12:281-286.

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

Yong, K. C., T. L. Ooi, K. Dzulkefly, W. M. Z. Wan Yunus and A. H. Hazimah. 2001. Characterization of glycerol residue from a palm kernel oil methyl ester plant. J. Oil Palm Res. 13:1-6.

Yu, S., J. Derr, T. D. Etherton and P. M. Kris-Etherton. 1995. Plasma cholesterol-predictive equations demonstrate that stearic acid is neutral and monosaturated fatty acids are hypocholesterolemic. Am. J. Clin. Nutr. 61:1129–1139.

บทที่ 7

ภาคผนวก ก-1

การฆ่าชำแหละ และตัดแต่งซากแบบสากล

การฆ่าชำแหละ (สุทธิพงศ์, 2537; Martin, 1983) และการตัดแต่งแบบสากล (มกอช, 2549) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

วิธีการ

1. อดอาหารแพะเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักมีชีวิตก่อนฆ่า จากนั้นทำการฆ่าโดยทำการเชือดคอบริเวณเส้นเลือดดำใหญ่ที่คอ เอาเลือดออกให้เร็วที่สุด จากนั้นตัดหัว และตัดแข้งทั้ง 4 ข้างแล้วแขวนซาก ลอกหนักโดยใช้มีดกรีดหนังจากเท้าด้านในทั้ง 4 เท้ามาจดกันที่อกและท้อง จากนั้นเอาเครื่องในออกแล้วชั่งน้ำหนักอวัยวะต่างๆ ได้แก่ หัว แข้ง หัวใจ ปอด ม้าม ตับ กระเพาะ ลำไส้ และไขมัน เป็นต้น

2. แล้วแบ่งซากออกเป็น 2 ส่วน ทำการชั่งน้ำหนักอุ่นแล้วนำมาแช่เย็นที่อุณหภูมิ 2±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักซากเย็นแล้ววัดความยาวซากจากกระดูกซี่โครงซี่ที่ 1 (anterior edge of the 1st rib) จนถึงกระดูกเชิงกราน (anterior edge of aitch bone) วัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก (*Longissimus dors,* LD) จากบริเวณกระดูกซี่โครงซี่ที่ 12 กับ 13 (12th and 13th ribs) ของซากแพะ และวัดความหนาไขมันสันหลัง ซึ่งวัดที่กระดูกซี่โครงซี่ที่ 12 (12th ribs)

3. จากนั้นนำซากมาตัดแต่งแบบสากล ตามรายละเอียดของ มกอช. (2549) โดยตัดตั้งแต่ซากเป็นส่วนตัดขนาดใหญ่ (wholesale cuts) ได้เป็น 8 ส่วน ได้แก่ คอ (neck) ขา (leg) เนื้อสัน (loin) ซี่โครง (rack) ไหล่ (shoulder) แข้ง (shank) อก (breast) และพื้นท้อง (flank) (Figure 7.1) เริ่มจากแบ่งซากออกเป็นส่วนหน้า และส่วนหลังโดยตัดที่ระหว่างกระดูกซี่โครงที่ 12 และ 13 จากนั้นส่วนหน้าจะตัดที่ปลายกระดูกซี่โครงซี่ที่ 12 ให้ขนานไปกับส่วนบนของซาก ซึ่งทำให้แยกส่วนแข้งและอกออกจากไหล่ และซี่โครงแล้วแยกซี่โครงออกจากไหล่ ตัดที่กระดูกซี่โครงซี่ที่ 5 และ 6 ใช้มีดแยกส่วนแข้งออกจากอก โดยการตัดตามรอยต่อของกระดูก สำหรับส่วนหลังแยกพื้นท้องออกโดยตัดที่กล้ามเนื้อขาและกระดูกซี่โครงซี่ที่ 13 ให้ต่ำลงมา 1 นิ้ว แยกเนื้อสันออกจากขาโดยตัดที่บริเวณหน้ากระดูกเชิงกราน แล้วชั่งน้ำหนักส่วนต่างๆ เพื่อนำมาหาเปอร์เซ็นต์ซาก

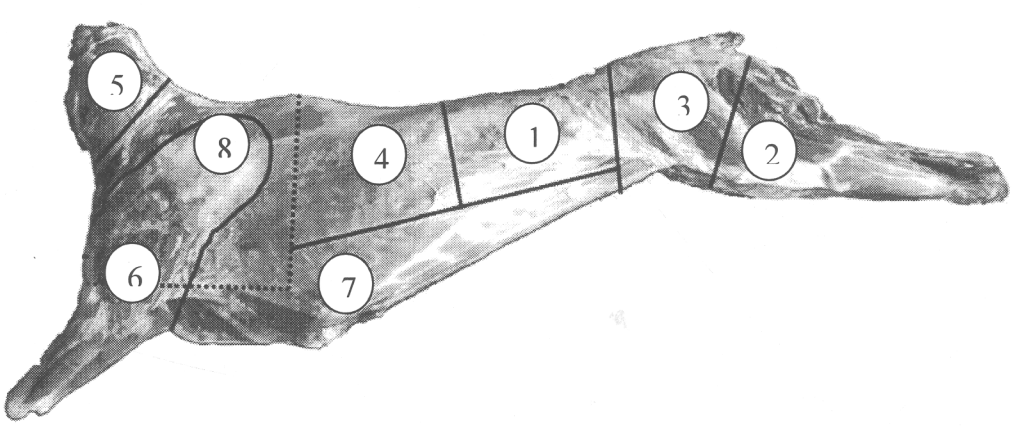


Figure 7.1 การตัดแต่งร่างแกะเป็นชิ้นส่วนขนาดใหญ่

ที่มา: มกอช. (2549)

1 สันสะเอว (lions)	5 ไหล่ (shoulder)
2 ขาหลัง (hind leg)	6 ขาหน้า (fore leg)
3 สะโพก (chump)	7 อก (breast)
4 สันซี่โครง (rack)	8 คอ (neck)

เนื้อแพะตามมาตรฐานสินค้าเกษตร และอาหารแห่งชาติแบ่งเป็น 8 ประเภท

1. สันสะเอว (loins) เป็นชิ้นส่วนซึ่งได้จากการตัดผ่านกระดูกสันหลัง ตรงกระดูกซี่โครงซี่ที่ 12 และ 13 (12^{th} and 13^{th} ribs) จนถึงกระดูกสันหลังข้อสุดท้ายที่ต่อกับส่วนสะโพก (chump)

2. ขาหลัง (hind leg) เป็นชิ้นส่วนซึ่งได้จากการตัดขวางตั้งฉากกับแนวยาวของกระดูกสันหลังตรงกระดูกใต้กระเหน็บ (sacrum) ต่อกระดูกหาง โดยมีส่วนหัวกระดูกขาหลัง (femur) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร ติดอยู่ด้วย

3. สะโพก (chump) เป็นชิ้นส่วนซึ่งได้จากการตัดผ่านกระดูกสันหลังส่วนเอวข้อสุดท้าย

4. สันซี่โครง (rack) เป็นชิ้นส่วนซึ่งได้จากการตัดตามยาวผ่านกระดูกสันหลังระหว่างซี่โครงซี่ที่ 3 และ 4 ถึงซี่โครงซี่ที่ 12 โดยตัดแยกส่วนอกออก

5. ไหล่ (shoulder) เป็นชิ้นส่วนซึ่งได้จากการตัดตามยาวจากบริเวณส่วนคอต่อกับกระดูกสันหลังถึงกระดูกซี่โครงซี่ที่ 3

6. ขาหน้า (fore leg) เป็นชิ้นส่วนซึ่งได้จากการตัดขาหน้าที่ติดกระดูกใบพายแยกจากส่วนไหล่

7. อก (breast) เป็นชิ้นส่วนของเนื้อส่วนพื้นท้องซึ่งได้จากการตัดตามขวางกระดูกซี่โครงให้ขนานกับกระดูกสันหลัง กว้างประมาณ 1 ใน 3

8. คอ (neck) เป็นชิ้นส่วนของเนื้อซึ่งได้จากการตัดผ่านกระดูกส่วนคอต่อกับกระดูกสันหลัง

ภาคผนวก ก-2
การวัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (Loin Eye Area, LEA)

การวัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ด้วยวิธีใช้กระดาษลอกลาย (สุทธิพงศ์, 2537) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

วิธีการ

1. ใช้กระดาษลอกลายวางทาบกับหน้าตัดเนื้อสันที่ระหว่างซี่โครงซี่ที่ 12 กับ 13 (12^{th} and 13^{th} ribs) แล้วใช้ดินสอทำเครื่องหมายของเนื้อสันเอาไว้

2. นำไปหาพื้นที่โดยใช้แผ่นพลาสติก (plastic grid) ซึ่งมีจุดกำหนดขนาดของพื้นที่เอาไว้แล้วนับจำนวนจุด

3. จำนวนจุดบนพลาสติกที่อยู่ในขอบเขตของหน้าตัดเนื้อสันคูณด้วย 0.05 จะเป็นพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันที่มีหน่วยเป็นตารางนิ้ว (แผ่นพลาสติกวัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันมาตรฐานกำหนดไว้ว่า พื้นที่ 1 ตารางนิ้ว มีจำนวนจุดอยู่ 20 จุด)

ภาคผนวก ก-3
การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner Brazler shear Force, WBSF)

การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ด้วยวิธีของ Warner Brazler shear Force (สุทธิพงศ์, 2537) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

วิธีการ

1. ใช้แท่งเหล็กมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว เจาะผ่านชิ้นเนื้อสันที่ต้องการทดสอบ

2. นำชิ้นเนื้อมาวางบนใบมีด ขนาด 1 มิลลิเมตรของเครื่อง Warner Brazler shear Force (Texture analyzer, Stable Micro System, TA-XTPlus, UK)

3. อ่านค่าที่ใบมีดตัดผ่านชิ้นเนื้อ ซึ่งมีหน่วยเป็นปอนด์ หรือกิโลกรัมต่อตารางนิ้ว

4. บันทึกผล

ภาคผนวก ข
การคำนวณต้นทุนการผลิต

1. ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/ตัว)

= ปริมาณอาหารข้นที่แพะกิน (กก. น้ำหนักในสภาพที่ให้แพะกิน/วัน) × จำนวนวันที่เลี้ยง (90 วัน) × ราคาอาหารผสม (บาท/กก.)

2. ต้นทุนค่าอาหารข้นต่อน้ำหนักตัวแพะที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม (บาท/ตัว)

$$= \frac{\text{ต้นทุนค่าอาหารผสม (บาท/ตัว)}}{\text{น้ำหนักตัวแพะที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง}}$$

3. ต้นทุนค่าอาหารทั้งหมดต่อน้ำหนักตัวแพะที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม (บาท/ตัว)

$$= \frac{\text{ต้นทุนค่าอาหารทั้งหมด (บาท/ตัว)}}{\text{น้ำหนักตัวแพะที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง}}$$

4. ต้นทุนค่าสัตว์ทดลอง (บาท/ตัว)

= น้ำหนักแพะเริ่มต้น (กก.) × ราคาซื้อแพะมีชีวิต (180 บาท/กก.)

หมายเหตุ: ราคาซื้อแพะมีชีวิต อิงตามราคาของศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ณ เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556

5. ต้นทุนค่ายาถ่ายพยาธิ (บาท/น้ำหนักตัวแพะ 1 กก.)

5.1 ค่ายาไอเวอร์เมกติน (Ivermectin) =

$$\frac{\text{ราคายา (บาท/ขวด)}}{\text{อัตราการฉีด (น้ำหนักตัวแพะ 50 กก./ปริมาณยา 1 มล.) × ปริมาณยา (มล./ขวด)}}$$

$$= \frac{\text{1,150 บาท}}{\text{(50 กก./ 1 มล.) × (100 มล./ขวด)}}$$

= 0.23 บาท/น้ำหนักตัวแพะ 1 กก.

หมายเหตุ: ยาไอเวอร์เมกติน (Ivermectin) [(Idectin®), British Dispensary (L.P.) Co. Ltd., (Thailand)] ณ เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 ราคา 1,150 บาท/ขวด (100 มล.) ฉีดอัตรา 1 มล./น้ำหนักตัวแพะ 50 กก.

5.2 ค่ายานิโคซาไมด์ (Niclosamide) =

$$\frac{\text{ราคายา (บาท/แผง)} \times \text{อัตราการผสมยากับน้ำสะอาด (12 กรัม/100 มล.)}}{\text{น้ำหนักยา (กรัม/แผง)}}$$

$$= \frac{35 \times 12/100)}{2}$$

= 2.1 บาท/น้ำหนักตัวแพะ 1 กก.

หมายเหตุ: ยานิโคซาไมด์ (Niclosamide) [(Yomesan®), Bayer Co. Ltd., (Thailand)] ณ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 ราคา 35 บาท/แผงๆละ 4 เม็ดๆ ละ 500 มล. โดยการละลายน้ำสะอาดในอัตราส่วน 12 กรัม/100 มล. แล้วกรอกให้แพะกินทางปากในอัตราส่วน 1 มล./น้ำหนักตัวแพะ 1 กก.

5.3 ค่ายาถ่ายพยาธิรวม (บาท/น้ำหนักตัวแพะ 1 กก.)

= ค่ายาไอเวอร์เมกติน (0.23 บาท/น้ำหนักตัวแพะ 1 กก.) + ค่ายานิโคซาไมด์ (2.1 บาท/น้ำหนักตัวแพะ 1 กก.)

= 2.33 บาท/น้ำหนักตัวแพะ 1 กก.

5.4 ต้นทุนค่ายาถ่ายพยาธิรวม (บาท/น้ำหนักตัวแพะ 1 กก.)

= น้ำหนักตัวแพะเริ่มต้น (กก.) × ราคายาถ่ายพยาธิรวม (2.33 บาท/ น้ำหนักตัวแพะ 1 กก.)

6. ต้นทุนในการเลี้ยงแพะ (บาท/ตัว)

6.1 ต้นทุนในการเลี้ยงแพะทั้งหมด (บาท/ตัว)

= ต้นทุนค่าอาหารทั้งหมด (บาท/ตัว) + ต้นทุนค่าสัตว์ทดลอง (บาท/ตัว) + ต้นทุนค่ายาถ่ายพยาธิรวม (บาท/ตัว)

หมายเหตุ: ต้นทุนในการผลิตแพะทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้ ไม่ได้รวมค่าวัคซีน และอื่นๆ เช่น ค่าเสื่อมโรงเรือน ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าแรงงาน เป็นต้น

6.2 ต้นทุนทั้งหมดต่อน้ำหนักตัวแพะที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม (บาท/ตัว)

$$= \frac{\text{ต้นทุนทั้งหมด (บาท/ตัว)}}{\text{น้ำหนักตัวแพะที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง}}$$

7. กำไรจากการเลี้ยงแพะ

7.1 ราคาจำหน่ายแพะมีชีวิต (บาท/ตัว)

= น้ำหนักตัวแพะสิ้นสุด (กก.) × ราคาจำหน่ายแพะมีชีวิต (180 บาท/ กก.)

หมายเหตุ: ราคาจำหน่ายแพะมีชีวิต อิงตามราคาของศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ณ เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556

7.2 กำไรเมื่อคิดเฉพาะต้นทุนค่าอาหาร (บาท/ตัว)

= ราคาจำหน่ายแพะมีชีวิต (บาท/ตัว) - ต้นทุนค่าอาหารทั้งหมด (บาท/ตัว)

7.3 กำไรเมื่อคิดต้นทุนทั้งหมด (บาท/ตัว)

= ราคาจำหน่ายแพะมีชีวิต (บาท/ตัว) - ต้นทุนการเลี้ยงแพะทั้งหมด (บาท/ตัว)

ภาคผนวก ค
ประวัติผู้จัดทำรายงานวิจัย

ชื่อ – สกุล นาย ปิ่น จันจุฬา

วัน เดือน ปีเกิด 28 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2507

ตำแหน่งปัจจุบัน
- รองศาสตราจารย์ ภาควิชาสัตวศาสตร์
- คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ว. หาดใหญ่
- รองหัวหน้าภาควิชาสัตวศาสตร์ฝ่ายวิชาการ และการวิจัย
- กรรมการวิชาการประจำคณะทรัพยากรธรรมชาติ

สาขาชำนาญการ โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง

อายุราชการ 21 ปี

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

ผลงานทางวิชาการ
- งานแต่งหนังสือ 1 เล่ม
- บทความวิจัยตีพิมพ์ 34 เรื่อง
- บทความวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการ 29 เรื่อง
- บทความทางวิชาการ 10 เรื่อง

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

หน่วยงาน/ ที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

- ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90112
- โทร: (074) 558805; (074) 286074
- โทรสาร (074) 558805

E-mail: pin.c@psu.ac.th