รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ NAT580742S

เรื่อง

ผลของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจน

Effects of Crude Glycerin from Waste Vegetable Oil in Goat Ration on Nutrient Utilization, Rumen Fermentation and Nitrogen Balance

ตัวอย่าง CG 50%

โดย

รศ.ดร. ปิ่น จันจุฬา และคณะ

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ NAT580742S

เรื่อง

ผลของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจน

Effects of Crude Glycerin from Waste Vegetable Oil in Goat Ration on Nutrient Utilization, Rumen Fermentation and Nitrogen Balance

โดย

รศ.ดร. ปิ่น จันจุฬา[1] นางสหัทยา พงค์ประยูร[1] และนายสิริชัย คงปาน[1]
และนักศึกษาระดับปริญญาตรี[*]

[1]ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2558

การสนับสนุนนักศึกษา

ผลิตนักศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 3 คน

1. นางสาวชมพูนุช นนทฤทธิ์	ชั้นปีที่ 4 รหัสนักศึกษา 5410610068
2. นายชนินทร์พล อินทองปาล	ชั้นปีที่ 4 รหัสนักศึกษา 5410610067
3. นายนิสมาน บูงอซายู	ชั้นปีที่ 4 รหัสนักศึกษา 5410610144

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่โครงการวิจัยเรื่อง **“ผลของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจน”** ซึ่งดำเนินการวิจัยโดยได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ **(รหัสโครงการ NAT580742S)** ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 โดยเริ่มโครงการวิจัยเมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ตลอดจน ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110 ที่ได้ให้ความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในด้านสถานที่ อุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ และรวมทั้งคณาจารย์ นักศึกษาบัณฑิตศึกษา และบุคลากรทุกท่าน ที่มีส่วนที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดียิ่ง

คณะผู้วิจัย
สิงหาคม พ.ศ. 2558

รายงานการวิจัยเล่มนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาถึงผลของระดับกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (crude glycerin from waste vegetable oil, CGWVO) ในอาหารผสมเสร็จต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน เมแทบอไลท์ในกระแสเลือด และสมดุลไนโตรเจนของแพะ โดยศึกษาในแพะน้ำหนักเฉลี่ย 31.5±1.9 กิโลกรัม ใช้แผนการทดลองแบบ 4x4 จัตุรัสลาติน แพะได้รับอาหารผสมเสร็จที่มี CGWVO ระดับ 0, 2, 4 และ 6% ในสูตรอาหาร 4 สูตร ตามลำดับ ให้แพะได้รับอาหารผสมเสร็จอย่างเต็มที่ ผลการทดลอง พบว่าปริมาณการกินได้ทั้งหมดของวัตถุแห้ง และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, OM, CP, NDF, และ ADF) มีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) ยกเว้นกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ที่ระดับ 6% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่น ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และ BUN มีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) ยกเว้นกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 6% มีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 0% ส่วนค่าความความเข้มข้นของกลูโคส BHBA และค่า PCV ในกระแสเลือดมีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) แต่ค่าอินซูลินในกระแสเลือดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.05) ตามระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น ส่วนประชากรจุลินทรีย์ และสมดุลไนโตรเจมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ยกเว้นกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ที่ระดับ 6% มีค่าปริมาณการกินได้ของไนโตรเจน และค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึมต่ำกว่ากลุ่มอื่น จากผลการทดลองนี้ สามารถใช้ CGWVO ในอาหารผสมเสร็จระดับ 4% ในสูตรอาหารแพะ

คำสำคัญ: กลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ความสามารถในการย่อยได้ สมดุลไนโตรเจน สูตรอาหารแพะ

Abstract

This experiment was aimed to study effect of increasing concentrations of crude glycerin from waste vegetable oil (CGWVO) in total mixed ration (TMR) on feed intake, nutrient digestibility, rumen fermentation, blood metabolites, and nitrogen balance of goats. Four goats with an average initial weight of 31.5±1.9 kg were randomly assigned according to a 4×4 Latin square design to receive four TMR (0, 2, 4, and 6% of CGWVO, respectively). TMR was offered on *ad libitum* basis. Based on this experiment, there were no significant differences ($P>0.05$) among treatments regarding DM intake and digestion coefficients of nutrients (DM, OM, CP, NDF, and ADF), except for 6% of CGWVO, DM intake and digestion coefficients were lower ($P<0.05$) than other treatments. Likewise, ruminal pH and NH_3-N concentration were unchanged by dietary treatments, except for 6% of CGWVO, NH_3-N was lower ($P<0.05$) than for the diets 0% of CGWVO. Likewise, mean serum glucose, BHBA, and PCV concentrations were not affected ($P>0.05$) by dietary treatments, whereas serum insulin concentration linearly increased (L, $P = 0.05$) with increasing the amount of CGWVO supplementation. Rumen microorganism populations and N balance were similar among treatments, except for 6% of CGWVO, total N intake and absorbed N were lower ($P<0.05$) than other treatments. Based on this study, Based on this study, CGWVO levels up to 4% in total mixed ration could be efficiently utilized for goats.

Keywords: Crude glycerin from waste vegetable oil, digestibility, nitrogen balance, goat ration

สารบาญ

	เรื่อง	หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	(ก)
	บทคัดย่อภาษาไทย	(ข)
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ค)
	สารบาญ	(1)
	สารบาญตาราง	(2)
	สารบาญภาพ	(3)
บทที่ 1	**1.1 บทนำ**	**1**
	1.2 วัตถุประสงค์	3
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
	1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
	1.5 ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	4
	1.6 หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	4
บทที่ 2	**การตรวจเอกสาร**	**5**
	2.1 สถานการณ์การผลิตแพะในประเทศไทย	**5**
	2.1.1 การผลิต และรูปแบบการเลี้ยงแพะในประเทศไทย	6
	2.1.2 อาหาร และประสิทธิภาพในการใช้อาหารของแพะ	7
	2.1.3 สมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ	9
	2.1.4 ผลของแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารข้นต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ	10
	2.2 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	**12**
	2.2.1 เมแทบอลิซึมของโปรตีนในกระเพาะรูเมน	12
	2.2.2 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน	12
	2.2.3 นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน	14
	2.2.4 การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน	14
	2.3 คุณสมบัติของกลีเซอรีนดิบ และการใช้กลีเซอรีนดิบเป็นอาหารสัตว์	**15**
	2.3.1 กลีเซอรีน (glycerin หรือ glycerin)	15
	2.3.2 คุณสมบัติของกลีเซอรีน	16
	2.3.3 การเพิ่มการผลิตไบโอดีเซล และกลีเซอรีน	16
	2.3.4 การผลิตไบโอดีเซล และกลีเซอรีนในประเทศไทย	18
	2.3.5 องค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรีน (chemical composition of glycerin)	18

สารบาญ (ต่อ)

	เรื่อง	หน้า
	2.3.6 การใช้กลีเซอรีนในปศุสัตว์	20
	2.3.7 เมแทบอลิซึมของกลีเซอรีนในกระเพาะรูเมน	20
	2.3.8 การสังเคราะห์กลูโคสจากกลีเซอรีน	21
	2.4 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้กลีเซอรีนดิบ และ CGCCF ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	22
บทที่ 3	**อุปกรณ์และวิธีการทดลอง**	**26**
บทที่ 4	**ผลการทดลองและวิจารณ์**	**32**
	4.1 การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (crude glycerin from waste vegetable oil, CGWVO)	32
	4.2 การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจนในแพะ	35
บทที่ 5	**สรุปผลการทดลอง**	**50**
บทที่ 6	**เอกสารอ้างอิง**	**52**
บทที่ 7	**ภาคผนวก**	**63**
	ภาคผนวก ก	63
	ภาคผนวก ข	69

สารบาญตาราง

Table		Page
2.1	Distribution of beef, dairy cattle, buffalo, goat, and sheep numbers in Thailand (million heads) 2007–2011	5
3.1	Ingredients and chemical composition of goat diets containing increasing amounts of CGWVO (% DM basis)	28
4.1.1	Characterization and physicochemical parameter of crude glycerin from waste vegetable oil (CGWVO)	32
4.1.2	Characterization of CGWVO	34
4.2.1	Chemical composition of the experimental diets and plicatulum hay	36
4.2.2	Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on feed intake of goats	37
4.2.3	Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on nutrient digestibility of goats	39
4.2.4	Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on rumen fermentation of goats	41
4.2.5	Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on blood metabolites in goats	43
4.2.6	Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on volatile fatty acid profiles in goats	44
4.2.7	Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on rumen microbes in goats	47
4.2.8	Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on N balance of goats	49

สารบาญภาพ

Figure		Page
2.1	Utilization of protein and carbohydrates by rumen bacteria	12
2.2	Outline of the pathways of carbohydrate in the rumen	13
2.3	The chemical formula for glycerin	15
2.4	Biodiesel production: transesterification reaction of triglyceride to biodiesel with methanol	17
2.5	Biodiesel production from 2000–2006 in the United States (National Biodiesel Board)	18
2.6	Proposed metabolism of glycerol in ruminant animals	22
4.1.1	The color of CGWVO samples is very apparent	33

บทที่ 1

ผลของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจน

Effects of Crude Glycerin from Waste Vegetable Oil in Goat Ration on Nutrient Utilization, Rumen Fermentation and Nitrogen Balance

1.1 บทนำ

ไบโอดีเซล (biodiesel หรือ methyl esters) คือ พลังงานทดแทนธรรมชาติจากน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) นำมาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า transesterification โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (alcohol) (เมทานอล หรือเอทานอล) มีกรด หรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็นผลผลิตเอสเตอร์ (ester) คือ ไบโอดีเซล และผลพลอยได้กลีเซอรีนดิบ หรือกลีเซอรอลดิบ (crude glycerin, CG หรือ crude glycerol) (ชาคริต และคณะ, 2545) ปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการผลิตไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Crandell, 2004) และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า กลีเซอรีนดิบมีส่วนประกอบที่เป็นไขมัน (lipid) อยู่ประมาณ 25-35% กรดไขมันที่พบคือ ปาล์มมิติก (palmitic, C16:0) สเตียริก (stearic, C18:0) โอเลอิก (oleic, C18:1) และลิโนเลอิก (linoleic, C18:2) มีแร่ธาตุที่พบ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เป็นต้น พบอยู่ในปริมาณ 4-163 ppm (Thompson and He, 2006) โดยกลีเซอรีนดิบที่มีส่วนประกอบของกลีเซอรีนบริสุทธิ์ 86.95% มีค่าพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 3,625 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (Dozier et al., 2008) ขณะที่ Chanjula et al. (2014a) รายงานว่า กลีเซอรีนดิบที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มมีกลีเซอรีนรวมเท่ากับ 86.72% เมทานอล 0.64% กรดไขมันอิสระ 0.71% และมีค่าพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 3989.82 kcal/kg ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทให้พลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ (Cerrate et al., 2006; Donkin et al., 2009; Avila et al., 2013; Chanjula et al., 2014a) และช่วยลดต้นทุนการผลิตมากกว่าแหล่งวัตถุดิบพลังงานอื่นๆ ที่มีราคาแพง เช่น ปลายข้าว และข้าวโพด เป็นต้น

ปัจจุบันได้มีการใช้กลีเซอรีนดิบ (85-88% of glycerin) ส่วนใหญ่ผลิตมาจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันลินซีด เป็นต้น เป็นวัตถุดิบผสมในสูตรอาหารแกะเพื่อทดแทนแหล่งพลังงานต่อปริมาณการกินอาหารได้ทั้งหมด สมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของแกะพบว่า สามารถใช้ผสมในสูตรอาหารได้ 15%, 21% และ 12% (DM) (Avila-Stagno et al., 2013; Gunn et al., 2010a; Meale et al., 2013) ขณะที่ ในประเทศไทย Chanjula et al. (2014a, 2015) ศึกษาผลของระดับกลีเซอรีนดิบ (86.72% glycerol) ในสูตรอาหารผสมเสร็จ (TMR) ต่างกัน (0, 5, 10 และ 20% ตามลำดับ) ในแพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50% ต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งทั้งหมด (kg/d, %BW และ g/kg $W^{0.75}$) และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะทุกกลุ่ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยปริมาณการกินได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.908-0.970 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน สอดคล้องกับรายงานของ Gunn et al. (2010a) ศึกษาใน

แกะ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม (0% CG) กับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จระดับต่างๆ (5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์) พบว่ากลุ่มที่เสริมกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารมีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่มของแพะเพิ่มสูงขึ้น (P =0.06 และ P =0.09 ตามลำดับ) จากผลการทดลองสามารถใช้กลีเซอรีนดิบทดแทนข้าวโพดบด 20% ในสูตรอาหาร 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 (ปิ่น และคณะ, 2556)

อย่างไรก็ตาม การผลิตไบโอดีเซลไม่ได้ใช้น้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์เพียงอย่างเดียว การผลิตไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (waste vegetable oil, WVO) (Thompson and He, 2006) แต่ผลผลิตกลีเซอรีนดิบที่ได้จาก WVO มีการปนเปื้อนของไขมันสูง (high crude fat) อีกทั้งมีสารอื่นๆ และมี methanol ปนเปื้อนอยู่ในระดับสูง ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์ถ้าใช้ในสูตรอาหารปริมาณที่สูง ซึ่งส่วนประกอบทางโภชนะของกลีเซอรีนดิบขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ แหล่งของน้ำมัน หรือไขมัน กรรมวิธีการผลิตไบโอดีเซล ชนิด และปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการเร่งทำปฏิกิริยา (Thompson and He, 2006; Dasari, 2007; Kerr et al., 2009) โดยเฉพาะโรงงานที่มีขนาดเล็ก หรือผลิตจากวิสาหกิจชุมชนต่างๆ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ได้มีการศึกษาวิจัย **“โครงการสาธิตการผลิตไบโอดีเซล (เอสทิลเอสเตอร์) ด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริ”** โดยผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (waste vegetable oil, WVO) ซึ่งมีกำลังผลิต 3,000 ลิตรต่อเดือน และได้ผลพลอยได้กลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (crude glycerin from waste vegetable oil, CGWVO) ประมาณ 600 ลิตรต่อเดือน (สัดส่วนไบโอดีเซล:กลีเซอรีนดิบ = 1:0.2) จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่า มีปริมาณของกลีเซอรีนดิบ ไขมัน เมทานอล (methanol) และสารอื่นๆ เท่ากับ 51.63, 16.94, 15.0 และ 5.88% ตามลำดับ ส่วนใหญ่มีผู้ซื้อ (5 บาทต่อ กก.) นำไปใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นใบเลื่อยเพียงอย่างเดียว (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน, 2557) และจากการศึกษาเบื้องต้นของปิ่น และคณะ (2556 ยังไม่ตีพิมพ์) พบว่ากลีเซอรีนดิบจากโครงการสาธิตฯ (CGWVO) มีค่าเฉลี่ยของความชื้น เถ้ารวม ไขมันรวม กลีเซอรีนดิบ เมทานอล และพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 13.93, 7.41, 47.78, 55.90, 6.47% และ 6,290.82 kcal/kg ตามลำดับ จะเห็นว่ามีกลีเซอรีนดิบต่ำ-ปานกลาง แต่มีไขมันรวมสูง ซึ่งจากองค์ประกอบทางเคมี WVO ดังกล่าวน่าจะสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนวัตถุดิบในสูตรอาหารที่มีข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลักได้บางส่วน แต่การศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมี และการใช้ประโยชน์ได้ของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (CGWVO) หรือกลีเซอรีนดิบปนเปื้อนไขมันระดับสูง (crude glycerin contaminated with high concentrations of crude fat, CGCCF) ในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องมีน้อยมาก โดยเฉพาะการใช้ในสูตรอาหารแพะพื้นเมือง และแพะลูกผสมพื้นเมือง เพื่อทดแทนข้าวโพดที่มีราคาแพง (12.0-14.0 บาทต่อ กก.) ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่า (value added) ของผลพลอยได้ CGWVO หรือ CGCCF มาเปลี่ยนเป็นเนื้อ

และนมที่มีมูลค่าสูง อันเป็นการนำวัตถุดิบในพื้นที่มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งยังเป็นการลดมลภาวะของกากเหลือทิ้งสู่สภาพแวดล้อม และลดต้นทุนในการกำจัดกากเศษเหลือดังกล่าวทิ้ง ซึ่งมีต้นทุนในการกำจัดที่สูง จากหลักการ และเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงคุณค่าทางอาหารของ CGWVO ในสูตรอาหารแพะต่อการย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และสมดุลไนโตรเจน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้ระดับที่เหมาะสมในสูตรอาหารแพะ ตลอดจนเผยแพร่ผลงานวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากโครงการวิจัย เพื่อจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในด้านการเรียนการสอน และการประยุกต์ใช้ในการเพิ่มคุณภาพอาหารสัตว์เพื่อส่งเสริมการแปรรูป และพัฒนาคุณภาพอาหารสัตว์ในระดับอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (CGWVO) และผลการเสริม CGWVO ระดับต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ประชากรจุลินทรีย์ และสมดุลไนโตรเจน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของ CGWVO และผลการเสริม CGWVO ระดับต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ประชากรจุลินทรีย์ และสมดุลไนโตรเจน

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การศึกษาวิจัยและพัฒนาการใช้ทรัพยากรอาหารสัตว์ที่มีศักยภาพในท้องถิ่น (local feed resources) หรือวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตรที่มีราคาถูก มาใช้ประโยชน์หรือทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีราคาแพง หรือขาดแคลน เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้การผลิตสัตว์มีต้นทุนต่ำลง เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์สามารถแข่งขันได้ ซึ่ง CGWVO เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการผลิตไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า CGWVO มีกลีเซอรีนดิบประมาณ 51.63–55.90% และมีส่วนประกอบที่เป็นไขมัน (15.0–47.8%) ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทให้พลังงานได้ โดยมีสมมติฐานคือ

1. การใช้ CGWVO ที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล สามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทให้พลังงาน เช่น ข้าวโพดในแพะได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยลดต้นทุน และเพิ่มการใช้วัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือทางการเกษตรเป็นอาหารสัตว์ได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ และสมรรถภาพการผลิตของสัตว์

2. การเสริม CGWVO ที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแปรรูปร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆ เป็นอาหารข้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของเนื้อ และนมสามารถปฏิบัติได้ โดยใช้อาหารสัตว์ในท้องถิ่น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ

ทราบถึงผลการเสริม CGWVO ระดับต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ประชากรจุลินทรีย์ และสมดุลไนโตรเจน แพะเนื้อ และสามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการ วารสารทางวิชาการทั้งระดับประเทศ และนานาชาติ

1.6 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- สถาบันการศึกษาทางการเกษตร และเกษตรกรทั่วไป

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ศึกษาเกี่ยวกับผลของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะกระบวนการหมัก สมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.1 สถานการณ์การผลิตการผลิตแพะในประเทศไทย

2.2 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.3 คุณสมบัติของกลีเซอรีนดิบ และการใช้กลีเซอรีนดิบเป็นอาหารสัตว์

2.4 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้ประโยชน์กลีเซอรีน

2.1 สถานการณ์การผลิตแพะในประเทศไทย

ปัจจุบันการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องในเมืองไทยมีการขยายเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะมีความต้องการบริโภคทั้งเนื้อ และนมเพิ่มขึ้นทุกปี อีกทั้งนโยบายของรัฐบาลได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการเลี้ยงสัตว์เพิ่มมากขึ้น โดยได้มีการบรรจุไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติตั้งแต่ฉบับที่ 6-11 (พ.ศ. 2530-2559) อย่างเด่นชัดโดยมียุทธศาสตร์ 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 มีจำนวนแพะทั้งหมด 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 และนมคุณภาพดีจาก แพะนม และลดการนำเข้าจากต่างประเทศ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาองค์ความรู้ในด้านอาหารสัตว์ให้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากอาหารนับได้ว่าเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิต ตลอดจนผลตอบแทนความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ในขณะที่ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งของโปรตีน และพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ กากถั่วเหลือง และข้าวโพดเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาวัตถุดิบชนิดอื่นที่มีคุณค่าทางโภชนะที่ใกล้เคียงกัน แต่มีราคาถูกกว่า และหาได้ง่ายในท้องถิ่นมาทดแทน

2.1.1 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., 2003) 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

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

แพะเป็นสัตว์ที่เลี้ยงง่าย หากินเก่ง กินอาหารได้หลายประเภท และทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ทุรกันดารได้ดี โดยทั่วไปลักษณะการเลี้ยงแพะในชนบทไทยมี 3 วีธี 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

แพะส่วนใหญ่ที่เลี้ยงกันอยู่ในชนบทของประเทศไทย เป็นแพะพื้นเมือง การเลี้ยงแพะโดยทั่วไป จึงอาศัยอาหารที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติไม่มีการให้อาหารเสริม (สมเกียรติ, 2528ก) ซึ่งการเลี้ยงแพะให้ได้ผลผลิตดีนั้น แพะจะต้องได้รับโภชนะที่จำเป็นในระดับที่เหมาะสม และผู้เลี้ยงต้องมีความเข้าใจระบบการย่อยอาหารของแพะ ความต้องการโภชนะสำหรับผลผลิตระดับต่างๆ ปัจจัยที่มีผลต่อความอยากอาหาร หรือปริมาณอาหารที่แพะจะกินได้เองและองค์ประกอบ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารชนิดต่างๆ เป็นต้น

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

2.1.2.1 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

2.1.2.2 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

2.1.3 สมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ

เนื่องจากการเลี้ยงแพะในปัจจุบันมีเป้าหมายหลักเพื่อจำหน่ายเป็นเนื้อแพะ ฉะนั้น การเลี้ยงแพะเพื่อจำหน่ายเนื้อ หรือการขุนแพะ จึงต้องการแพะที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง มีน้ำหนักตัวเมื่อจำหน่ายมาก มีลักษณะ และองค์ประกอบซากที่ดี ซึ่งพันธุ์แพะ อาหาร หรือแม้แต่รูปแบบการเลี้ยงแพะจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และลักษณะซากของแพะ

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 เท่าของระดับเพื่อการดำรงชีพตามลำดับ 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) พบว่า แพะมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 47.30 กรัมต่อวัน และไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ของอัตราการเจริญเติบโตระหว่างแพะที่ได้รับอาหารข้นที่มีระดับพลังงานและโปรตีนรวมต่างกัน สอดคล้องกับ สุรศักดิ์ และคณะ (2544) ที่ศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารข้นต่อ

การเจริญเติบโตของลูกแพะพื้นเมืองไทย 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) และ กลุ่มที่ 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 ($P<0.01$)

2.1.4 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 ผนัง

เซลล์ 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 เพศผู้ให้ได้รับหญ้าเนเปียร์สดอย่างเต็มที่ *(ad libitum)* ร่วมกับอาหารข้นที่ใช้มันเส้นทดแทนข้าวโพดบด 0, 25, 50, 75 และ 100 พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลสของแพะทั้ง 5 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (P>0.05) แต่แพะที่ได้รับอาหารข้นที่ใช้มันเส้นทดแทนข้าวโพด 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้ของโปรตีนรวมจากอาหารข้นและปริมาณการกินได้ของโปรตีนรวมทั้งหมด 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) แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลสมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับเยื่อในลำต้นสาคูที่ใช้ทดแทนข้าวโพดบดในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น 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

จากผลการศึกษาการเสริมอาหารข้นในแพะ สรุปว่า แพะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้แพะมีเปอร์เซ็นต์ซากเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอาหารข้นเป็นอาหารที่สามารถย่อยและดูดซึมได้ง่าย ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงแพะในเชิงการค้า ที่ต้องการให้แพะมีน้ำหนักเพิ่มที่รวดเร็ว

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 และเป็นสารอนินทรีย์ 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

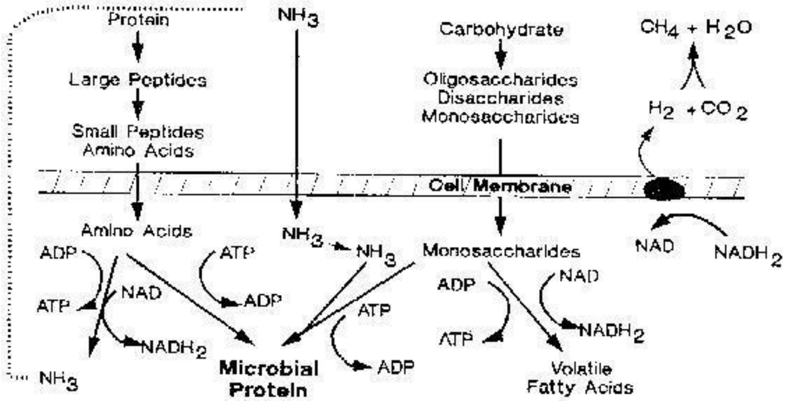

Protein
Large Peptides
Small Peptides
Amino Acids
NH3
Carbohydrate
Oligosaccharides
Disaccharides
Monosaccharides
CH4 + H2O
H2 + CO2
Cell Membrane
Amino Acids
NH3
NH3
Monosaccharides
NAD
NADH2
ADP
ATP
NAD
NADH2
ATP
ADP
ATP
ADP
ADP
ATP
NAD
NADH2
NH3
Microbial Protein
Volatile Fatty Acids

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 จากนั้นกลูโคสหรือเพนโตสจะถูกหมักในกระเพาะรูเมนอย่างรวดเร็ว และถูกสังเคราะห์ไปเป็นกรดไพรูวิค (pyruvic acid) หรือไพรูเวท (pyruvate) ซึ่งเป็นตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดไขมันที่ระเหยได้ ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acids, VFAs) ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้าย (end-products) ที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซิติค (acetic acid, C_2) กรดบิวทีริค (butyric acid, C_4) กรดโพรพิออนิค (propionic acid, C_3) เป็นหลัก (Figure 2.2) และกรดวาลาริค (valeric acid, C_5) ไอโซวาลาริค

(isovaleric acid) และไอโซบิวทีริก (isobutyric acid) อาจพบบ้างแต่ในปริมาณน้อย ซึ่งสัตว์จะดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป จากการศึกษาพบว่า น้ำตาลจะถูกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว รองลงมาคือแป้ง และพวกที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช เช่น เซลยูโลส และเฮมไมเซลยูโลส จะถูกเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด

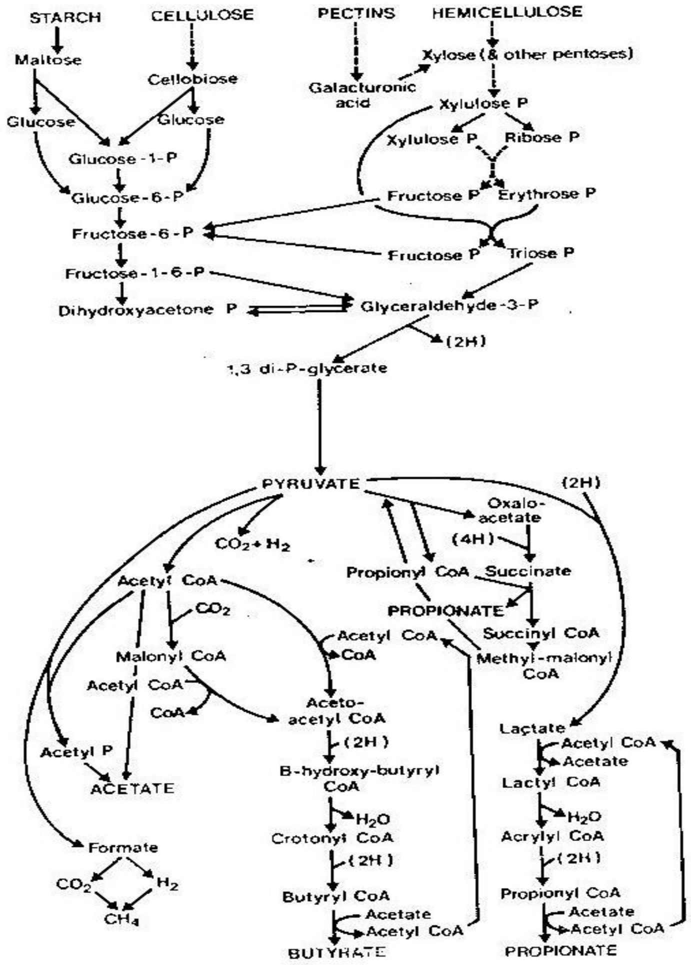

STARCH
CELLULOSE
PECTINS
HEMICELLULOSE
Maltose
Cellobiose
Xylose (& other pentoses)
Galacturonic acid
Glucose
Glucose
Xylulose P
Glucose-1-P
Xylulose P
Ribose P
Glucose-6-P
Fructose P
Erythrose P
Fructose-6-P
Fructose P
Triose P
Fructose-1-6-P
Dihydroxyacetone P
Glyceraldehyde-3-P
(2H)
1,3 di-P-glycerate
PYRUVATE
(2H)
Oxalo-acetate
(4H)
CO$_2$+ H$_2$
Acetyl CoA
Propionyl CoA
Succinate
CO$_2$
PROPIONATE
Acetyl CoA
CoA
Succinyl CoA
Malonyl CoA
Methyl-malonyl CoA
Acetyl CoA
CoA
Aceto-acetyl CoA
Lactate
Acetyl CoA
Acetate
(2H)
Acetyl P
B-hydroxy-butyryl CoA
Lactyl CoA
ACETATE
H$_2$O
H$_2$O
Crotonyl CoA
Acrylyl CoA
Formate
(2H)
(2H)
CO$_2$
H$_2$
Butyryl CoA
Propionyl CoA
CH$_4$
Acetate
Acetyl CoA
Acetate
Acetyl CoA
BUTYRATE
PROPIONATE

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 โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถใช้ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (non–protein nitrogen, NPN) โดยจุลินทรีย์จะทำงานได้ดีถ้าสภาพภายในกระเพาะรูเมนมีความเป็นกรด–ด่าง (rumen pH) ที่เหมาะสม คือ อยู่ในช่วง 6.5–7.0 และมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 39–40 องศาเซลเซียส ทำให้ทั้งแบคทีเรีย โปรโตซัวและเชื้อรา สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว และเหมาะสมต่อการย่อยอาหาร (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 และนอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความสมดุลระหว่างพลังงานกับโปรตีนอีกด้วย 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 และเชื้อรามีจำนวนประชากรประมาณ 10^{3}–10^{4} เซลล์ต่อมิลลิลิตร (Hungate, 1966) จุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทที่สำคัญในการทำหน้าที่ย่อยสลายอาหารที่สัตว์กินเข้าไป และสังเคราะห์เป็นผลผลิตที่สำคัญสำหรับสัตว์นำไปใช้ในการสร้างผลผลิต

2.2.4 การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

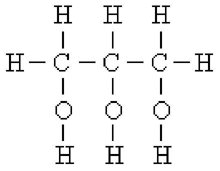
จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะรูเมนสังเคราะห์จากกรดแอมมิโน และเปปไทด์ที่ได้จากการย่อย สลายโปรตีนหรือพวกที่อยู่ในรูปอิสระ อย่างไรก็ตามพบว่าแอมโมเนียที่หมุนเวียนอยู่ภายใน กระเพาะรูเมนเป็นแหล่งไนโตรเจนหลักในการสังเคราะห์โปรตีนเช่นกัน (Aharoni et al., 1991) Al–Rabbat et al. (1971) รายงานว่า 61

เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์โปรตีนมาจากแอมโมเนีย และ 39 เปอร์เซ็นต์มาจากกรดแอมมิโน และเปปไทด์ อย่างไรก็ตาม Maeng et al. (1976) รายงานว่า สัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแอมโมเนีย และกรดแอมมิโนในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนคือ 75 เปอร์เซ็นต์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และ 25 เปอร์เซ็นต์กรดแอมมิโน-ไนโตรเจน นอกจากนี้ พลังงาน ATP ที่สัตว์ได้รับ ซึ่งได้จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมนก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน จุลินทรีย์โปรตีนเมื่อถูกย่อยสลายที่กระเพาะจริง และลำไส้เล็ก จะมีผลต่อองค์ประกอบของกรดแอมมิโนที่ได้ เนื่องจากจุลินทรีย์มีความสามารถในการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนในเซลล์ ฉลอง (2541) รายงานว่าปริมาณไนโตรเจนในจุลินทรีย์เท่ากับ 36-49 เปอร์เซ็นต์โปรตีน ซึ่ง 85 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดจะอยู่ในรูปของโปรตีนแท้ โปรตีนในตัวจุลินทรีย์เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง โดยโปรโตซัวมีการย่อยได้ดีกว่าแบคทีเรีย แม้ว่าค่า biological value (BV) ของโปรตีนของโปรโตซัว และแบคทีเรียจะไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อคิดเป็นค่า net protein utilization (NPU) พบว่าโปรโตซัวมีค่าสูงกว่าแบคทีเรีย

2.3 คุณสมบัติของกลีเซอรีนดิบ และการใช้กลีเซอรีนดิบเป็นอาหารสัตว์

2.3.1 กลีเซอรีน (glycerin หรือ glycerin)

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 2.3



$$\begin{array}{ccccccc} & & H & & H & & H & \\ & & | & & | & & | & \\ H & - & C & - & C & - & C & - & H \\ & & | & & | & & | & \\ & & O & & O & & O & \\ & & | & & | & & | & \\ & & H & & H & & H & \end{array}$$

Figure 2.3 The chemical formula for glycerin
ที่มา: Ma and Hanna (1999)

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 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% จะได้สารละลายที่มีจุดเยือกแข็งที่ต่ำมาก คือ -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

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. น้ำมันพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์เพียงอย่างเดียว ไบโอดีเซลประเภทนี้คือ น้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเรพซีด น้ำมันเมล็ดทานตะวัน หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ที่นำมาทำให้บริสุทธิ์โดยไม่ผสมหรือเติมสารเคมีอื่นๆ หรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้เลย

2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสม เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าด หรือน้ำมันดีเซลเพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมมากที่สุด 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 2.4) ซึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อาหารสัตว์ และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เป็นต้น

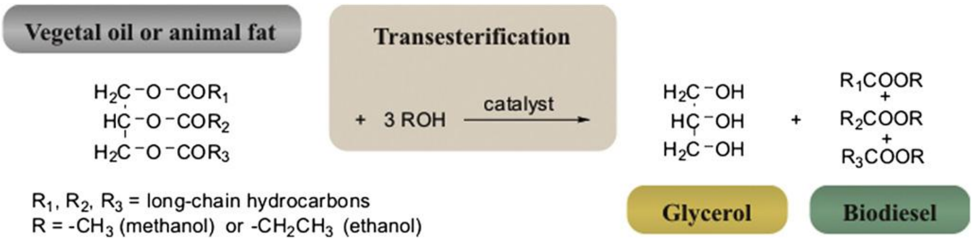


Figure 2.4 Biodiesel production: transesterification reaction of triglyceride to biodiesel with methanol
ที่มา: Leoneti et al. (2012)

การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลมีมามากกว่า 10 ปีที่ผ่านมา ทำให้ปริมาณของกลีเซอรีนดิบมากขึ้น (Figure 2.5) 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) การเพิ่มขึ้นของ กลีเซอรีนดิบที่ใช้ประโยชน์ได้ส่งผลให้ราคาลดลง เป็นสาเหตุให้ผู้กลั่นไม่ได้รับผลกำไร ไม่คุ้มทุน และหาทางนำกลีเซอรีนส่วนเกินไปใช้ทางเลือกอื่น เช่น อาหารสัตว์ (animal feed)

จากที่กลีเซอรีนมีราคาถูก และข้าวโพดมีราคาแพง กระตุ้นให้ผู้ผลิตสัตว์หันมาให้ความสนใจ และหาวิธีประเมินกลีเซอรีนเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารทางเลือก (alternative feed resource) มากขึ้น

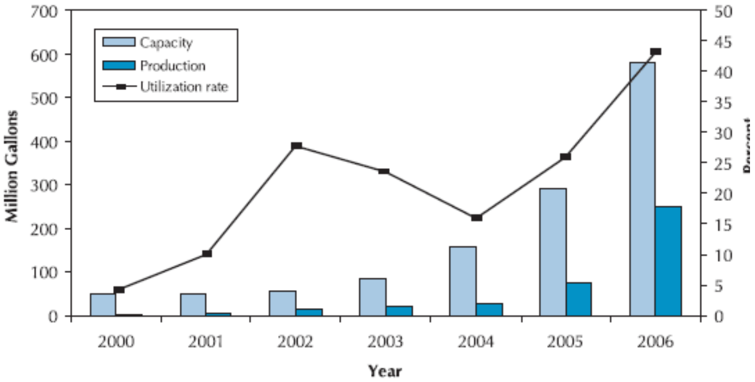


Figure 2.5 Biodiesel production from 2000–2006 in the United States (National Biodiesel Board)

ที่มา: National Biodiesel Board (2010)

2.3.4 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 (จากการคำนวณการผลิตไบโอดีเซล 3.78 ลิตร ได้กลีเซอรีนดิบ 0.3 กิโลกรัม, Thompson and He, 2006)

ดังนั้น การนำกลีเซอรีนดิบมาพัฒนาเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงแพะจึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารพลังงาน เพราะนอกจากจะเป็นการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ที่เหลือใช้จากการอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลพลอยได้ที่เหลือใช้จากการอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันอีกด้วย

2.3.5 องค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรีน (chemical composition of glycerin)

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 ตกค้างอยู่ด้วยประกอบด้วยเกลือ เถ้า เมทธานอล (methanol) ไขมัน และน้ำ เป็นต้น ความเข้มข้นของความไม่บริสุทธิ์มีความผันแปรสูงเนื่องจากสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในระหว่างการผลิต methanol recovery rate และสัดส่วนการตกค้างของไขมัน จากการศึกษาของ Gott (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 ซึ่งความผันแปรทางองค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรีนดิบมีน้อยมาก เมื่อวัตถุดิบที่ใช้ผลิตมาจากน้ำมันที่สะอาดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ใช้แล้ว (waste vegetable oil)

Kerr 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 ซึ่งความแตกต่างในองค์ประกอบทางเคมีอาจมี

ผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ และระดับความเข้มข้นของ methanol ระดับใดที่อาจก่อให้เกิดโทษหรือทำอันตรายต่อสัตว์ได้เป็นสิ่งที่ต้องมีการศึกษา และวิจัย ต่อไป

2.3.6 การใช้กลีเซอรีนในปศุสัตว์

กลีเซอรีนดิบเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล สามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทให้พลังงานได้ (Cerrate et al., 2006) มีราคาถูกกว่าแหล่งวัตถุดิบให้พลังงานชนิดอื่นๆ กลีเซอรีนดิบเป็นของเหลวหนืดมีสีน้ำตาลเข้ม และมีความหวานประมาณ 60% ของน้ำตาล (~60% the sweetness of sucrose, National Biodiesel Board, 2010) มีกลิ่นของเมทานอล หรือแอลกอฮอล์ที่เจือปนอยู่ 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) ดังนั้นกลีเซอรีนดิบจึงสามารถทดแทนโภชนะประเภทไขมันได้บางส่วน (Dozier et al., 2008) เมื่อนำกลีเซอรีนดิบมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบที่เป็นแร่ธาตุ และกรดไขมันพบว่า กลีเซอรีนดิบมีส่วนประกอบที่เป็นไขมัน (lipid) อยู่ประมาณ 25-35 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันที่พบคือ ปาล์มมิติก สเตียริก โอเลอิก และลิโนเลอิก มีแร่ธาตุที่พบคือ 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 นอกจากนี้ ประโยชน์ของกลีเซอรีนดิบสามารถช่วยในด้านผลต่อความหยาบละเอียดของเนื้อ (texture) ของอาหารสัตว์ โดยช่วยให้อนุภาคชิ้นอาหารขนาดเล็กรวมกัน ควบคุมฝุ่น และลดอนุภาคที่ละเอียด กลีเซอรีนยังช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานที่เกี่ยวกับการทำอาหารอัดเม็ดที่มีข้าวโพดเป็นหลักในอาหารสุกรเมื่อเสริมกลีเซอรีนดิบ 15% ของอาหารป่น (mash) (Groesbeck et al., 2008) ซึ่งผู้วิจัยยังรายงานว่า การเสริมกลีเซอรีนในสูตรอาหารประมาณ 9% เป็นระดับที่เหมาะในการทำอาหารอัดเม็ด (pellet durability indices, PDI)

2.3.7 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) ของโคพบว่าทำให้เพิ่ม 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) ในอาหารโคขุนที่ได้รับการเจาะกระเพาะพบว่า ความเข้มข้นของ 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 ซึ่งความแตกต่างอาจเนื่องมาจากชนิดของอาหารและชนิดประชากรของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกระเพาะรูเมน

2.3.8 การสังเคราะห์กลูโคสจากกลีเซอรีน

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 2.6

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 กระบวนการที่

เกิดเป็นไปในทำนองเดียวกับการใช้กลีเซอรอลที่ได้มาจากการสลายตัวของ triacylglycerol (triacylglycerol catabolism) ภายในเซลล์

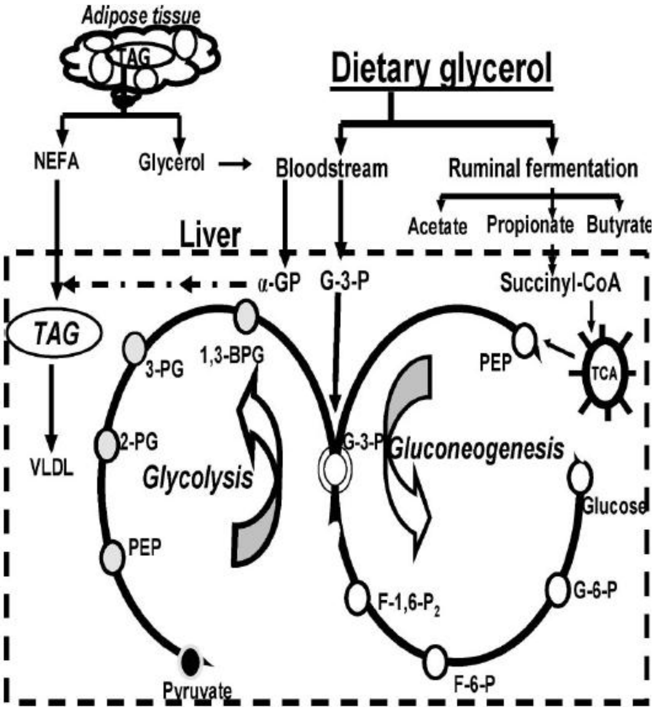

Adipose tissue
TAG
Dietary glycerol
NEFA
Glycerol
Bloodstream
Ruminal fermentation
Liver
Acetate
Propionate
Butyrate
α-GP
G-3-P
Succinyl-CoA
TAG
3-PG
1,3-BPG
PEP
TCA
2-PG
VLDL
Glycolysis
G-3-P
Gluconeogenesis
Glucose
PEP
F-1,6-P2
G-6-P
Pyruvate
F-6-P

Figure 2.6 Proposed metabolism of glycerol in ruminant animals
ที่มา: Osman et al. (2008)

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 และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้กลีเซอรีนดิบ และ CGCCF ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

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 และ

สรุปว่ากลีเซอรีนเป็นสารตั้งต้นของกลูโคส กลีเซอรีนเป็นองค์ประกอบที่ดีของอาหาร แม้ว่าอาจจะอยู่ในรูปที่ไม่บริสุทธิ์ ดังนั้น กลีเซอรีนอาจเสริมเป็นวัตถุดิบในอาหารผสมสำเร็จ (TMR) หรืออาหารข้นอัดเม็ด ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพของอาหารให้ดีขึ้น

Musselman et al. (2008) ประเมินผลการใช้กลีเซอรีนที่ระดับ 0, 15, 30 และ 45% ของวัตถุแห้งในสูตรอาหารแกะขุนพบว่า สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากยังมีความผันแปร แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้กลีเซอรีนที่ระดับมากกว่า 30% ขณะที่ ระดับ 0-15% ไม่มีความแตกต่างกัน อาจเนื่องจาก มีการเสริมกลีเซอรีนระดับสูงเกินไป สอดคล้องกับ Gunn et al. (2010a) รายงานผลการใช้กลีเซอรีนดิบที่ระดับ 0, 5, 10, 15 และ 20% ของวัตถุแห้งในแกะขุน พบว่าปริมาณการกินได้ของอาหารลดลง (L, P = 0.004) แต่อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในรูปแบบสมการกำลังสองตามระดับกลีเซอรีนที่เพิ่มขึ้น (Q, P = 0.05) ขณะที่ คุณภาพซากไม่แตกต่างกัน

Chanjula et al. (2014a) ศึกษาผลของระดับกลีเซอรีนดิบ (86.72% glycerin) ในสูตรอาหารผสมเสร็จ (TMR) ต่างกัน (0, 5, 10 และ 20% ตามลำดับ) ในแพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50% ปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน เมแทบอไลท์ในกระแสเลือด และสมดุลไนโตรเจนของแพะ 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 และ Chanjula et al. (2015) ศึกษาผลของระดับกลีเซอรีนดิบ (86.72% glycerin) ในสูตรอาหารผสมเสร็จ (TMR) ต่างกัน (0, 5, 10 และ 20% ตามลำดับ) ในแพะขุนลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50% ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ พบว่าน้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมด (วัตถุแห้ง) อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่มของแพะไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ทำนองเดียวกับ คุณลักษณะทางซาก และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะทั้ง 4 กลุ่ม พบว่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P>0.05) ขณะที่ ค่ากลูโคสและ BHBA ในกระแสเลือดมีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) แต่ค่าอินซูลินในกระแสเลือดมีความแตกต่างกัน (P<0.05) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.01) ตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า สามารถใช้กลีเซอรีนดิบเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารผสมเสร็จระดับ 20% ได้ในสูตรอาหารแพะโดยไม่มีผลสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแพะ และเมแทบอไลท์ในกระแสเลือด และมีกำไรเมื่อหักจากการรวมต้นทุนทั้งหมดของการเลี้ยงแพะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ขณะที่การศึกษาในโคเนื้อขุน พบว่าสามารถใช้กลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารได้ 10% ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร และไม่มีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก (Pyatt et al., 2007) สอดคล้องกับการศึกษาของ Elam et al. (2008) พบว่าการเสริมกลีเซอรีนดิบ 0, 7.5 และ 15% ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร แต่ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งมีแนวโน้มลดลง ปัจจุบันแม้ว่ามีการศึกษาการเสริมกลีเซอรีนดิบในอาหารโคขุนกันมาก (Versemann et al., 2008; Parsons et al., 2009) แต่ผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากยังมีความผันแปร

Ramos and Kerley (2012) ศึกษาการเสริมกลีเซอรีนดิบที่ระดับ 0, 5, 10 และ 20% ของวัตถุแห้งต่อกระบวนการหมักในหลอดทดลอง และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของโคขุน พบว่าไม่มีผลต่อกระบวนการหมักในหลอดทดลอง ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของโคขุน

ส่วนการศึกษาในโคนม Donkin et al. (2009) ศึกษาการใช้กลีเซอรีนทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารแม่โครีดนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียนที่ระดับ 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% มีน้ำหนักตัวเพิ่มมากกว่าแม่โครีดนมที่ได้รับกลีเซอรีนทดแทนระดับ 0 และ 5% แต่คะแนนความสมบูรณ์ของร่างกายไม่แตกต่างกัน ($P<0.05$) ดังนั้น จึงสามารถใช้กลีเซอรีนระดับ 15% โดยไม่มีผลต่อสมรรถภาพของโค

ขณะที่ การศึกษาการใช้ CGWVO หรือ CGCCF (crude glycerin contaminated with high concentrations of crude fat) ในแพะยังมีข้อมูลจำกัด Lage et al. (2014) ศึกษาการใช้ CGCCF (36.2% CG และ 46.5% of crude fat) ในสูตรอาหารแกะขุนที่ระดับ 0, 3, 6, 9 และ 12% พบว่าสามารถใช้ CGCCF ในสูตรอาหารแกะขุนได้ที่ระดับ 3% โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแกะ แต่ระดับที่สูงกว่า 3% มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแกะ

โดยสรุปจากการตรวจเอกสารจะเห็นได้ว่า สามารถใช้กลีเซอรีนดิบเป็นส่วนประกอบในอาหารข้นสำหรับโคเนื้อ โคนม และแกะได้ โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยรายงานผลการวิจัยที่เกี่ยวกับผลการใช้ CGWVO ในอาหารข้นต่อกระบวนการหมัก และนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องยังไม่มี โดยเฉพาะในแพะเนื้อ แพะนม และ/ หรือสัตว์เคี้ยวเอื้องอื่นๆ ที่เลี้ยงในภาคใต้ยังมีจำกัด จึงควรมีการศึกษาวิจัยในประเด็นดังกล่าวเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปสู่การพัฒนาการใช้ประโยชน์จากการใช้ CGWVO ในอาหารข้น และอาหารผสมสำเร็จรูป (total mixed ration, TMR) สำหรับเลี้ยงแพะเนื้อ และแพะนมต่อไป ซึ่งเป็นเพิ่มมูลค่า (value added) ของผลพลอยได้จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (WVO) มาเปลี่ยนเป็นเนื้อ และนมที่มีมูลค่าสูง อันเป็นการนำวัตถุดิบในพื้นที่มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งยังเป็นการลดมลภาวะของกากเหลือทิ้งสู่สภาพแวดล้อม และลดต้นทุนในการกำจัดกากเศษเหลือดังกล่าวทิ้ง ซึ่งมีต้นทุนในการกำจัดที่สูง โดยมีสมมติฐานคือ

1. การใช้ CGWVO ที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล สามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทให้พลังงาน เช่น ข้าวโพดในแพะได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยลดต้นทุน และเพิ่มการใช้วัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือทางการเกษตรเป็นอาหารสัตว์ได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ และสมรรถภาพการผลิตของสัตว์
2. การเสริม CGWVO ที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแปรรูปร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆ เป็นอาหารข้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของเนื้อ และนมสามารถปฏิบัติได้ โดยใช้อาหารสัตว์ในท้องถิ่น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ผลของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (crude glycerin from waste vegetable oil, CGWVO) ในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจน โดยมุ่งเน้นในเรื่องการนำใช้ และหาแนวทางใช้กลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในสูตรอาหารแพะ เพื่อใช้ร่วมกับอาหารที่มีอยู่ในท้องถิ่นในการเพิ่มผลผลิตของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยการศึกษาครั้งนี้มีกิจกรรมการวิจัยแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยๆ ดังนี้

การทดลองที่ 1. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

ทำการเก็บตัวอย่างกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วที่ใช้ในการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เช่น วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เถ้า เยื่อใย และไขมัน เป็นต้น ตามวิธีการของ AOAC (1995) และวิเคราะห์ pH, density (ISO 12185), glycerol (ISO 2879-1975), moisture (ISO 12937), ash (ISO 6245), methanol (GC-FID) ตามวิธีการมาตรฐาน (ASTM, 2006)

การทดลองที่ 2. การศึกษาผลของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจน

1. แผนการทดลองและกลุ่มทดลอง

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

อาหารทดลองที่ 1 (T1: กลุ่มควบคุม) อาหารผสมครบส่วนที่มี CGWVO 0%

อาหารทดลองที่ 2 (T2) อาหารผสมครบส่วนที่มี CGWVO 2%

อาหารทดลองที่ 3 (T3) อาหารผสมครบส่วนที่มี CGWVO 4%

อาหารทดลองที่ 4 (T4) อาหารผสมครบส่วนที่มี CGWVO 6%

***** Lage et al. (2014) รายงานว่า การใช้ CGCCF (36.2% CG และ 46.5% of crude fat) สูงกว่า 3% มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแกะ ขณะที่ 0-3% ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของ CGWVO (crude fat 47.78% และ methanol 4.38%) ในสูตรอาหารแพะ การศึกษาครั้งนี้จึงวางแผนกำหนดที่ระดับ 0-6%

การทดลอง แบ่งระยะเวลาการทดลองออกเป็น 4 ช่วงการทดลอง (period) โดยในแต่ละช่วงการทดลองใช้เวลา 21 วัน แพะทดลองทุกตัวได้รับอาหารทดลองจนครบทุกกลุ่มอาหาร

2. สัตว์ทดลอง

ใช้แพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50% เพศผู้ จำนวน 4 ตัว อายุเฉลี่ยประมาณ 12 เดือน โดยแพะมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 31.5±1.9 กิโลกรัม ในช่วงปรับสัตว์ก่อนเข้างานทดลองฉีดยาถ่ายพยาธิไอเวอร์เมกติน

(Ivermectin) (ไอเดกติน, IDECTIN®, The British Dispensary (L.P.) Co., Ltd., ประเทศไทย) เพื่อควบคุมพยาธิภายนอกและภายใน อัตราการใช้ยา 1 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว 50 กิโลกรัม และฉีดไวตามิน เอดีอี (AD_3E) (VITAMIN AD_3E 80/40/20, บริษัท ไอ วี เว็ท จำกัด) อัตราการใช้ยา 2 มิลลิลิตร ต่อตัวทุกตัว นอกจากนี้ ฉีดวัคซีนเพื่อป้องกันโรคติดต่อที่สำคัญได้แก่ วัคซีนโรคคอบวมและโรคปากและเท้าเปื่อย

3. อาหารและการเตรียมอาหารทดลอง

อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารผสมครบส่วนที่มีสัดส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ (หญ้าซิก-แนลแห้ง) 75:25 โดยใช้ CGWVO ระดับต่างๆ ทดแทนแหล่งพลังงานจากข้าวโพดตามแผนการทดลอง สูตรอาหารข้นมีโปรตีนหยาบ 16 เปอร์เซ็นต์ โดยสูตรอาหารมีระดับโภชนาการต่างๆ ครบตามความต้องการของแพะตามคำแนะนำของ NRC (1981) แพะทุกตัวถูกขังในคอกขังเดี่ยวได้รับอาหารอย่างอิสระ แบ่งให้กิน 2 ครั้ง เวลา 8.00 และ 16.00 น. สัตว์จะได้รับการปรับตัวกับอาหารทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์ก่อนที่สุ่มเก็บตัวอย่าง

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

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

Item	Dietary CGWVO (% of dietary DM) [2]			
	T1(0)	T2(2)	T3(4)	T4(6)
Ingredients, %				
CGWVO[1]	0.00	2.00	4.00	6.00
Ground corn, GC	43.00	41.00	39.00	37.00
Soybean meal, SBM (44% CP)	20.93	21.56	21.83	22.78
Fish meal, 55% CP	1.00	1.00	1.00	1.00
Leucaena leave meal, LLM	4.87	4.24	3.62	3.02
Plicatulum hay, PH	25.00	25.00	25.00	25.00
Molasses	3.50	3.50	3.97	3.50
Salt	0.20	0.20	0.20	0.20
Dicalcium phosphate	0.30	0.30	0.30	0.30
Urea	0.20	0.20	0.20	0.20
Mineral and vitamin mix[3]	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	100.0	100.0	100.0	100.0
Estimated nutrients (%)				
TDN, %	73.24	73.48	73.72	73.96
CP	16.00	16.00	16.00	16.00
ME, Mcal/kg DM[4]*	2.65	2.66	2.67	2.67
Cost, bath/kg[4]	11.40	11.03	10.71	10.12
Reduction cost, %	0.00	3.25	6.05	11.23

[1] Contained 63.42% crude glycerin, 13.93% water, 0.47% sodium, and 4.38% methanol (Colorless, odorless, viscous liquid obtained from Specialized Research and Development Center for Alternative Energy from Palm Oil and Oil Crop, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla Province, 90110, Thailand.

[2] T1 = Level of CGWVO 0%, T2 = Level of CGWVO 2%, T3 = Level of CGWVO 4%, T4 = Level of CGWVO 6%.

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

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

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

[4] CGWVO = 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 October, 2014).

5. การเก็บข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง

5.1 การเก็บตัวอย่างอาหาร

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารผสมครบส่วนทุกสัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วันติดต่อกัน ทั้งอาหารที่ให้ (เช้า–เย็น) และอาหารที่เหลือ (เช้า–เย็น) หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อ

นำมาหาค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง 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)

5.2 การชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลอง

ชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองเป็นจำนวน 3 ครั้งในแต่ละช่วงการทดลองคือครั้งที่ 1 ชั่งก่อนเข้างานทดลองเป็นช่วงก่อนเข้าระยะปรับสัตว์ทดลองช่วงการทดลองที่ 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 และศึกษาแนวโน้มการตอบสนองของการเพิ่มระดับ CGWVO ด้วยวิธี Orthogonal polynomial (Steel and Torrie, 1980)

7. สถานที่ทำการทดลอง และเก็บข้อมูล

1. หมวดแพะ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110
2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110
3. โรงผสมอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110
4. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110
5. โครงการสาธิตการผลิตไบโอดีเซล (เอสทิลเอสเตอร์) ด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

8. ระยะเวลาทำการวิจัย

ใช้เวลาทดลอง 1 ปี ตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2557 – เดือนกันยายน พ.ศ. 2558

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์

4.1. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (crude glycerin from waste vegetable oil, CGWVO)

4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

ตัวอย่าง CGWVO ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ “**โครงการสาธิตการผลิตไบโอดีเซล (เอสทิลเอสเตอร์) ด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริ**” ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของ CGWVO ที่ใช้ในการทดลอง (Table 4.1.1) CGWVO ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีแหล่งผลิตมาจากโรงงานผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) ขนาดเล็กซึ่งมีกำลังผลิต 3,000 ลิตรต่อเดือน และได้ผลพลอยได้กลีเซอรีนดิบประมาณ 600 ลิตรต่อเดือน (สัดส่วนไบโอดีเซล:กลีเซอรีนดิบ = 1:0.2) โดยวัตถุดิบที่ใช้มาจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (CGWVO) (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน, 2557) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) นำมาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification reaction) (Moser, 2009) หมายถึง กระบวนการของปฏิกิริยาเคมีที่มีการแทนที่หมู่แอลกอฮอล์ (alcohol) ในเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์อีกชนิดหนึ่ง โดยใช้เมทานอล (methanol) และใช้เบส (base) คือ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ หรือที่เรียกว่า methyl esters หรือน้ำมันไบโอดีเซล (petro-biodiesel) และกลีเซอรีนดิบ (crude glycerol) (Moser, 2009)

Table 4.1.1 Characterization and physicochemical parameter of crude glycerin from waste vegetable oil (CGWVO)

Items	Content	Notes
Information of crude glycerin[1]		
Source	Waste vegetable oil, (CGWVO)[1]	–
Biodiesel process	Transesterification	–
Reactant	Methanol (MeOH)	–
Catalyst agent	NaOH	–
Physical properties		
Visual evaluation	Light yellow, transparent	–
Color	L*= 19.97, a* = 22.33, b* = 28.68	[2] 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] CGWVO was obtained from Specialized Research and Development Center for Alternative Energy from Palm Oil and Oil Crop, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla Province, 90110, Thailand.

[2] 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)

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพของ CGWVO พบว่า CGWVO ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีลักษณะเป็นของเหลว (โปร่ง) ไม่ขุ่น มีสีน้ำตาลเข้ม (dark brown) (Figure 4.1.1) โดยมีค่าสี L*, a* และ b* เฉลี่ยเท่ากับ 19.97, 22.33 และ 28.68 ตามลำดับ (Table 4.1.1) มีกลิ่นหอมอ่อนๆ และมีกลิ่นฉุนของเมทานอลปานกลาง มีรสหวานเล็กน้อย ละลายได้ดีในน้ำ มีความหนืดเล็กน้อย ซึ่งค่าคุณสมบัติทางกายภาพของ CGWVO มีค่า L*, และ b* ต่ำกว่า แต่มีค่า a* สูงกว่ารายงานของ ปิ่น และคณะ (2556) ที่รายงานว่า กลีเซอรีนดิบจากโรงงานผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) ขนาดใหญ่ (มีกำลังการผลิตประมาณ 220,000 ลิตรต่อวัน วัตถุดิบที่ใช้มาจากน้ำมันปาล์มดิบ) มีค่าสี L*, a* และ b* เฉลี่ยเท่ากับ 32.43, 14.78 และ 43.76 ตามลำดับ

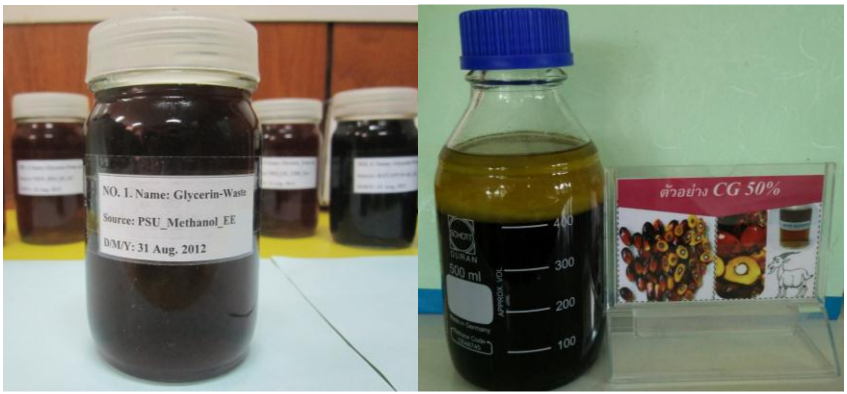


Figure 4.1.1 The color of CGWVO samples is very apparent[1]

[1] CGWVO was obtained from Specialized Research and Development Center for Alternative Energy from Palm Oil and Oil Crop, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla Province, 90110, Thailand.

อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรีนดิบขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิด และแหล่งที่มาของน้ำมัน หรือไขมัน กรรมวิธีการผลิตไบโอดีเซล (Thompson and He, 2006) ปริมาณเมทานอล กลีเซอรอล กรดไขมันอิสระ (FFA) และการปนเปื้อนของสารตกค้างต่างๆ ประกอบด้วยเถ้า โปรตีน ไขมัน น้ำ เกลือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม เป็นต้น (Donkin and Doane, 2007) โดยเฉพาะความหนืดจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของแข็งในกลีเซอรีนดิบ โดยเฉพาะโปรตีนจะมีผลต่อความหนืดมาก (ปิยนาฏ, 2547)

4.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรีนดิบ

ผลการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของ CGWVO ที่ใช้ในการทดลอง พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความชื้น เถ้ารวม โปรตีนรวม ไขมันรวม และพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 13.93%, 7.41%, 0.03%, 47.78% และ

6,290.83 kcal/kg ตามลำดับ (Table 4.1.2) และมีค่าเฉลี่ยของธาตุ Na, Ca และ P เท่ากับ 0.47, 0.0053 และ 0.0022% ตามลำดับ ขณะที่ Thompson and He (2006) รายงานว่า ค่าเฉลี่ยของกลีเซอรีนดิบที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (WVO) มีเถ้ารวม 5.55% โปรตีนรวม 0.23% ไขมันรวม 60.1% กลีเซอรอล 76.6%, Na 1.40% และพลังงานรวม 25,176± 193 kJ/kg หรือ 6,012.90 kcal/kg ตามลำดับ จากข้อมูลการศึกษาครั้งนี้พบว่า CGWVO มีค่าปริมาณไขมันรวม (47.78%) ระดับสูง และมีกลีเซอรอล 63.42% ซึ่งอาจสามารถนำมาทดแทนไขมัน หรือพลังงานในอาหารสัตว์ได้บางส่วน (Thompson and He, 2006)

Table 4.1.2 Characterization of CGWVO [1, 2]

Items	Content	Analytical method
Moisture, %	13.93	AOAC[3] method 984.20
Ash[4], %	7.41	AOAC method 942.05
Crude protein (CP), %	0.03	AOAC method 990.03
Ether extract (EE), %	47.78	AOAC method 920.39 (A)
Gross energy, kcal/kg	6,290.83	Adiabatic bomb calorimeter
Sodium (Na), %	0.47	AOAC methods 956.01, 9.15.01
Calcium (Ca), %	0.0053	AOAC method 2.019, 9.15.01
Phosphorus (P), %	0.0022	AOAC method 2.019, 2.095-7.098
Total glycerin, %	63.42	ASTM D 6584-00E01, titration assay (AOCS, 2006)
Methanol (CH_4O), %	4.38	GC/MS with head space technique, 973.23 (AOAC, 1995)
Free fatty acid (FFA), %	0.71	GC/MS with head space technique, 973.23 (AOAC, 1995)
pH	9.57	Orion 230A pH meter with 9107 BN probe, (ISO 12185)
MONG[5]	5.24	ISO 2464, ISO 2464-1973 (slightly modified)
Specific gravity, g/ml	1.07	AOCS (2006)
Viscosity (cs) at 40°C	11.75	Viscometer (MJ 800S), ASTM D445 (ASTM, 2006)

[1] CGWVO was obtained from Specialized Research and Development Center for Alternative Energy from Palm Oil and Oil Crop, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla Province, 90110, Thailand.

[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.

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

ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ ของ CGWVO ที่ใช้ในการทดลองพบว่า มีค่าเฉลี่ยของกลีเซอรีนรวมเท่ากับ 63.42% เมทานอล 4.38% กรดไขมันอิสระ 0.71% ค่าความกรด-ด่าง 9.57, MONG 5.24% ความถ่วงจำเพาะ 1.07 และค่าความหนืด 11.75 (Table 4.1.2) ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาของ Thompson and He (2006) อาจเนื่องจากส่วนประกอบทางโภชนะของกลีเซอรีนดิบขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ แหล่งของน้ำมันหรือไขมัน กรรมวิธีการผลิตไบโอดีเซล และปริมาณของแข็งในกลีเซอรีน (Thompson and He, 2006; Dasari, 2007) ซึ่งกลีเซอรีนดิบที่ศึกษาครั้งนี้ได้มาจากกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า transesterification และเมื่อ

พิจารณาคุณสมบัติความบริสุทธิ์ของ CGWVO ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า มีมาตราฐานความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีนดิบระดับต่ำ (low) สอดคล้องกับ Schröder and Südekum (1999); Hippen et al. (2008) ที่กล่าวว่า ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลสามารถแบ่งออกได้ 3 ระดับ คือ 1) ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลระดับต่ำ (low) มีกลีเซอรอล 63.3%, 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

อย่างไรก็ตาม ค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่ตกค้างในกลีเซอรีรอลดิบเป็นปัจจัยสำคัญที่จะนำมาพิจารณาก่อนที่จะนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ (animal feed) Gordan (2009) รายงานว่า สำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยา (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 ในกลีเซอรีนดิบที่ใช้ คือ ระดับ 150-10,000 mg/kg (0.015-1%) ซึ่งเป็นระดับมาตรฐานระดับ United States Pharmacopeia (USP) ของสหรัฐ (Donkin and Doane, 2007; Feedstuffs, 2007; Gordan, 2009) ซึ่งต่ำกว่าผลการศึกษาครั้งนี้ ที่ระดับเมทานอลใน CGWVO (4.38%) มากกว่าเกิน 1% ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ จึงนำ CGWVO มาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ทางเลือก เพื่อทดแทนวัตถุดิบพลังงานที่ขาดแคลน หรือมีราคาแพงได้ เช่น ข้าวโพด ปลายข้าว หรือรำข้าว เป็นต้น ในระดับต่ำ (0-6%) หรือมี methanol (CH_4O) เท่ากับ 0.113% โดยมีสมมุติฐานคือ ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพ หรือสุขภาพของสัตว์

4.2 การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจนในแพะ

4.2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารผสมเสร็จ (total mixed ration, TMR) ที่ใช้ในการทดลอง ที่ประกอบด้วยข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง หญ้าพลิแคททูลั่มแห้ง และ CGWVO ระดับต่างๆ (Table 4.2.1) พบว่ามีค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง (DM) เถ้ารวม (ash) อินทรียวัตถุ (OM) และโปรตีนหยาบ (CP) ใกล้เคียงกัน โดยมีโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 16.49-16.67% ขณะที่ ไขมัน (EE) และผนังเซลล์ (NDF) อยู่ในช่วง 1.95-6.06 และ 40.26-46.08% ค่าลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL) อยู่ในช่วง 18.13-19.36 และ 5.46-6.63% ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของ EE และ NDF และองค์ประกอบอื่นๆ อาจเนื่องมาจาก ความแตกต่างของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร และสัดส่วนที่ใช้ในสูตร โดยเฉพาะ CGWVO ที่ใช้ทดแทนข้าวโพดบดในการทดลองครั้งนี้ไม่มีองค์ประกอบสารเยื่อใย แต่มีปริมาณไขมันสูงทำให้ระดับไขมันในสูตรอาหารเพิ่มสูงขึ้นตามระดับ CGWVO ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร สอดคล้องกับรายงานของ Lage et al. (2014) ที่รายงานว่า องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรีนดิบที่มีปริมาณการปนเปื้อนของไขมันระดับสูงทำให้ไขมันในสูตรอาหารเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าพลิแคททูลั่มแห้งพบว่า หญ้าพลิแคททูลั่มแห้งมีวัตถุแห้ง 91.42% และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โภชนะบนฐานวัตถุแห้ง ประกอบด้วยอินทรียวัตถุ 92.85% โปรตีน

รวม 3.32% ไขมันรวม 0.51% เถ้า 7.15% คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง 9.26% ผนังเซลล์ 79.76% ลิกโนเซลลูโลส 51.03% ลิกนิน 8.96% เฮมิเซลลูโลส 28.73% และเซลลูโลส 42.07% ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุของหญ้าพลิแคททูลั่มแห้งในการศึกษาครั้งนี้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ จินดา และคณะ (2544); Chanjula et al. (2010, 2014a) ที่รายงานว่า หญ้าพลิแคททูลั่มแห้งที่อายุการตัด 45 วัน มีวัตถุแห้ง 89.17-91.53% อินทรียวัตถุ 91.44-91.62% และมีโปรตีนรวม 2.99-3.36% 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 4.2.1 Chemical composition of the experimental diets and plicatulum hay

Item	Dietary CGWVO (% of dietary DM)[1]				Plicatulum hay, PH
	0	2	4	6	
DM[2]	95.13	95.77	95.97	94.69	91.42
Ash	5.32	5.57	5.62	5.98	7.15
OM	94.68	94.43	94.38	94.02	92.85
CP	16.65	16.67	16.59	16.51	3.32
EE	1.95	3.61	4.71	6.06	0.51
NSC[3]	30.00	29.90	31.82	30.43	9.26
NDF	46.08	44.25	40.26	41.02	79.76
ADF	19.36	18.13	18.41	18.00	51.03
ADL	6.63	5.50	5.59	5.46	8.96
Hemicellulose[4]	26.72	26.12	22.85	23.02	28.73
Cellulose[5]	12.73	12.63	12.82	12.54	42.07

[1] Level of CGWVO in diets = 0%, 2%, 4%, 6% of CGWVO.

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

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

[4] Estimated: Hemicellulose = NDF-ADF.

[5] Estimated: Cellulose = ADF-ADL.

4.2.2 ปริมาณการกินวัตถุแห้งได้อย่างอิสระ และปริมาณการกินได้ของโภชนะจากอาหาร

จากการศึกษาผลของระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 2, 4 และ 6 % ตามลำดับ) ต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมด (วัตถุแห้ง) ทั้งที่คิดเป็นปริมาณเฉลี่ย (kg/d) และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (% BW) หรือกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก (g/kg $W^{0.75}$) ของแพะทุกกลุ่ม (Table 4.2.2) พบว่ามี

แตกต่างกัน (P<0.05) และมีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นโค้งกำลังสอง (Q, P=0.10, 0.01 และ <0.01 ตามลำดับ) โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 0, 2 และ 4% มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 6% (1.008 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน) ขณะที่ ระหว่างกลุ่ม 0, 2 และ 4% CGWVO ไม่แตกต่างกัน โดยปริมาณการกินได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 1.107–1.167 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน ทำนองเดียวกับปริมาณการกินได้ของโภชนะ (อินทรียวัตถุ โปรตีน ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส) พบว่ากลุ่มได้รับ CGWVO ระดับ 6% DM มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ ขณะที่ กลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 0, 2 และ 4% DM มีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) สอดคล้องกับรายงานของ Lage et al. (2014) ที่ศึกษาการใช้กลีเซอรีนดิบที่ปนเปื้อนไขมันระดับสูง (crude glycerin contaminated with high concentrations of crude fat, CGCCF; 36.2% CG และ 46.5% of crude fat) ในสูตรอาหารแกะขุนที่ระดับ 0, 3, 6, 9 และ 12% พบว่าสามารถใช้ CGCCF ในสูตรอาหารแกะขุนได้ที่ระดับ 3% โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแกะ แต่การเสริม CGCCF ระดับที่สูงมากกว่า 3% (6–12%) พบว่ามีผลกระทบต่อปริมาณการกินวัตถุแห้งได้อย่างอิสระ สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแกะลดลง ทำนองเดียวกับการศึกษาก่อนหน้านี้ของของ Pyatt et al. (2007); Parsons et al. (2009); Ramos and Kerley (2012) ที่พบว่าการเสริม CG ในโคขุนตอน (10%) และในโคขุนสาว (12–16%) ทำให้ปริมาณการกินได้ลดลง และโดยเฉพาะเมื่อเสริมกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จมากกว่า 20% ทำให้ปริมาณการกินได้ทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 4.2.2 Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on feed intake of goats

Item	Dietary CGWVO, %				SEM[2]	*P*–value Diet	Contrasts, *P*–value[1]		
	0	2	4	6			L	Q	C
DMI (kg/d)									
Total DMI, kg/d	1.107^{a}	1.167^{a}	1.146^{a}	1.008^{b}	0.02	0.05*	NS	0.10	NS
DMI, %BW	3.12^{a}	3.27^{a}	3.25^{a}	2.80^{b}	0.05	0.05*	0.05	0.01	NS
DMI, g/kg W$^{0.75}$	76.05^{a}	79.79^{a}	75.22^{a}	68.74^{b}	1.21	0.05*	0.04	<0.01	NS
OMI, kg/d	1.027^{a}	1.082^{a}	1.065^{a}	0.936^{b}	0.02	0.05*	NS	0.10	NS
CPI, kg/d	0.185^{a}	0.192^{a}	0.190^{a}	0.167^{b}	0.003	0.05	NS	NS	NS
NDFI, kg/d	0.557^{a}	0.588^{a}	0.576^{a}	0.505^{b}	0.01	0.05	NS	NS	NS
ADFI, kg/d	0.215^{ab}	0.217^{a}	0.208^{b}	0.186^{c}	0.002	0.05*	0.08	NS	NS

$^{a–c}$ 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] SEM = Standard error of the mean (n = 4).

ตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Musselman et al. (2008); Terré et al. (2011) พบว่าการเสริมกลีเซอรีนที่ระดับ 0–15% ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ในแกะ และ Gunn et al. (2010a); Chanjula et al. (2014a, 2015) ที่ศึกษาผลของระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0–20%) พบว่าระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จ 10–20% ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของแกะและแพะ ทำนองเดียวกับการศึกษาในโคขุน Mach et al. (2009) ที่รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีน (0–12%) ในโค Holstein bulls เป็นเวลา 91 วัน และ Bartoň et al. (2013) ที่รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีน (0–10%) ในอาหารโคขุนระยะเวลา 251 วัน ไม่มีผลต่อ

ปริมาณการกินได้ทั้งหมด สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของโคขุน ทำนองเดียวกับการศึกษาของ Chanjula et al. (2014b) พบว่าการเสริมกลีเซอรีนที่ระดับ 0–21% ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมด สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของโคขุน อาจเนื่องมาจาก การทดลองทั้งหมดก่อนหน้านี้ใช้กลีเซอรีนดิบ (CG) ที่มีปริมาณไขมัน และ methanol ต่ำกว่า 1% และมีกลีเซอรีนดิบมากกว่า 86% แต่ในการศึกษาครั้งนี้ CGWVO ที่ใช้มีปริมาณกลีเซอรีนดิบ ไขมันรวม และเมทานอลเท่ากับ 63.42, 47.78 และ 4.38% ตามลำดับ โดยเฉพาะระดับไขมันรวม และ methanol ที่สูง อาจเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมดของอาหาร ซึ่งระดับไขมันเพิ่มสูงขึ้นตามระดับ CGWVO ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (Table 4.2.1) และปริมาณไขมันที่มากกว่า 5% ในสูตรอาหารทั้งหมด อาจส่งผลต่อปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อยได้ กระบวนการหมัก และการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (bacterial growth) ในกระเพาะรูเมน สอดคล้องกับรายงานของ Palmquist and Jenkins (1980); NRC (2001) ที่กล่าวว่า โดยทั่วไปสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่ทนต่อระดับไขมันที่สูง และปริมาณการกินได้ลดลงถ้ามีปริมาณไขมันที่มากกว่า 5–7% ในสูตรอาหารทั้งหมด ดังนั้น CGWVO ที่มีระดับไขมันสูงมีผลทำให้ปริมาณการกินได้ทั้งหมด (วัตถุแห้ง) ของสัตว์ลดลง จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้ CGWVO ในสูตรอาหารแพะได้ที่ระดับ 0–4% โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมด (วัตถุแห้ง แต่ระดับที่สูงกว่า 4% มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้อย่างอิสระของแพะ

4.2.3 ความสามารถในการย่อยได้ และปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร

ผลของระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 2, 4 และ 6 % ตามลำดับ) ต่อสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ และปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหารของแพะ (Table 4.2.3) พบว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, OM, CP, NDF และ ADF) มีความแตกต่างกัน (P<0.05) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นโค้งกำลังสอง (Q, P= 0.02, 0.02, 0.05, 0.03 และ 0.03 ตามลำดับ) โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 2 และ 4% มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 6% ขณะที่ ระหว่างกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 0, 2 และ 4% ไม่แตกต่างกัน ส่วนสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ ash และ ADL ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ EE เพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้น (L, P= 0.04) สอดคล้องกับ Wang et al. (2009) ที่รายงานว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมกลีเซอรอลในอาหารระดับ 0–3.3% ในโคที่ได้รับพืชอาหารสัตว์เป็นหลัก ส่วนสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะที่ลดลงในกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 6% อาจเนื่องจากปฏิกิริยาร่วมของ CGWVO ที่มีปริมาณไขมันสูง และปริมาณไขมันที่มากกว่า 5–7% ในสูตรอาหารส่งผลต่อความสามารถในการย่อยได้ กระบวนการหมัก และการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (bacterial growth) ในกระเพาะรูเมน (Palmquist and Jenkins, 1980; NRC, 2001) นอกจากนี้ อาจเนื่องจาก กลีเซอรอลมีผลต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่ง Roger et al. (1992) ได้แสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโต การเกาะจับ และกิจกรรมการย่อยสลายเซลลูโลสของแบคที่เรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสในกระเพาะรูเมน (ruminal cellulolytic species) 2 ชนิดถูกยับยั้งเมื่อเสริมกลีเซอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อระดับสูง (0.05; v/v) แต่ไม่มีผลกับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรอลระดับต่ำ (<0.01; v/v) และ Paggi et al. (2004) พบว่ากิจกรรมการย่อยสลายเซลลูโลสในกระเพาะรูเมนลดลงตามระดับกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นในอาหารเลี้ยง

เชื้อ ดังนั้น จึงส่งผลให้การย่อยได้ของเยื่อใย การผลิตกรดอะซีติค และประชากรแบคทีเรียลดลง โดยเฉพาะกลุ่ม *Butyrivibrio fibrisolvens* และ *Ruminococcus albus* (Abo El–nor et al., 2010)

Table 4.2.3 Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on nutrient digestibility of goats

Item	Dietary CGWVO, %				SEM^{2}	*P*–value Diet	Contrasts, *P*–value^{1}		
	0	2	4	6			L	Q	C
Apparent total tract digestibility, %									
DM	72.79^{ab}	76.75^{a}	76.13^{a}	68.33^{b}	1.88	0.05	0.17	0.02	0.79
OM	75.01^{ab}	78.83^{a}	78.70^{a}	71.03^{b}	2.03	0.05	0.24	0.02	0.72
CP	76.09^{ab}	77.93^{a}	77.14^{a}	70.58^{b}	1.59	0.05	0.07	0.05	0.72
EE	69.90	75.41	76.22	76.94	1.96	0.14	0.04	0.29	0.64
Ash	44.07	49.98	44.07	42.07	2.29	0.18	NS	NS	NS
NDF	64.73^{a}	67.21^{a}	66.34^{a}	55.73^{b}	2.24	0.05	0.04	0.03	0.61
ADF	46.36^{ab}	51.37^{a}	48.05^{a}	39.33^{b}	2.38	0.05	0.07	0.03	0.82
ADL	27.53	26.57	26.03	22.29	1.76	0.26	NS	NS	NS
Digestible nutrient intake, kg/d									
DOM	0.768^{a}	0.852^{a}	0.837^{a}	0.655^{b}	0.02	0.05	0.05	<0.01	0.69
DCP	0.141^{a}	0.150^{a}	0.147^{a}	0.118^{b}	0.01	0.05	0.04	0.02	0.71
DNDF	0.360^{a}	0.393^{a}	0.382^{a}	0.279^{b}	0.18	0.05	0.01	<0.02	0.56
DADF	0.100^{a}	0.111^{a}	0.100^{a}	0.074^{b}	0.11	0.05	0.04	0.06	0.84
DEE	0.015^{c}	0.030^{b}	0.043^{a}	0.045^{a}	0.05	0.05*	<0.01	0.01	0.32
Estimated energy intake^{3}									
ME Mcal/d	2.92^{a}	3.24^{a}	3.18^{a}	2.49^{b}	0.45	0.05	0.05	0.01	0.70
ME Mcal/kg DM	2.64^{ab}	2.78^{a}	2.77^{a}	2.48^{b}	0.38	0.05	0.17	0.01	0.69

$^{a–b}$ 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] SEM = Standard error of the mean (n = 4).

[3] 1 kg DOM = 3.8 Mcal ME/kg (Kearl, 1982).

ทำนองเดียวกับปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร (DOM, DCP, DNDF และ DADF) พบว่า มีความแตกต่างกัน (P<0.05) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นโค้งกำลังสอง (Q, P= <0.01, 0.02, <0.02, และ 0.05 ตามลำดับ) โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 0, 2 และ 4% มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ CG 6% ขณะที่ ระหว่างกลุ่มควบคุม (0, 2 และ 4% CGWVO) ไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ของไขมันในอาหาร (DEE) พบว่า มีความแตกต่างกัน (P<0.05) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= <0.01) ตามระดับ CGWVO ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร อาจเนื่องจากได้รับไขมันเพิ่มขึ้นตามระดับ CGWVO ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ในทางตรงกันข้าม Wang et al. (2009) รายงานว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมกลีเซอรอลในอาหารระดับ 0–3.3% ในโคที่ได้รับพืชอาหารสัตว์เป็นหลัก และ Avila et al. (2013) ที่รายงานว่า การย่อยได้ในหลอดทดลอง (IVDMD) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรงเมื่อ

เสริมกลีเซอรอลระดับ 0-21% DM เมื่อทดแทนข้าวบาร์เลย์ในสูตรอาหารโคขุนที่มีระดับ 50% ข้าวบาร์เลย์ และ 50% ข้าวบาร์เลย์หมักเป็นอาหารหลัก ทำนองเดียวกับในแม่โคนม พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะของ DM, OM, N และ GE เพิ่มขึ้น ตามระดับกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (Donkin et al., 2009) ขณะที่ ไม่มีความแตกต่างกันของสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะของ DM, OM, N และ NDF ในแม่โคนม (Khalili et al., 1997) แต่เมื่อเสริมกลีเซอรอลร่วมกับกรดไขมันที่มาจากพืชจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของไขมัน และไม่มีผลเมื่อเสริมเฉพาะกลีเซอรอลอย่างเดียว (Khalili et al., 1997)

จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จของแพะ (0, 2 และ 4% ตามลำดับ) ไม่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการกินได้ทั้งหมด และปริมาณการกินได้ของโภชนะ (OMI, CPI, NDFI และ ADFI) แม้ว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะมีแนวโน้มลดลงเมื่อ ระดับ CGWVO ที่สูงมากกว่า 4% ในสูตรอาหาร จากการคำนวณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Mcal/d และ Mcal/kg ME) พบว่า มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นโค้งกำลังสอง (Q, P= 0.01 และ 0.01 ตามลำดับ) โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 2 และ 4% มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 6% ขณะที่ ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริม (0, 2 และ 4% CGWVO) ไม่แตกต่างกัน และมีค่าอยู่ในช่วง 2.64-2.77 Mcal/kg ซึ่งใกล้เคียงกับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่คำนวณ และเพียงพอต่อความต้องการของแพะเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (NRC, 1981)

4.2.4 ผลผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด

ผลของระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 2, 4 และ 6% ตามลำดับ) ต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (Table 4.2.4) การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือ pH ภายในกระเพาะรูเมนของแพะในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่าค่า ruminal pH ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของความเป็นกรด-ด่าง ค่อนข้างคงที่ (6.09-6.28) สอดคล้องกับการทดลองของ Abo El-nor et al. (2010) ที่รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีนไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง และเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic bacteria) (Russell and Wilson, 1996) และการย่อยของโปรตีน (6.0-7.0) (Hungate, 1969) อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยรวมมีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.9) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่า pH ตามช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร พบว่า ค่า rumen pH ลดต่ำลง (6.03-6.17) ในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) อาจเนื่องมาจาก เกิดกระบวนการหมักสูงสุดในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร สอดคล้องกับ Wang et al. (2009) ที่รายงานว่าค่าเฉลี่ยรวมของความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.05) เมื่อเสริมกลีเซอรอลทดแทนแป้งข้าวสาลีในอาหารข้นระดับ 0-3.3% ในโคเจาะกระเพาะที่ได้รับพืชอาหารสัตว์เป็นหลัก แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการย่อยสลายได้ของกลีเซอรอลเร็วกว่าแป้งข้าวสาลี

Table 4.2.4 Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on rumen fermentation of goats

Item	Dietary CGWVO, %				SEM[2]	*P*-value Diet	Contrasts, *P*-value[1]		
	0	2	4	6			L	Q	C
Ruminal pH									
0 h-post feeding	6.39	6.36	6.27	6.16	0.09	0.34	NS	NS	NS
4 h-post feeding	6.17	6.06	6.13	6.03	0.07	0.51	NS	NS	NS
Mean	6.28	6.21	6.20	6.09	0.17	0.22	0.09	NS	NS
NH_3-N, mg/dL									
0 h-post feeding	21.04	20.36	19.64	20.00	0.57	0.43	NS	NS	NS
4 h-post feeding	22.86^{a}	21.43^{ab}	21.43^{ab}	20.71^{b}	0.54	0.13	NS	NS	NS
Mean	21.95^{a}	20.89^{ab}	20.53^{ab}	20.36^{b}	0.39	0.05	NS	NS	NS
BUN, mg/dL									
0 h-post feeding	21.40	24.47	24.90	21.87	1.35	0.25	NS	NS	NS
4 h-post feeding	20.87^{b}	27.25^{a}	23.07^{b}	23.80^{b}	0.95	0.01	NS	0.02	0.05
Mean	21.18^{b}	25.86^{a}	23.98^{ab}	22.84^{ab}	0.89	0.05	NS	0.06	NS

[a–b] 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] SEM = Standard error of the mean (n = 4).

ค่าความเข้มข้นของระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) ภายในกระเพาะรูเมน พบว่าค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมนที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ยกเว้น โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO 6% ค่า NH_3-N ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ทำนองเดียวกับการศึกษาของ Wang et al. (2009) ที่รายงานว่า โคขุนกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนที่ระดับ 0-3.3% มีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลง ขณะที่ Abo El-nor et al. (2010) รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีนไม่มีผลต่อค่า NH_3-N สอดคล้องกับการศึกษาในโคเนื้อที่พบว่า มีแนวโน้มใกล้เคียงกันในกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนที่ระดับ 0%, 4%, 8% และ 12% (DM) (Mach et al., 2009) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ NH_3-N มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของ NH_3-N อยู่ในช่วง 20.36-22.32 (Table 4.2.4) และค่า NH_3-N ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม 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 กลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 0 และ 6% มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นโค้งกำลังสอง (Q, P= 0.06) อย่างไรก็ตาม มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ สอดคล้องกับ Lloyd (1982) รายงานว่า ระดับปกติของ BUN ในแพะอยู่ในช่วง 11.2-27.7 mg/dL 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)

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

ผลของระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 2, 4 และ 6% ตามลำดับ) ต่อค่ากลูโคส (glucose), BHBA และค่า PCV ในกระแสเลือดในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) (Table 4.2.5) แต่ที่ช่วงเวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร ค่ากลูโคสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในช่วง 75.37-79.38 mg/dl, 4.60-5.06 mg/dl และ 30.62-32.37% ตามลำดับ

อาจเนื่องจาก กลีเซอรีนเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส (Lin, 1977; Mourot et al. (1994) สอดคล้องกับรายงานของ Johns (1953); Wright, (1969); Rémond et al. (1993; Kijora et al. (1998) ที่พบว่ากรดโพรพิโอนิก (C_3) เพิ่มขึ้นทั้งการศึกษาใน in vitro และ in vivo โดยสัตว์เคี้ยวเอื้องใช้กรดโพรพิโอนิก 80-90% เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์น้ำตาลกลูโคส (Preston and Leng, 1987) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้กลูโคสในกระแสเลือดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติในแพะ 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) เป็นดัชนีที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้วินิจฉัยหรือประเมินความสมบรูณ์ของร่างกายแพะ และสุขภาพสัตว์เบื้องต้นว่า สัตว์มีความผิดปกติของเลือดหรือไม่ โดยหากค่า PCV ต่ำกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรคโลหิตจาง (anemia) ในทางตรงกันข้ามหากค่า PCV สูงกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรคโพลีซัยธีเมีย (polycythemia) ซึ่งเกิดจากการสร้างเม็ดเลือดแดงที่มากผิดปกติ (Jain, 1993)

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของระดับอินซูลิน (insulin) ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหารพบว่าพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แม้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นโค้งกำลังสอง (Q, P= 0.07) ตามระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ในช่วงเวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่า ค่าอินซูลินในกระแสเลือดมีความแตกต่างกัน (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO 0% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นโค้งกำลังสอง (Q, P= 0.04) ตามระดับ

CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 2, 4 และ 6% 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)

Table 4.2.5 Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on blood metabolites in goats

Item	Dietary CGWVO, %				SEM[2]	*P*–value Diet	Contrasts, *P*–value[1]		
	0	2	4	6			L	Q	C
Glucose, mg/dL									
0 h–post feeding	69.70	72.17	74.57	74.77	3.74	0.75	NS	NS	NS
4 h–post feeding	81.05	75.77	81.12	84.00	4.56	0.65	NS	NS	NS
Mean	75.37	73.97	77.72	79.38	3.78	0.75	NS	NS	NS
Insulin, μU/mL									
0 h–post feeding	1.87^{b}	4.99^{ab}	5.85^{a}	4.78^{ab}	0.91	0.05	NS	NS	NS
4 h–post feeding	3.14	7.28	10.34	7.10	2.11	0.22	0.09	0.07	NS
Mean	2.51^{b}	6.14^{ab}	8.10^{a}	5.94^{ab}	1.25	0.05	0.05	0.04	NS
BHBA, mg/dL									
0 h–post feeding	4.27	4.47	4.27	4.77	0.58	0.91	NS	NS	NS
4 h–post feeding	4.92	5.65	5.05	4.70	0.32	0.28	NS	0.07	NS
Mean	4.60	5.06	4.66	4.73	0.42	0.86	NS	NS	NS
PCV, %									
0 h–post feeding	32.50	31.00	31.75	33.25	1.02	0.49	NS	NS	NS
4 h–post feeding	31.75	31.25	29.50	31.50	0.93	0.38	NS	NS	NS
Mean	32.12	31.13	30.62	32.37	0.58	0.21	NS	NS	NS

[a–b] 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] SEM = Standard error of the mean (n = 4).

4.2.6 ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะรูเมน

ผลของระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 2, 4 และ 6% ตามลำดับ) ต่อค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acids, TVFAs) รวมทั้งระดับความเข้มข้นของกรดอะซีติค (acetic acid, C_2) กรดโพรพิออนิค (propionic acid, C_3) และกรดบิวทีริค (butyric acid, C_4) ในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม (Table 4.2.6)

Table 4.2.6 Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on volatile fatty acid profiles in goats

Item	Dietary CGWVO, %				SEM^{2}	*P*–value Diet	Contrasts, *P*–value^{1}		
	0	2	4	6			L	Q	C
Total VFA, mmol/l									
0 h–post feeding	61.60	65.02	63.83	56.70	2.76	0.25	NS	NS	NS
4	60.29	66.97	68.50	61.29	3.33	0.30	NS	0.06	NS
Mean	60.67	66.00	66.18	58.92	2.75	0.24	NS	0.08	NS
Proportion of individual VFA, %									
Acetate (C_2)									
0 h–post feeding	62.89	62.57	60.04	54.10	3.30	0.30	0.07	NS	NS
4	63.30	58.36	53.97	53.18	3.19	0.19	0.03	NS	NS
Mean	63.10^{a}	61.57^{a}	58.94^{ab}	53.44^{b}	1.58	0.02	0.01	NS	NS
Propionate (C_3)									
0 h–post feeding	22.36^{b}	23.68^{b}	26.30^{ab}	32.22^{a}	2.01	0.05	<0.01	NS	NS
4	21.03	25.19	31.69	27.50	4.49	0.46	NS	NS	NS
Mean	21.69^{c}	24.43^{bc}	29.00^{ab}	29.86^{a}	1.49	0.02	<0.01	NS	NS
Butyrate (C_4)									
0 h–post feeding	11.98	11.30	10.58	10.71	2.15	0.96	NS	NS	NS
4	13.46	14.19	11.84	16.58	1.95	0.44	NS	NS	NS
Mean	12.72	12.74	11.21	13.64	1.51	0.73	NS	NS	NS
Other VFA^{4}									
0 h–post feeding	2.75	2.44	3.05	2.98	0.29	0.50	NS	NS	NS
4	2.20	2.47	2.48	2.73	0.45	0.87	NS	NS	NS
Mean									
Acetate:propionate ratio									
0 h–post feeding	2.86^{a}	2.66^{ab}	2.37^{ab}	1.71^{b}	0.27	0.09	<0.01	NS	NS
4	3.06	2.53	1.90	2.18	0.37	0.24	0.09	NS	NS
Mean	2.96^{a}	2.60^{a}	2.14^{b}	1.95^{b}	0.13	0.05	<0.01	NS	NS

$^{a-b}$ 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] SEM = Standard error of the mean (n = 4).

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

จากการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดที่เวลา 0, 4 ชั่วโมงหลังจากให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมไม่มีความแตกต่างกัน (P<0.05) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นโค้งกำลังสอง (Q, P= 0.06 และ 0.08 ตามลำดับ) ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังจากให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 6% มีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจาก ปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ของอาหารกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ที่ระดับ 6% ต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ ทำนองเดียวกับรายงานของ Mach et al. (2009) ที่

รายงานว่า TVFAs ของโคเพศผู้กลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 8% มีแนวโน้ม (Q, P= 0.09) ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ (0, 4 และ 12% CG) เนื่องมาจาก ปริมาณการกินได้ของอาหารข้นเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสัดส่วนของกรดไขมันแต่ละตัวตามช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่ากรดอะซีติคที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร กรดบิวทีริค และกรดไขมันอื่นๆ (isobutyrate, isovalerate และ valerate) ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร แต่ค่าเฉลี่ยรวมของกรดอะซีติคพบว่า มีความแตกต่างกัน (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 6% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับ CGWVO 0 และ 2% แต่ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ระหว่างกลุ่มที่ CGWVO ระดับ 2, 4 และ 4% และมีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.01) ตามระดับ CGWVO ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0% CGWVO) ทำนองเดียวกับค่ากรดโพรพิออนิคพบว่า ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร แต่กรดโพรพิออนิค ที่เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่ามีความแตกต่างกัน (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO 6% มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ CGWVO ที่ระดับ 0 และ 2% แต่ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 4 และ 6% และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= <0.01) ตามระดับ CGWVO ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0% CGWVO)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ (acetate: propionate, C_2:C_3 ratio) พบว่าที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร แต่ที่เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่ามีความแตกต่างกัน (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 0% มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 6% แต่ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ 0, 2 และ 4% และมีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L, P= <0.01) ตามระดับ CGWVO ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0% CGWVO) โดยกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด กรดอะซิติค กรดโพรพิออนิค กรดบิวทีริค กรดไขมันอื่นๆ และสัดส่วนของของกรดอะซิติคต่อกรดโพรพิออนิคในการทดลองนี้มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 58.92–66.18 มิลลิโมลต่อลิตร 53.44–63.10, 21.69–29.86, 11.21–13.64, 2.20–2.73% ของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด และ 1.95–2.96 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 ซึ่งการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด มีความสัมพันธ์โดยตรงกับ

ความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ โดยถ้าหากความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้การผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้เพิ่มขึ้น (Sutton, 1985)

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)

4.2.7 จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนโดยวิธีการนับตรง

จากการทดลองนี้ พบว่าจำนวนประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราในกระเพาะรูเมนของแพะ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) และมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.90–2.20 x10^{10} และ 1.65–2.19 x10^{6} cell/ ml ตามลำดับ (Table 4.2.7) แต่มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรงตามระดับ CGWVO ที่เพิ่มขึ้น แม้ว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) และผลการทดลองครั้งนี้จำนวนประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อรามีค่าใกล้เคียงกับรายงานก่อนหน้านี้ของ Chanjula et al. (2007a, b) ที่รายงานว่า ประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยเพศผู้ (พื้นเมือง–แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.40–1.90 x10^{10} และ 1.15–2.89 x10^{6} cell/ ml ตามลำดับ และปิ่น และคณะ (2557) ที่รายงานว่า จำนวนประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราในกระเพาะรูเมนของแพะที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ (CG) ต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) และมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.89–2.23 x10^{10} และ 1.60–2.22 x10^{6} cell/ ml ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Bryant and Robinson (1961); Hungate (1966) ที่รายงานว่า ประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราในกระเพาะรูเมน มีค่าอยู่ในช่วง 10^{10}–10^{12} และ 10^{4}–10^{6} cell/ ml ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า อาหารที่มีระดับกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหาร ไม่มีผลต่อกระบวนการหมัก และนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนของแพะ หรือสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง แม้ว่ามีแนวโน้มประชากรแบคทีเรียและเชื้อราลดลงในกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 6% CGWVO 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* แต่จะยับยั้งเมื่อระดับกลีเซอรอลมีความเข้มข้นมากกว่า 5% ในสูตรอาหาร

Table 4.2.7 Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on rumen microbes in goats

Item	Dietary CGWVO, %				SEM[2]	*P*–value Diet	Contrasts, *P*–value[1]		
	0	2	4	6			L	Q	C
Total direct count									
Bacteria (x10^{10}cell/ml)									
0 h–post feeding	1.80	2.00	1.82	1.75	0.13	0.58	NS	NS	NS
4	2.59	2.13	2.09	2.05	0.17	0.18	NS	NS	NS
Mean	2.20	2.05	1.95	1.90	0.12	0.36	NS	NS	NS
Fungal zoospores (x10^{6} cell/ ml)									
0 h–post feeding	2.03	1.87	1.42	1.51	0.18	0.15	NS	NS	NS
4	2.34	2.08	1.83	1.80	0.21	0.34	NS	NS	NS
Mean	2.19	1.97	1.88	1.65	0.26	0.59	NS	NS	NS
Total Protozoa(x10^{6} cell/ml)									
0 h–post feeding	1.63	1.63	1.50	1.38	0.28	0.90	NS	NS	NS
4	2.13	2.25	1.83	1.60	0.40	0.58	NS	NS	NS
Mean	1.88	1.94	1.67	1.50	0.23	0.54	NS	NS	NS

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

* P < 0.001.

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

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

เมื่อพิจารณาประชากรโปรโตซัวทั้งหมดใน Table 4.2.7 พบว่าประชากรโปรโตซัวทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.50–1.94x10^{6} cell/ ml ซึ่งสอดคล้องกับ Hungate (1966) ที่รายงานว่า ประชากรโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนมีค่าอยู่ในช่วง 10^{4}–10^{6} cell/ ml และปิ่นและคณะ (2557) ที่รายงานว่า จำนวนประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราในกระเพาะรูเมนของแพะที่ได้รับกลีเซอรีนดิบ (CG) ต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) และมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.31–2.01x10^{6} cell/ ml ระหว่าง แต่มีค่าต่ำกว่ารายงานของ 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 และน้ำตาลที่

สามารถใช้ประโยชน์ได้ในสูตรอาหารตามระดับการเสริมกลีเซอรีนที่เพิ่มขึ้น เพราะกลีเซอรอลเกือบทั้งหมดถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดโพรพิออนิค (C_3) ภายในกระเพาะรูเมน (Garton et al., 1961; Bergner et al., 1995) ขณะที่แป้ง 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) ที่รายงานว่าการเจริญของโปรโตซัวเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีแป้ง 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)

4.2.8 ความสมดุลของไนโตรเจน (N balance) และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน

ผลของระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 2, 4 และ 6% ตามลำดับ) ต่อสมดุลของไนโตรเจน และปริมาณของไนโตรเจนที่กักเก็บไว้ได้ (Table 4.2.8) ปรากฏว่า ปริมาณการกินได้ของไนโตรเจนทั้งหมด (Total N intake) มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 6% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่ ปริมาณการขับไนโตรเจน (N excretion) ทั้งในรูปของการขับไนโตรเจนทางปัสสาวะ (Urinary N) ปริมาณการขับไนโตรเจนในมูล (Fecal N) และปริมาณการขับโตรเจนทั้งหมด (Total N excretion) ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$)

ทำนองเดียวกับค่าปริมาณการกักเก็บไนโตรเจนในร่างกาย (Retained N) และค่ากักเก็บไนโตรเจน (% of N intake) หรือประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (N efficiency) พบว่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 12.09-18.06 และ 44.80-59.04% ตามลำดับ ขณะที่ ค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (Absorbed N) และค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (% of N intake) พบว่ามีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 6% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อาจเนื่องมาจาก ปริมาณการกินได้ทั้งหมดของอาหารผสมเสร็จ ความสามารถในการย่อยได้ และปริมาณการกินได้ของโภชนะโปรตีนในอาหารแตกต่างกัน ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่แพะได้รับ มีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้อย่างอิสระ และความสามารถในการย่อยได้

Table 4.2.8 Effects of 0, 2, 4 and 6% dietary CGWVO on N balance of goats

Item	Dietary CGWVO, %				SEM^{2}	*P*–value Diet	Contrasts, *P*–value^{1}		
	0	2	4	6			L	Q	C
N balance, g/d									
Total N intake	29.72^{a}	30.86^{a}	30.47^{a}	26.86^{b}	0.60	0.05	NS	NS	NS
N excretion, g/d									
Fecal N	7.15	6.80	6.94	7.97	0.43	0.31	NS	NS	NS
Urinary N	7.00	7.61	5.47	6.80	1.58	0.80	NS	NS	NS
Total N excretion	14.16	14.41	12.41	14.77	1.91	0.82	NS	NS	NS
Absorbed N	22.57^{a}	24.06^{a}	23.53^{a}	18.89^{b}	0.85	0.05	0.05	0.02	NS
Retained N	15.56	16.45	18.06	12.09	2.12	0.32	NS	NS	NS
N output (% of N intake)									
Absorbed	76.09^{ab}	77.93^{a}	77.24^{a}	70.57^{b}	1.62	0.05	0.07	0.05	NS
Retained	52.25	52.49	59.04	44.80	6.57	0.54	NS	NS	NS

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

* P < 0.001.

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

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

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนมีค่าเป็นบวกในแพะทุกกลุ่ม แสดงให้เห็นว่าผลของระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 2, 4 และ 6% 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 แสดงให้เห็นว่าอาหารที่ใช้ระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จ (0, 2, 4 และ 6% ตามลำดับ) สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารสัตว์ได้ และสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี และเพียงพอต่อการดำรงชีพ โดยไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน สมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองระดับ CGWVO ระดับ 4% เป็นระดับที่เหมาะสมที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารสัตว์ได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของโภชนะ ปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน สมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนของสัตว์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษา ผลของกลีเซอรีนดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (crude glycerin from waste vegetable oil, CGWVO) ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจนของแพะ เพื่อจะนำไปสู่เป้าหมายในการพัฒนาเทคโนโลยีอาหารแพะ โดยอาศัยวัตถุดิบอาหารที่มีอยู่ในท้องถิ่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ จากการวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปการดำเนินการทดลองโดยรวมได้ ดังนี้

5.1 คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของ CGWVO

คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของ CGWVO พบว่า CGWVO ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีลักษณะเป็นของเหลว (โปร่ง) ไม่ขุ่น มีสีน้ำตาลเข้ม (dark brown) โดยมีค่าสี L*, a* และ b* เฉลี่ยเท่ากับ 19.97, 22.33 และ 28.68 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาคุณค่าทางโภชนาการของ CGWVO พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความชื้น เถ้ารวม โปรตีนรวม ไขมันรวม และพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 13.93%, 7.41%, 0.03%, 47.78% และ 6,290.83 kcal/kg ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยของธาตุ Na, Ca และ P เท่ากับ 0.47, 0.0053 และ 0.0022% ตามลำดับ และมีส่วนองค์ประกอบอื่นๆ ของ CGWVO พบว่ามีค่าเฉลี่ยของกลีเซอรีนรวมเท่ากับ 63.42% เมทานอล 4.38% กรดไขมันอิสระ 0.71% ค่าความกรด-ด่าง 9.57, MONG 5.24% ความถ่วงจำเพาะ 1.07 และค่าความหนืด 11.75

5.2 การศึกษาการย่อยได้ กระบวนการหมัก และสมดุลไนโตรเจนในแพะ

ผลของอาหารที่มีระดับ CGWVO ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0, 2, 4 และ 6 % ตามลำดับ) ตามลำดับ) พบว่าสามารถใช้ CGWVO ในสูตรอาหารแพะได้ที่ระดับ 0-4% 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 โดยกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ที่ระดับ 0% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 4% แต่ไม่มีความแตกต่างกันในกลุ่มที่ได้รับ CGWVO ระดับ 2, 4 และ 6% ขณะที่ สมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนมีค่าเป็นบวกในแพะทุกกลุ่ม

จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้ CGWVO เป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารแพะได้ที่ระดับ 0-4% โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของโภชนะ ปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน สมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน แต่ระดับ CGWVO ที่สูงกว่า 4% มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้อย่างอิสระ การย่อยได้ของโภชนะ และปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหารของแพะ

อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาผลของอาหารที่มีระดับ CGWVO ในสูตรอาหารแพะขุน หรือแพะรีดนม ในระยะต่างๆ ในสภาวะการเลี้ยงของเกษตรกร ต่อไป โดยเฉพาะผลต่อคุณภาพซาก เนื้อ และน้ำนม เป็นต้น

บทที่ 6

เอกสารอ้างอิง

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

กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ กรมปศุสัตว์. 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.

ฉลอง วชิราภากร. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

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

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.

ปิ่น จันจุฬา, พัชรินทร์ ภักดีฉนวน และ สุธา วัฒนสิทธิ์. 2556. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องผลของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ กระบวนการหมัก สมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ. ภาควิชาสัตวศาสาตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

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

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี่พลับบลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

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

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

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

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน. 2557. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดที่ใช้แล้ว. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

สายัณห์ ทัดศรี. 2548. หญ้าอาหารสัตว์และหญ้าพื้นเมืองในประเทศไทย. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

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.

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).

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.

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.

AOCS. 2006. Official Methods and Recommended Practices of AOCS, 5th Edition. The American Oil Chemists Society, Urbana, IL.

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.

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.

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.

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

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.

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.

Chanjula, P., P. Pakdeechanuan and S. Wattanasit. 2014a. Effects of Dietary Crude Glycerin Supplementation on Nutrient Digestibility, Ruminal Fermentation, Blood Metabolites, and Nitrogen Balance of Goats. Asian Australas. J. Anim. Sci. 27:365-374.

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

Chanjula, P., S. Yimmongkol, T. Raungprim, S. Poonko, S. Majarune and W. Maitreejet. 2014b. Performance and carcass traits of beef steers fed crude glycerin in the diet. In: Proceedings of the 16th AAAP Animal Science Congress Vol. II, 10-14 November 2014, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia. pp. 881-884.

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.

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. 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. 2003. 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Lage, J. F., P. V. R. Paulino, L. G. R. Pereira, M. S. Duarte, S. C. Valadares Filho, A. S. Oliveira, N. K. P. Souza and J. C. M. Lima. 2014. Carcass characteristics of feedlot lambs fed crude glycerin contaminated with high concentrations of crude fat. Meat Sci. 108-113.

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.

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.

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.

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.

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.

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

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.

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

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.

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

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.

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

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 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.

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

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.).

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.

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.

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.

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.

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

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.).

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.

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.

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. 1993. Digestion and synthesis in the rumen of sheep given diets supplemented with free and protected oils. Br. J. Nutr. 49: 419–432.

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.

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.

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.

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.

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.

ภาคผนวก ก

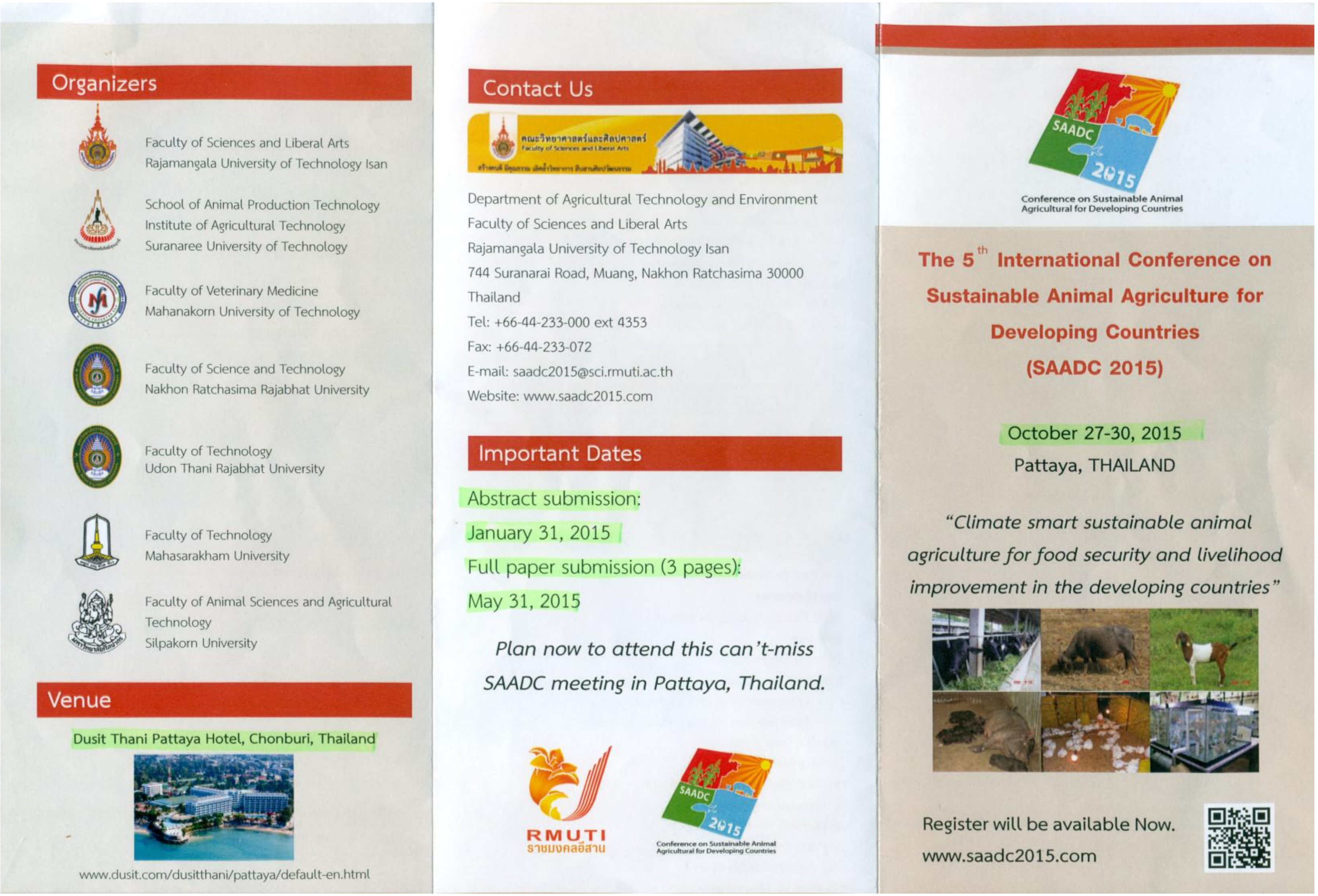
เอกสารงานวิจัยภายใต้โครงการที่ได้รับการตีพิมพ์ และที่ได้รับการนำเสนอในการประชุมสัมมนาระดับประเทศและ/ หรือนานาชาติ

1. การนำเสนอในการประชุมสัมมนาระดับนานาชาติ

1. Chanjula, P, S. Pongprayoon and S. kongpan. 2015. Feed intake and serum metabolite of goats fed crude glycerin from waste vegetable oil. In: Proc. the 5th International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries Pattaya, Chonburi, Thailand, 27th – 30th October, 2015. (Accepted to presentation type: oral presentation, June 27th – 30th October. (ดังเอกสารแนบ).

2. ผลงานวิจัยที่อยู่ระหว่างการนำเสนอเพื่อตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

1. Chanjula, P, S. Pongprayoon and S. kongpan. 2015. Effects of crude glycerin form waste vegetable oil supplementation on nutrient digestibility, ruminal fermentation, blood metabolites, and nitrogen balance of goats. (Submitted to Small Ruminant Research 22 Jul 2015). (ดังเอกสารแนบ).



Organizers

Faculty of Sciences and Liberal Arts
Rajamangala University of Technology Isan

School of Animal Production Technology
Institute of Agricultural Technology
Suranaree University of Technology

Faculty of Veterinary Medicine
Mahanakorn University of Technology

Faculty of Science and Technology
Nakhon Ratchasima Rajabhat University

Faculty of Technology
Udon Thani Rajabhat University

Faculty of Technology
Mahasarakham University

Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology
Silpakorn University

Venue

Dusit Thani Pattaya Hotel, Chonburi, Thailand

www.dusit.com/dusitthani/pattaya/default-en.html

Contact Us

Department of Agricultural Technology and Environment
Faculty of Sciences and Liberal Arts
Rajamangala University of Technology Isan
744 Suranarai Road, Muang, Nakhon Ratchasima 30000
Thailand
Tel: +66-44-233-000 ext 4353
Fax: +66-44-233-072
E-mail: saadc2015@sci.rmuti.ac.th
Website: www.saadc2015.com

Important Dates

Abstract submission:
January 31, 2015
Full paper submission (3 pages):
May 31, 2015

Plan now to attend this can't-miss SAADC meeting in Pattaya, Thailand.

RMUTI
ราชมงคลอีสาน

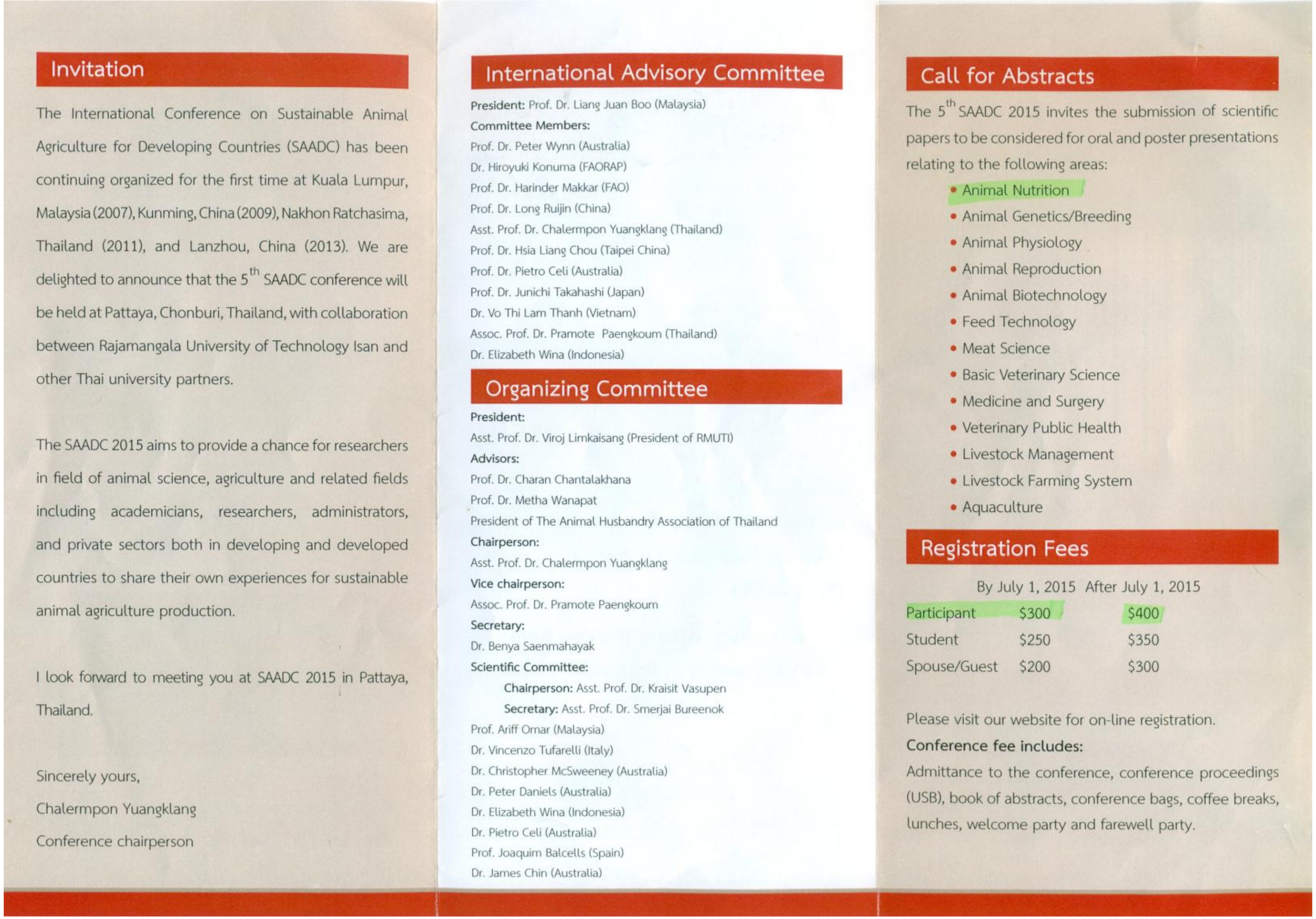
Conference on Sustainable Animal Agricultural for Developing Countries

The 5th International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries (SAADC 2015)

October 27-30, 2015
Pattaya, THAILAND

"Climate smart sustainable animal agriculture for food security and livelihood improvement in the developing countries"

Register will be available Now.
www.saadc2015.com



Invitation

The International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries (SAADC) has been continuing organized for the first time at Kuala Lumpur, Malaysia (2007), Kunming, China (2009), Nakhon Ratchasima, Thailand (2011), and Lanzhou, China (2013). We are delighted to announce that the 5th SAADC conference will be held at Pattaya, Chonburi, Thailand, with collaboration between Rajamangala University of Technology Isan and other Thai university partners.

The SAADC 2015 aims to provide a chance for researchers in field of animal science, agriculture and related fields including academicians, researchers, administrators, and private sectors both in developing and developed countries to share their own experiences for sustainable animal agriculture production.

I look forward to meeting you at SAADC 2015 in Pattaya, Thailand.

Sincerely yours,

Chalermpon Yuangklang

Conference chairperson

International Advisory Committee

President: Prof. Dr. Liang Juan Boo (Malaysia)

Committee Members:

Prof. Dr. Peter Wynn (Australia)
Dr. Hiroyuki Konuma (FAORAP)
Prof. Dr. Harinder Makkar (FAO)
Prof. Dr. Long Ruijin (China)
Asst. Prof. Dr. Chalermpon Yuangklang (Thailand)
Prof. Dr. Hsia Liang Chou (Taipei China)
Prof. Dr. Pietro Celi (Australia)
Prof. Dr. Junichi Takahashi (Japan)
Dr. Vo Thi Lam Thanh (Vietnam)
Assoc. Prof. Dr. Pramote Paengkoum (Thailand)
Dr. Elizabeth Wina (Indonesia)

Organizing Committee

President:

Asst. Prof. Dr. Viroj Limkaisang (President of RMUTI)

Advisors:

Prof. Dr. Charan Chantalakhana
Prof. Dr. Metha Wanapat
President of The Animal Husbandry Association of Thailand

Chairperson:

Asst. Prof. Dr. Chalermpon Yuangklang

Vice chairperson:

Assoc. Prof. Dr. Pramote Paengkoum

Secretary:

Dr. Benya Saenmahayak

Scientific Committee:

Chairperson: Asst. Prof. Dr. Kraisit Vasupen
Secretary: Asst. Prof. Dr. Smerjai Bureenok

Prof. Ariff Omar (Malaysia)
Dr. Vincenzo Tufarelli (Italy)
Dr. Christopher McSweeney (Australia)
Dr. Peter Daniels (Australia)
Dr. Elizabeth Wina (Indonesia)
Dr. Pietro Celi (Australia)
Prof. Joaquim Balcells (Spain)
Dr. James Chin (Australia)

Call for Abstracts

The 5th SAADC 2015 invites the submission of scientific papers to be considered for oral and poster presentations relating to the following areas:

- Animal Nutrition
- Animal Genetics/Breeding
- Animal Physiology
- Animal Reproduction
- Animal Biotechnology
- Feed Technology
- Meat Science
- Basic Veterinary Science
- Medicine and Surgery
- Veterinary Public Health
- Livestock Management
- Livestock Farming System
- Aquaculture

Registration Fees

	By July 1, 2015	After July 1, 2015
Participant	$300	$400
Student	$250	$350
Spouse/Guest	$200	$300

Please visit our website for on-line registration.

Conference fee includes:

Admittance to the conference, conference proceedings (USB), book of abstracts, conference bags, coffee breaks, lunches, welcome party and farewell party.

Feed intake and serum metabolite of goats fed crude glycerin from waste vegetable oil

Chanjula, P[1], S. Pongprayoon[1] & S. kongpan[1]
[1]Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, 90110, Thailand

Abstract: This study aimed to evaluate the effects of crude glycerin from waste vegetable oil (CGWVO) supplementation on feed intake, blood metabolites, and hormone concentrations of goats. Four-Thai Native x Anglo Nubian crossbred growing male goats with an average body weight of 31.5±1.9 kg were randomly assigned according to a 4x4 Latin square design with four consecutive 21-d periods. Treatment diets contained 0, 2, 4, and 6% of dietary DM of CGWVO. Goats were fed unlimited amounts (*ad libitum*) as a total mixed ration (TMR). Based on this experiment, there was no significant difference ($p>0.05$) among treatment groups regarding daily DMI (total DMI, % BW, and g/kg $BW^{0.75}$), except DMI of goat fed 6% of CGWVO in the diets which was the lowest ($p<0.05$) as compared with other treatments. The blood glucose, BHBA and packed cell volume (PCV) were similar among treatments ($p>0.05$), whereas plasma insulin was significantly ($p<0.05$) higher as higher levels of CGWVO were incorporated into diets. The data suggest that CGWVO (63.42% of glycerol, 4.38% methanol, and 47.78% of crude fat) may be used in diets of goats with concentrations up to 4% without negative effects on feed intake and blood.

Keywords: By-product, crude glycerin, waste vegetable oil, serum metabolite, goat.

Introduction

Recent increases in biofuel production have led to increasing prices of traditional feedstuffs that make livestock producers search for alternative feeds to lower production costs without sacrificing animal performance. Recent efforts have evaluated the effects of the inclusion of crude glycerin (above 86% of glycerol and <0.64% of methanol) in diets on intake, digestibility, performance, carcass, and meat quality traits of sheep with reporting of acceptable inclusion of 21% and 15% respectively on diet dry matter (Gunn et al., 2010; Avila-Stagno et al., 2013). However, a limit number of studies have evaluated the effects of crude glycerin form waste vegetable oil (CGWVO) contaminated with high crude fat and methanol contents in diets fed to goats. This study hypothesized that CGWVO containing 63.42% of glycerol, 47.78% of crude fat, and 4.38% of methanol in dry matter (DM) basis may be used as an energy source in diet of goats at concentrations up to 6% on DM basis without compromising feed intake and serum metabolite. Thus, the objectives of this study were to evaluate the effects of CGWVO (containing 63.42% of glycerol, 47.78% of crude fat, and 4.38% of methanol in DM basis) on feed intake, blood metabolites, and hormone concentrations in goats.

Materials and Methods

Four male crossbred (Thai Native x Anglo Nubian) goats, about 18 months old and 31.5±1.9 kg body weight, were randomly assigned according to a 4x4 Latin square design to investigate the effects of CGWVO on feed intake and blood metabolites. The 4 corn-based dietary treatments consisted of 0, 2, 4, and 6% of CGWVO (DM basis) were formulated to be isonitrogenous and isocaloric to meet or exceed the requirements of growing goats. The CGWVO used in this study originated from waste vegetable oils of palm, soybean, rice bran and sunflower. CGWVO was produced by methylic route contained 63.42% of glycerin, 13.93% of water, 0.47% of sodium, 47.78% of crude fat, and 4.38% of methanol obtained from Specialized Research and Development Center for Alternative Energy from Palm Oil and Oil Crop, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Thailand. CGWVO from single batch was added to the total mixed ration (TMR) as liquid.

All goats were kept individually in pens (0.50x1.20m) under well-ventilated sheds where water and mineral salt were available at all time. The experiment was conducted for 4 periods, and each period lasted for 21 days. During the first 14 d of each period, all animals were fed by respective diets for *ad libitum* intake, whereas during the last 7 d, the animals were moved to metabolism crates for total collection during the time goats with restriction to 90% of the previous voluntary feed intake to ensure total feed intake. Feeds were provided twice times in two equal portions daily at 0800 and 1600 h. For determination of daily DMI, refusals were collected and weighed daily before feeding. Feed samples obtained each time were oven dried at 60°C for 72 h and grounded to pass through a 1-mm sieve, and composited by period on an equal weight basis, and analyzed for DM, ether extract, ash, CP content (AOAC, 1995). Goats were individually weighed before the morning feeding at the beginning and end of each experimental period. At the end of each period, blood samples (about 10 mL) were collected from a jugular vein into tubes containing 12 mg of EDTA. Plasma was separated by centrifugation at 2500×*g* for 15 min at 5 ^{o}C and stored at −20 °C until analysis. Plasma glucose, insulin, BHBA, and packed cell volume (PCV) were measured by using commercial kits (No. 640, Sigma Chemical Co., St. Louis, USA). All data were subjected to the analysis of variance using Proc. GLM and treatment means were compared using Duncan's New Multiple Range Test.

Results and Discussion

The results showed that (Table 1) overall mean feed intakes (total DMI, %BW, and g/kgW0.75) were similar for all treatments (p>0.05), except DMI of goat fed 6% of CGWVO in the diets which was the lowest (p<0.05) as compared with other treatments. The results of this study were in agreement with a study by Lage et al. (2014) reported DM intakes particularly decreased when fed diets containing different contents of crude glycerin contaminated with high concentrations of crude fat and methanol (up to 12% of DM) to finishing lambs. In the present study, CGWVO had 63.42% of glycerin, 47.78% of crude fat, and 4.38% of methanol. The greater concentration of lipid in diets of animals fed diets with the higher concentration of CGWVO was likely to be the main factor that contributed for a reduction of dry matter intake. Ruminant animals are relatively intolerant to high concentrations of fat and feed intake usually decrease as fat content of the diets exceeds 6% DM basis (Palmquist and Jenkins, 1980). Thus, the association of CGWVO with higher content of crude fat in diets decreased the DMI by the animals.

Table 1. Effects of 0, 2, 4, and 6% dietary CGWVO on feed intake of goats

Item	Dietary CGWVO, %				SEM
	0	2	4	6	
Total DMI, kg/d	1.107^{a}	1.167^{a}	1.146^{a}	1.008^{b}	0.02
DMI, %BW	3.12^{a}	3.27^{a}	3.25^{a}	2.80^{b}	0.05
DMI, g/kg $W^{0.75}$	76.05^{a}	79.79^{a}	75.22^{a}	68.74^{b}	1.21
BW change, kg/d	0.135	0.130	0.142	0.105	0.02
BW change, %	8.27	7.80	8.63	5.95	1.61

$^{a-b}$Means within rows followed with different superscript letters are statistically different (p<0.05).
SEM = Standard error of the mean (n = 4).

No significance (p>0.05) of CGWVO inclusion was detected for blood glucose, BHBA, and PCV (Table 2), and all were within the normal range of 50-75 mg/dL and 22-38 mg/dl, respectively (Jain, 1993). The plasma insulin was lower for the diet 0% of CGWVO than for the diets 4% of CGWVO, while the difference between the diets 2%, 4% and 6% of GC were not significant. Our results showed that goats fed diets containing glycerin (4%) had higher DMI and BW change, a finding that was associated to a tendency for higher insulin levels. However, it remains unclear whether this was due to the dietary treatment. However, insulin concentrations were not correlated with glucose concentrations. Circulating insulin concentrations usually corresponds to change in circulating glucose concentrations (Jenny and Polan, 1975). However, insulin secretion is a result of many factors, and some case has been shown to have a low correlation with blood glucose concentrations (McAtee and Trenkle, 1971). Although insulin secretion responds to circulating glucose concentrations, a lag between increased concentrations of glucose and insulin is often reported (Lake et al., 2006), whereas Gunn et al. (2010) reported that insulin concentrations also increased linearly relative to time of sampling around feeding ($P<0.001$). Based on the experimental data, substituting corn grains with CGWVO (63.42% of glycerin, 47.78% of crude fat, and 4.38% of methanol.) up to 4% of DM in the diets of goats had no effect on feed intake and blood metabolites. It could be effectively used as an alternative energy source to substitute for cereals in the diets. Thus, in the case of a competitive price, CGWVO may be effectively used as a partial energy source in the diets of goats.

Table 2. Effects of 0, 2, 4, and 6% dietary CGWVO on blood metabolites in goats

Item	Dietary CGWVO, %				SEM
	0	2	4	6	
Glucose, mg/dL	75.37	73.97	77.72	79.38	3.78
Insulin, µU/mL	2.51^{b}	6.14^{ab}	8.10^{a}	5.94^{ab}	1.25
BHBA, mg/dL	4.60	5.06	4.66	4.73	0.42
PCV, %	32.12	31.13	30.62	32.37	0.58

$^{a-b}$Means within rows followed with different superscript letters are statistically different ($p<0.05$).
SEM = Standard error of the mean (n = 4).

References

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

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.

Gunn, P. J., A. F. Schultz, M. L. Van Emon, M. K. Neary, R. P. Lemenager, C. P. Rusk and S. L. Lake. 2010. 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.

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

Jenny, B. F. and C. E. Polan. 1975. Postprandial blood glucose and insulin in cows fed high grain. J. Dairy Sci. 58:512-514.

Lage, J. F., P. V. R. Paulino, L. G. R. Pereira, M. S. Duarte, S. C.Valadares Filho, A. S. Oliveira, N. K. P. Souza and J. C. M. Lima. 2014. Carcass characteristics of feedlot lambs fed crude glycerin contaminated with high concentrations of crude fat. Meat Sci. 96:108-113

Lake, S. L., E. J. Scholljegerdes, D. M. Hallford, G. E. Moss, D. C. Rule and B. W. Hess. 2006. Effects of body condition score at parturition and postpartum supplemental fat on metabolite and hormone concentrations of beef cows and their suckling calves. J. Anim. Sci. 84:1038-1047.

McAtee, J. W. and A. Trenkle. 1971. Metabolic regulation of plasma insulin levels in cattle. J. Anim. Sci. 33:438-442.

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

Submissions Being Processed for Author pin chanjula, Ph.D.

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Display 10 ▼ results per page.

⊞ Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Status Date	Current Status
Action Links View Submission	Rumin-D-15-7057	Effects of crude glycerin from waste vegetable oil supplementation on feed intake, ruminal fermentation characteristics, and nitrogen utilization of goats	22 Jul 2015	28 Jul 2015	Under Review

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Display 10 ▼ results per page.

Elsevier Editorial System(tm) for Small Ruminant Research
Manuscript Draft

Manuscript Number: Rumin-D-15-7057

Title: Effects of crude glycerin from waste vegetable oil supplementation on feed intake, ruminal fermentation characteristics, and nitrogen utilization of goats

Article Type: Research Paper

Keywords: By-product, Crude glycerin from waste vegetable oil, Ruminant, Goat

Corresponding Author: Dr. pin chanjula, Ph.D.

Corresponding Author's Institution: Prince of Songkla University

First Author: pin chanjula, Ph.D.

Order of Authors: pin chanjula, Ph.D.; Sahutaya Pongprayoon, B,Sc,; Sirichai kongpan, B.Sc.; Anusorn Cherdthong, Ph.D.

Manuscript Region of Origin: THAILAND

Abstract: This experiment was an evaluation for the effects of increasing concentrations of crude glycerin from waste vegetable oil (CGWVO) in diets on feed intake, digestibility, ruminal fermentation characteristics, and nitrogen balance of goats. Four male crossbred (Thai Native�Anglo Nubian) goats, with an average initial weight of 31.5+1.90 kg, were randomly assigned according to a 4�4 Latin square design with four of 21 days consecutive periods. Treatments diets contained 0, 2, 4, and 6% of dietary DM of CGWVO. Based on this experiment, there were significant differences ($P>0.05$) among treatment groups regarding DM intake and digestion coefficients of nutrients (DM, OM, CP, EE, NDF, and ADF) which goats receiving 6% of CGWVO had lower daily DMI and nutrient intake than those fed on 0, 2, and 4% of CGWVO. Ruminal pH, NH3-N, and BUN concentration were unchanged by dietary treatments, except for 6% of CGWVO, NH3-N, and BUN were lower ($P<0.05$) than for the diets 0% of CGWVO while the difference between the diets 0, 2, and 4% of CGWVO were not significant. The amounts of N absorption and retention were similar among treatments, except for 6% of CGWVO which N absorption was lower ($P<0.05$) than among treatments while the difference between the diets 0, 2, and 4% of CGWVO were not significant. Based on this study, CGWVO levels up to 4% in total mixed ration could be efficiently utilized for goats. This study was a good approach in exploiting the use of biodiesel production for goat production.

Highlights

- Feeding CGWVO at 4% DM did not adversely affect on intake, digestibility, rumen fermentation and N utilization.
- Increasing CGWVO at 6% DM was slightly lower DMI, digestibility, and N utilization.
- CGWVO can be included in diet up to 4% DM.
- CGWVO are attractive for goat diets which may constitute an economical and effectively used as an alternative energy source.

*Manuscript (latest version)
Click here to view linked References

Effects of crude glycerin from waste vegetable oil supplementation on feed intake, ruminal fermentation characteristics, and nitrogen utilization of goats

P. Chanjula[1*], S. Pongprayoon[1], S. Kongpan[1], A. Cherdthong[2]

[1]Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla 90112, Thailand

[2]Tropical Feed Resources Research and Development Center (TROFREC), Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

[*]Corresponding Author: Tel +66-74-558805; Fax: +66-74-558805

E-mail address: pin.c@psu.ac.th (P. Chanjula)

[*]Supported in part by a grant from Prince of Songkla University.

Abstract

This experiment was an evaluation for the effects of increasing concentrations of crude glycerin from waste vegetable oil (CGWVO) in diets on feed intake, digestibility, ruminal fermentation characteristics, and nitrogen balance of goats. Four male crossbred (Thai Native×Anglo Nubian) goats, with an average initial weight of 31.5±1.90 kg, were randomly assigned according to a 4×4 Latin square design with four of 21 days consecutive periods. Treatments diets contained 0, 2, 4, and 6% of dietary DM of CGWVO. Based on this experiment, there were significant differences ($P>0.05$) among treatment groups regarding DM intake and digestion coefficients of nutrients (DM, OM, CP, EE, NDF, and ADF) which goats receiving 6% of CGWVO had lower daily DMI and nutrient intake than those fed on 0, 2, and 4% of CGWVO. Ruminal pH, NH_3-N, and BUN concentration were unchanged by dietary treatments, except for 6% of CGWVO, NH_3-N, and BUN were lower ($P<0.05$) than for the diets 0% of CGWVO while the difference between the diets 0, 2, and 4% of CGWVO were not significant. The amounts of N absorption and retention were similar among treatments, except for 6% of CGWVO which N absorption was lower ($P<0.05$) than among treatments while the difference between the diets 0, 2, and 4% of CGWVO were not significant. Based on this study, CGWVO levels up to 4% in total mixed ration could be efficiently utilized for goats. This study was a good approach in exploiting the use of biodiesel production for goat production.

Keywords: By-product, Crude glycerin from waste vegetable oil, Ruminant, Goat

1. Introduction

Because of rising corn costs, alternative feed sources such as glycerin or glycerol ($HOCH_2CH(OH)CH_2OH$) have become a major focus for the livestock production (Südekum, et al., 2008). Crude glycerin (CG) is the main co-product generated in the production of biodiesel resulting from the formation of methyl esters of fatty acids from triglycerides. Most biodiesel feedstocks are derived from vegetable oils, first-use animal fats and waste greases (Thompson and He, 2006). Rapid growth in biofuel production of Thailand has led to increasing feedstocks of CG with a subsequent price reduction making glycerin a potential high energy feed source for ruminants (Avila-Stagno et al., 2011; Françozo et al., 2013). CG has been widely reported to be a viable energy source for cattle (Parsons et al., 2009; Mach et al., 2009; Ramos and Kerley, 2012; Hales et al., 2013), sheep (Gunn et al., 2010a,b), and goats (Chanjula et al., 2014, 2015). The inclusion of glycerin in ruminant diets modifies the ruminal acetate: propionate ratio due to the increase of propionate levels (Drouillard, 2008). Similarly, AbuGhazaleh et al. (2011) reported that CG was an appealing byproduct in feedlot diets because it was primarily converted to propionate in the rumen and act as a precursor for glucose synthesis. Recent efforts had evaluated the effects of the inclusion of CG (above 86% of glycerol) in diets on feed intake, performance, carcass, and meat quality traits of sheep with acceptable inclusion of 15%, 21%, and 12% DM, respectively (Avila-Stagno et al., 2013; Gunn et al., 2010a; Meale et al., 2013). Most of the CG used in those studies were derived from vegetable oils (first-use oil) of castor bean, soybean, cottonseed, sunflower, rapeseed, canola, and palm oil.

At present, a limit number of studies have evaluated the effects of CG originated from waste vegetable oils (CGWVO) that (second-use oil) contaminated with high crude fat contents in diets fed to animal diets. Thompson and He (2006) mentioned that nutritional data generated for the glycerin of the first-use oil samples showed that it was mostly carbohydrate and could reasonably be mixed with high protein meal and used as a feed supplement. They also observed that giving the higher fat content of CGWVO could be used as a supplement for energy or fat in animal diets particularly in goats. Authors hypothesized that CGWVO containing 63.42% of glycerol and 47.78% of crude fat in dry matter (DM) basis might be used as an energy source in diet of goats at concentrations up to 6% on DM basis without compromising intake, digestibility, rumen fermentation, nitrogen balance of goats. Therefore, the objectives of this study were to evaluate the effects of CGWVO on feed intake, digestibility, ruminal fermentation characteristics, and nitrogen utilization while establishing an optimal feeding amount in goat fed diets containing corn grain.

2. Materials and Methods

All procedures involving animals were approved by the Ethical Principles for the Use of Animals for Scientific Purposes of the National Research Council of Thailand (NRCT) for the metabolism study and finishing study.

2.1. Animals, treatments, and experimental design

Four male crossbred (Thai Native x Anglo Nubian) goats at ages about 12 months old and 31.5±1.90 kg body weight (BW) were randomly assigned according to a 4x4 Latin square design to investigate the effects of CGWVO on feed intake, digestibility, ruminal fermentation characteristics, and nitrogen utilization. The dietary treatments consisted of 0, 2, 4, and 6% of CGWVO (DM basis) by replacing corn grain that were formulated to be isonitrogenous at 16% DM of CP and isocaloric at 2.7 Mcal/kg DM (on a ME basis) to meet or exceed the NRC (1981) requirements of a growing goats. The ingredients and determined chemical composition of the components of each diet are presented in Table 1. The CGWVO used in this study originated from waste vegetable oils of rice bran, soybean, palm oil, and sunflower. CGWVO was produced by methylic route and obtained from the Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla Province, Thailand. The composition of the CGWVO is presented in Table 2.

All goats were kept individually in ventilated pens under well-ventilated sheds where water and mineral salt were available at all the time. The experiment was conducted for 4 periods, and each period lasted for 21 days. During the first 14 d of each period, all animals were fed the respective diets for *ad libitum* intake, whereas during the last 7 d, the animals were moved to metabolism crates for total collection. During the experimenting time, goats were restricted to 90% of the previous voluntary feed intake to ensure total feed intake. Feeds were provided twice times in two equal portions daily at 0800 and 1600 h. For determination of daily DMI, refusals were collected and weighed daily before feeding.

2.2. Data collection and sampling procedures

Feed samples obtained each time were oven dried at 60°C for 72 h and grounded to pass through a 1-mm sieve using a Cyclotech Mill (Tecator, Sweden), and composited by period on an equal weight basis for further analysis. Goats were individually weighed before the morning feeding at the beginning and end of each experimental period. Urine and fecal samples were collected from the total collection of each individual goat on each treatment during the last 7 days of each period in the morning and at afternoon feeding. Composited samples were dried at 60°C, grounded (1-mm screen using Cyclotech Mill, Tecator), and analyzed for DM, ether extract, ash, CP content (AOAC, 1995), and NDF, ADF and ADL (Van Soest et al., 1991). NDF was analyzed without α-amylase, and the value of NDF and ADF were expressed inclusive of residual ash. Non-fibrous carbohydrate (% in the DM) was calculated as: 100 − (CP + NDF + ether extract + ash) (Mertens, 1997). Digestion coefficients were calculated. Urine samples were analyzed for urinary N using the Kjeldahl procedure described by the AOAC (1995) and were calculated for N utilization.

At the end of each period, ruminal fluid was collected from all goats by using a stomach tube at 0 and 4 h-post feeding during the digestibility trial. This was strained through 4 layers of cheese cloth and pH was measured immediately by using a pH meter (HANNA instruminalts HI 98153 microcomputer pH meter, Singapore) fitted with a combined electrode. The ruminal fluid was then acidified with 3 mL of 1 M H_2SO_4 added to 30 mL of ruminal fluid. The mixture was centrifuged at 16,000×*g* for 15 min, and the supernatant was stored at −20°C before NH_3-N analysis by using the micro-Kjeldahl methods (AOAC, 1995) and VFA analysis by using HPLC (Samuel et al., 1997). The concentration of methane production was calculated from VFA composition according to Moss et al. (2000) as: CH_4 production = 0.45(acetate) - 0.275(propionate) + 0.4(butyrate).

Blood samples (about 10 mL) were collected from a jugular vein (at the same time as ruminal fluid sampling) into tubes containing 12 mg of EDTA, and plasma was separated by centrifugation at 2500×*g* for 15 min at 5 °C and stored at −20 °C until analysis. Plasma urea nitrogen, plasma glucose, insulin, BHBA, and packed cell volume (PCV) were measured by using commercial kits (No. 640, Sigma Chemical Co., St. Louis, USA). On the last day of each period, the goats were removed from the metabolism crates and transported to their individual pens for the adaptation of the next diet.

2.3. Statistical analysis

Statistical analyses were performed by using the GLM procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Data were analyzed by using the model $Yijk = \mu + M_i + A_j + P_k + \varepsilon_{ijk}$,where Y_{ijk} = observation from animal *j*, receiving diet *i*, in period *k*; μ = the overall of mean; M_i = the mean effect of CGWVO concentration ($i = 1, 2, 3, 4$); A_j = the effect of animal ($j = 1, 2, 3, 4$);

P_k = the effect of period (k = 1, 2, 3, 4); and ε_{ijk} = the residual error. Treatment means were statistically compared by the New Multiple Range Test of Duncan (Steel and Torrie, 1980) to identify differences between means. Significant differences were declared if $P<0.05$. Orthogonal polynomial contrasts were used to estimate the effect of CGWVO supplement level.

3. Results and Discussion

3.1 Chemical composition of feeds

The ingredients and chemical compositions of the experimental diets and CGWVO are presented in Table 1 and Table 2. Experimental diets contained similar concentrations of DM, OM, CP, NFC, ADF, and ADL but varying amount of EE and NDF among those diets. Diets were formulated to be 16% CP (DM basis). Slightly greater concentrations of CP in DM offered may have been greater than expected CP levels in some ingredients (Table 1). Amount of EE had a slightly higher as the level of CGWVO increased in the diets, ranging from 1.95-6.06%, whereas NDF content decreased as proportion of CGWVO in diets increased due to feeding less corn grain, ranging from 40.26 to 46.08% DM, respectively. The differences among concentrate mixed diets in EE and NDF concentrations can be related to differences in the ingredients used in diet formulation (Table 1) especially a high content of EE in CGWVO (47.78%) (Table 2). The CGWVO used in the present digestion trial was produced from waste vegetable oils contained 63.42% of glycerin, 47.78% of EE or fat, 0.47% of sodium, 4.38% of methanol, and less other compounds. The potential problematic compound in CGWVO is methanol. Methanol toxicity in humans and animals is characterized by central nervous system depression, weakness, headache, vomiting, metabolic acidosis and optic disc oedem with the clinical consequences being blindness and/or Parkinsonian-like motor disease (Dorman et al., 1993). Methanol concentration can vary widely according to the manufacturing processes and should be monitored. However, the high-risk to health associated to methanol consumption due to inclusion of CG in diets of ruminant animals is not expected since methanol is naturally produced in the ruminal environment as a result of pectin digestion (Pol and Demeyer, 1988). These authors had demonstrated that a continuous infusion of methanol (1 mol L^{-1}) at a rate of 10 mL h^{-1} into the rumen of ovine was completely converted to methane. Moreover, based on the experimental data, no goats demonstrated clinical symptoms of methanol toxicity in the present study even though the diet with 6% of CGWVO would contain 0.113% methanol which assumed that all methanol in the CGWVO remained in the feed.

3.2. Intake and nutrient digestibility

The effects of CGWVO substitution of corn grain in the diets on feed intake and apparent digestibility of goats are presented in Table 3 and 4. Overall mean feed intakes for the four diets in terms of total DMI (%BW and g/kg $BW^{.75}$), OMI, CPI, NDFI, and ADFI were significantly affected ($P<0.05$) by levels of CGWVO; goats receiving 6% of CGWVO had lower daily DMI (%BW and g/kg$BW^{.75}$) and nutrient intake (OMI, CPI, NDFI, and ADFI) than those fed on 0, 2, and 4% of CGWVO. Similar to this study, the research by Lage et al. (2014) also reported DMI and performance were not altered when lambs were fed concentrate containing of CG with high fat and methanol (46.5% of lipids and 8.7% of methanol) up to 3% DM basis, but a linear decreased in DMI and performance when CG increased from 6 to 12% DM. Likewise, nutrient (DM, OM, CP, NDF, and ADF) digestibility was affected ($P>0.05$) by inclusion of CGWVO in the diets; goats receiving 6% of CGWVO had lower nutrient digestibility than other those fed on 0, 2, and 4% of CGWVO. Whilst apparent digestibilities of EE when feeding CGWVO tended to be greater in EE digestibility when compared to diets in which CGWVO replaced by corn, but the difference was not statistically significant. Probably, as a result of higher EE intake as levels of CGWVO increase a in the diets compared with the diets with 0% of expected CGWVO. This is supported by previous studies (Pyatt et al., 2007; Parsons et al., 2009; Ramos and Kerley, 2012). Most of the studies regarding the evaluation of inclusion of CG in diets of ruminant animals (Mach et al., 2009; Avila-Stagno et al., 2013) had used CG with concentrations of fatty acids and methanol lower than 1%. In the present study CGWVO had 47.78% of lipids and 4.38% of methanol. However, the high-risk to health associated to methanol consumption due to inclusion of CG in diets of ruminant animals was not expected since methanol was naturally produced in the ruminal environment as a result of pectin digestion (Pol and Demeyer, 1988; Tudisco et al., 2015). These authors had demonstrated that a continuous infusion of methanol (1 mol L^{-1}) at a rate of 10 mL h^{-1} into the rumen of ovine was completely converted to methane.

The greater concentration of lipid in diets with the higher concentration of CGWVO was likely to be the main factor that contributed for a reduction of DMI and nutrient digestibility. Ruminant animals are relatively intolerant to high concentrations of fat and feed intake usually decrease as fat content of the diets exceeds 6% DM basis (Palmquist and Jenkins, 1980; NRC, 2001; Landau et al., 2008). The study observed that EE content had 6.06% in diet containing concentration 6% of CGWVO higher than 4% of CGWVO. Lipids represent a potential stimulator of cholecystokinin (which is an appetite suppressant through the gastric emptying inhibition (Moran and McHugh, 1982). High lipid diets increase plasma levels of cholecystokinin while the decrease of passage rate of the digesta increases the reticulo-rumen distention leading to a stimulation of cholecystokinin receptors in these gastrointestinal compartments (Allen, 2000) reducing appetite consequently. According to Czerkawski (1972), the fatty acids may reduce the nutrient digestibility in the ruminal environment and thus reduce the dry matter intake. Jenkins (1993) reported that inclusion of lipids in ruminant diets could negatively affect the NDF digestibility and animal performance. Moreover, glycerol supplementation affects negatively the digestion of the more fibrous fraction of the feed (Schroder and Sudekum, 1999; Südekum, et al., 2008; Krueger et al., 2010). Thus, the association of CGWVO with higher content of crude fat in diets decreased the DMI and digestibility by the animals. Indeed, substituting corn with high levels of glycerin was reported to adversely affect ruminal fermentation through reducing fiber digestion, acetate production, and bacterial populations (Abo El-Nor et al., 2010). However, the study remains unclear whether this was due to the dietary treatment. Moreover, Roger et al. (1992) demonstrated that introducing glycerol to the ruminal environment reduced cellulolytic activity of ruminal bacteria. Paggi et al. (2004) also reported that digestibility of other substrates in the diet might be inhibited with the inclusion of glycerol in an *in vitro* environment.

3.3. Ruminal fermentation characteristics and methane production

Ruminal parameters were measured for pH and NH_3-N. In addition, BUN was determined to investigate the relationship with ruminal NH_3-N and protein utilization. The patterns of ruminal fermentation are given in Table 5. Ruminal pH and NH_3-N were not changed by dietary treatments in this study, indicating no specific effect of the inclusion of CGWVO, except for 6% of CGWVO, NH_3-N was lower ($P<0.05$) than for the diets 0% of CGWVO. The difference between the diets 0, 2, and 4% of CGWVO were not significant. Similarly, Wang et al. (2009) reported that supplementing steers with glycerol (200 or 300 g/d) had a tendency to decrease pH and NH_3-N content ($p = 0.05$ and $p = 0.03$, respectively). The decrease in NH_3-N in the ruminal of CGWVO might be the reduction of proteolytic activity of ruminal microorganisms, which Paggi et al. (1999) revealed that adding CG reduced proteolytic activity by 20% when concentrations of CG in the medium. However, ruminal pH in the present study was within the optimum range for cellulolytic bacteria activity (Russell and Wilson, 1996) and also digestion of protein (6.0-7.0). Concentration of ruminal NH_3-N was higher than 5 mg%, which is the optimal level of NH_3-N for microbial protein synthesis in mixed culture in a close system (Satter and Slyter, 1974). Moreover, the ruminal NH_3-N concentrations in all animals were closer to optimal ruminal NH_3-N (15-30 mg%, Perdok and Leng, 1990) for improving microbial protein synthesis and digestibility and feed intake. Conversely, the lack of effects of CG inclusion on pH and NH_3-N was reported when diet containing different contents of glycerin to lambs (Abo El-Nor et al., 2010) and beef cattle (Mach et al., 2009). Likewise, BUN concentrations were similar among treatments, except for 2% of CGWVO when BUN was higher ($P<0.05$) than for the diets 0% of CGWVO, while the differences among the diets 0, 2, and 4% of CGWVO were not significant with ranging from 20.18 to 25.86 mg/dL. This was close to the optimal level in normal goats which had been reported in the range of 11.2 to 27.7 mg/dL (Lloyd, 1982).

The effects of the treatment diets on VFA profiles are presented in Table 4. No differences were found on mean total ruminal VFA concentration, molar proportions of butyrate, and other VFA (isobutyrate, isovalerate, valerate, and caproate) whereas molar proportions of acetate and propionate were affected ($P<0.05$) by CGWVO level. The molar proportion of acetate linearly decreased (p, L = 0.05) whereas propionate was linearly increased (p, L = 0.01) with increasing CGWVO supplementation. In consequence, the ratio of acetate to propionate was linearly reduced and was the lowest with the 6% of WVO relative to the 0% of WVO diet similar among other diets. In agreement to these results, previous studies (DeFrain et al., 2004; Trabue et al., 2007) had reported that animals supplemented with glycerol had greater ruminal molar proportions of propionate with a decreased ratio of acetate to propionate than non-supplemented animals. This is likely that CGWVO underwent ruminal fermentation to propionate is similar to a fermentable carbohydrate source. Previous studies had showed that glycerol was mostly fermented into propionate (Bergner et al., 1995). Additionally, drenching cows with 1 kg of glycerol (Linke et al., 2004) or supplementing steers with glycerol (200 or 300 g/d; Wang et al., 2009) had been shown to increase ruminal propionate relative to control (no glycerol). The increase in propionate formation from the fermented glycerol used in this study may have offset any reduction in propionate. Moreover, the reduction in the molar proportion of acetate and acetate to propionate ratio was probably due to the reduction in NDF digestibility (Tudisco et al., 2014, 2015). Several studies reported that reduction in NDF digestibility has also mentioned reductions in acetate concentration and acetate to propionate ratio (Ribeiro et al., 2005; Castillejos et al., 2006; Abo El-Nor et al., 2010). Likewise, CH_4 production was linearly decreased (p, L = 0.01) with increasing CGWVO supplementation. The change of CH_4 concentration in the rumen is consistent with the reduced acetate: propionate when feeding CGWVO. Similarly, Lee et al. (2011) reported a reduction of the A:P ratio with an associated reduction in *in vitro* CH_4 production after the supplementation of alfalfa hay and corn grain with glycerin. Lee et al. (2011) suggested that although the fermentation of glycerin did not necessarily result in the formation of a H_2 sink, glycerin was be able to promote a shift in carbohydrate fermentation from the production of acetate to propionate. The shifting might affect the overall electron balance in the ruminal and reduce the availability of hydrogen for methane formation.

3.4. Nitrogen utilization

Whole body N data are presented in Table 7. Total N intake and total N excretion in terms of fecal and urinary N were similar (P>0.05) between control diet and CGWVO inclusion in diets, except for 6% of CGWVO, total N intake was lower (P<0.05) than among treatments. The difference among the diets 0, 2, and 4% of CGWVO were not significant.

This pattern of fecal and urine excretion is indicative of the extremely high N intake for goats fed diets containing of CGWVO. This could be explained by the fact that excess ruminal NH_3-N was absorbed and excreted in the urine in the form of urea (Nolan, 1993). Additionally, Cronje (1992) found that inadequate energy reduced the percentage of N retention in goats fed adequate levels of protein, and that N recycling increased as the supply of energy increased.

Likewise, the amount of N absorption and retention were similar among treatments except for 6% of CGWVO, N absorption was lower ($P<0.05$) than among treatments while the difference between the diets 0, 2, and 4% of CGWVO were not significant. It is now well established that N retention depends on the intake of N or amount of fermentable carbohydrate of the diet (Sarwar et al., 2003; Calabrò et al., 2012). In this regard, however, the positive N balance observed in this study indicated the positive influence of different CGWVO replacement of corn grain in the diets with TMR based feeding of goats. Although the differences in the quantity and routes of N excretion with consequent influences on N retention could reflect treatment feed differences in N metabolism, in which N retention was considered as the most common index of the protein status of ruminants (Owens and Zinn, 1988). Data from the present study indicated that up to 4% of CGWVO could be fed in a TMR without negatively affecting feed intake, digestibility, nitrogen balance, and animal performance.

4. Conclusion

Based on the results of this experiment, substituting corn grain with CGWVO up to 4% of DM in the diets of goats had no effect on feed intake, apparent digestibility, ruminal fermentation patterns, and N utilization when compared to control group. However, increasing CGWVO levels at 6% DM would result more in a slightly lower daily DMI, apparent digestibility, and N utilization than in those goats fed on 0 to 4% of CGWVO. Thus, in the case of competitive price, CGWVO may be effectively used as an alternative energy source to substitute for cereals in the diets of goats. Further research and long-term studies should be conducted to validate the effects of supplementing of CGWVO on growth performance, carcass characteristics, and meat quality in finishing goats to determine the optimal feeding rates in dairy goats.

Acknowledgments

The authors would like to express their most sincere gratitude and appreciation to the Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University for financial support of this research (Project no. NAT5122020031S).

References

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

AbuGhazaleh, A. A., Abo El-Nor, S., Ibrahim, S. A., 2011. The effect of replacing corn with glycerol on ruminal bacteria in continuous culture fermenters. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 95, 313–319.

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

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

Avila-Stagno, J., Chaves, A. V., Hernandez-Calva, L. M., Beauchemin, K. A., McGinn, S. M., Wang, Y., Harstad, O. M., McAllister, T. A., 2011. Effects of replacing barley grain in feedlot diets with increasing levels of glycerol on in vitro fermentation and methane production. Anim. Feed Sci. Technol. 166–167, 265–268.

Avila-Stagno, J., Chaves, A. V., He, M. L., Harstad, O. M., Beauchemin, K. A., McGinn, S. M., McAllister, T. A., 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.

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

Calabrò, S., Guglielmelli, A., Iannaccone, F., Danieli, P.P., Tudisco, R., Ruggiero, C., Piccolo, C., Cutrignelli, M.I., Infascelli, F., 2012. Fermentation kinetics of sainfoin hay with and without PEG. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 95, 842–849.

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

Chanjula, P., Pakdeechanuan, P., Wattanasit, S., 2014. Effects of dietary crude glycerin supplementation on nutrient digestibility, ruminal fermentation, blood metabolites, and nitrogen balance of goats. Asian Australas. J. Anim. Sci. 27, 365-374.

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

Cronje, P. B., 1992. Differences in nitrogen and urea metabolism between goats bred for fibre production (Angora goat) or meat production (Boer goat). S. Afr. J. Anim. Sci. 22, 143-148.

Czerkawski, J. W., 1972. Fate of metabolic hydrogen in the rumen. Proc. Nutr. Soc. 31, 141–146.

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

Drouillard, J. S., 2008. Glycerin as a feed for ruminants: Using glycerin in high concentrate diets. J. Anim. Sci. 86(E-Suppl.2), 392 (Abstract).

Dorman, D. C., Dyy, J. A., Nassise, M. P., Ekuta, J., Bolon, B., Medinsky, M. A., 1993. Acute methanol toxicity in mini pigs. Fundam. Appl. Toxicol. 20, 341–347.

Françozo, M. C., Prado, I. N., Cecato, U., Valero, M. V., Zawadzki, F., Ribeiro, O. L., Prado, R. M., Visentainer, J. V., 2013. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of finishing bulls fed crude glycerine-supplemented diets. Braz. Arch. Biol. Technol. 56, 327–336.

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

Gunn, P. J., Schultz, A. F., Van Emon, M. L., Neary, M. K., Lemenager, R. P., Rusk, C. P., Lake, S. L., 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.

Hales, K. E., Bondurant, R. G., Luebbe, M. K., Cole, N. A., MacDonald, J. C., 2013. Effects of crude glycerin in steam-flaked corn-based diets fed to growing feedlot cattle. J. Anim. Sci. 91, 3875–3880.

Jenkins, T. C., 1993. Lipid metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 76, 3851–3863.

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

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

Lage, J. F., Paulino, P. V. R., Pereira, L. G. R., Duarte, M. S., Valadares Filho, S. C., Oliveira, A. S., Souza, N. K. P., Lima, J. C. M., 2014. Carcass characteristics of feedlot lambs fed crude glycerin contaminated with high concentrations of crude fat. Meat Sci. 96, 108–113.

Landau, S., Giger-Reverdin, S., Rapetti, L., Dvash, L., Dorléans, M., Ungar, E.D., 2008. Data mining old digestibility trials for nutritional monitoring in confined goats with aids of fecal near infra-red spectrometry. Small Rumin. Res. 77, 146–158.

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

Linke, P. L., DeFrain, J. M., Hippen, A. R., Jardon, P. W., 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.

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

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

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

Moran, T. H., McHugh, P. R., 1982. Cholecystokinin suppresses food intake by inhibiting gastric emptying. Am. J. Physiol. 242, 491–497.

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

Nolan, J. V., 1993. Nitrogen kinetics. In: Quantitative Aspecta of Ruminant Digestion and Metabolism. (Ed. R. C. Gutteridge and H. M. Shelton). CAB International, Willingford, UK. pp. 123-143.

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

NRC., 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Edition. National Academy Press, Washington, DC., USA.

Owens, F.N., Zinn, R., 1988. Protein metabolism of ruminant animals. In: The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition Church, D.C., editor Waveland Press Inc., Prospect Hights, IL, USA.

Paggi, R. A., Fay, J. P., Faverin, C., 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.

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

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

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

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

Pol, A., Demeyer, D. I., 1988. Fermentation of methanol in the sheep rumen. Appl. Environ. Microbiol. 54, 832–834.

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

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

Ribeiro, C.V.D.M., Karnati, S. K. R., Eastridge, M. L., 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., Fonty, G., Andre, C., Gouet, P., 1992. Effects of glycerol on the growth, adhesion, and cellulolytic activity of ruminal cellulolytic bacteria and anaerobic fungi. Curr. Microbiol. 25, 197-201.

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

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

Sarwar, M., Khan, M.A., Nisa, M., 2003. Nitrogen retention and chemical composition of urea treated wheat straw ensiled with organic acids or fermentable carbohydrate. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 16, 1583-1592.

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

Südekum, K.-H., Schröder, A., Fiebelkorn, S., Schwer, R., Thalmann, A., 2008. Quality characteristics of pelleted compound feeds under varying storage conditions as influenced by purity and concentration of glycerol from biodiesel production. J. Anim. Feed Sci. 17, 120–136.

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

Tudisco, R., Calabrò, S., Cutrignelli, M.I., Moniello, G., Grossi, M., Mastellone, V., Lombardi, P., Pero, M.E., Infascelli, F., 2015. Genetically modified soybean in a goat diet: Influence on kid performance. Small Rumin. Res. 126, 67–74.

Tudisco, R., Grossi, M., Calabrò, S., Cutrignelli, M.I., Musco, N., Addi, L., Infascelli, F., 2014. Influence of pasture on goat milk fatty acids and Stearoyl-CoA desaturase expression in milk somatic cells. Small Rumin. Res. 122, 38–43.

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

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

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

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

Table 1.

Ingredient proportion and chemical composition of the experimental diets.

	Dietary CGWVO, % DM			
Item	T1	T2	T3	T4
Ingredients, %				
CGWVO[1]	0.00	2.00	4.00	6.00
Ground corn	43.00	41.00	39.00	37.00
Soybean meal	20.93	21.56	21.83	22.78
Fish meal	1.00	1.00	1.00	1.00
Leucaena leave meal	4.87	4.24	3.50	3.02
Plicatulum hay	25.00	25.00	25.00	25.00
Molasses	3.50	3.50	3.97	3.50
Salt	0.20	0.20	0.20	0.20
Dicalcium phosphate	0.30	0.30	0.30	0.30
Urea	0.20	0.20	0.20	0.20
Mineral and vitamin mix[2]	1.00	1.00	1.00	1.00
Analyzed nutrient content[3], % DM				
DM[4]	95.13	95.77	95.97	94.69
Ash, %DM	5.32	5.57	5.62	5.98
OM, %DM	94.68	94.43	94.38	94.02
CP, %DM	16.65	16.67	16.49	16.51
EE, %DM	1.95	3.61	4.71	6.06
NFC, %DM	30.00	29.90	32.92	30.43
NDF, %DM	46.08	44.25	40.26	41.02
ADF, %DM	19.36	18.13	18.41	18.00
ADL, %DM	6.63	5.50	5.59	5.46
ME*, Mcal/kg DM	2.65	2.66	2.67	2.67

[1] Contained 63.42% glycerol, 13.93% water, 0.47% sodium, and 4.38% methanol (Colorless, odorless, viscous liquid obtained from Specialized Research and Development Center for Alternative Energy from Palm Oil and Oil Crop, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla Province, 90110, Thailand.

[2] Minerals and vitamins mixs (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] Based on analysis of composite feed sample.

[4] DM = Dry matter; OM = Organic matter; CP = Crude protein; EE = Ether extract; NFC = Non-fiber carbohydrate; NDF = Neutral detergent fiber; ADF = Acid detergent fiber; ADL = Acid detergent lignin; 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).

Table 2.

Physical–chemical composition of crude glycerin from waste vegetable oil (CGWVO[1, 2]) included in the experimental diets.

Items	Content	Analytical method
Glycerol, %	63.42	ASTM D 6584-00E01, titration assay
Methanol, %	4.38	Gas chromatography
Water, %	13.93	AOAC[3] method 984.20
Crude protein[4], %	0.03	AOAC method 990.03
Ash[4], %	7.41	AOAC method 942.05
Ether extract[4], %	47.78	AOAC method 920.39 (A)
Gross energy, kcal/kg	6,290.83	Adiabatic bomb calorimeter
Sodium[4], %	0.47	AOAC methods 956.01, 9.15.01
Calcium[4], %	0.0053	AOAC method 2.019, 9.15.01
Phosphorus[4], %	0.0022	AOAC method 2.019, 2.095-7.098
Viscosity (cs) at 40°C	11.75	Viscometer (MJ 800S), ASTM D445
pH	9.57	Orion 230A pH meter with 9107 BN probe**,** (ISO 12185)

[1] CGWVO was obtained from Specialized Research and Development Center for Alternative Energy from Palm Oil and Oil Crop, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla Province, 90110, Thailand.

[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.

Table 3.

Effects of dietary CGWVO on feed intake and nutrient intake of goats.

Item	Dietary CGWVO, % DM				SEM[3]	Contrasts, *P*-value[1]		
	0	2	4	6		L	Q	C
DMI (kg/d)								
Total DMI, kg/d	1.107^{a}	1.167^{a}	1.146^{a}	1.008^{b}	0.02	0.23	0.10	0.89
DMI, %BW	3.12^{a}	3.27^{a}	3.25^{a}	2.80^{b}	0.05	0.05	0.01	0.57
DMI, g/kg $W^{0.75}$	76.05^{a}	79.79^{a}	75.22^{a}	68.74^{b}	1.21	0.04	<0.01	0.58
Nutrient intake, kg/d								
OMI, kg/d	1.027^{a}	1.082^{a}	1.065^{a}	0.936^{b}	0.02	0.24	0.10	0.87
CPI, kg/d	0.185^{a}	0.192^{a}	0.190^{a}	0.167^{b}	0.003	0.22	0.15	0.81
NDFI, kg/d	0.557^{a}	0.588^{a}	0.576^{a}	0.505^{b}	0.01	0.23	0.11	0.91
ADFI, kg/d	0.215^{ab}	0.217^{a}	0.208^{b}	0.186^{c}	0.002	0.08	0.33	0.98
BW change, kg/d	0.135	0.130	0.142	0.105	0.02	0.58	0.60	0.63
BW change, %	8.27	7.80	8.63	5.95	1.61	0.50	0.58	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).

Table 4.

Effects of dietary CGWVO on nutrient digestibility of goats.

Item	Dietary CGWVO, % DM				SEM[3]	Contrasts, *P*-value[1]		
	0	2	4	6		L	Q	C
Apparent total tract digestibility, %								
DM	72.79^{ab}	76.75^{a}	76.13^{a}	68.33^{b}	1.88	0.17	0.02	0.79
OM	75.01^{ab}	78.83^{a}	78.70^{a}	71.03^{b}	2.03	0.24	0.02	0.72
CP	76.09^{ab}	77.93^{a}	77.14^{a}	70.58^{b}	1.59	0.07	0.05	0.72
EE	69.90	75.41	76.22	76.94	1.96	0.04	0.29	0.64
Ash	44.07	49.98	44.07	42.07	2.29	0.49	0.31	0.37
NDF	64.73^{a}	67.21^{a}	66.34^{a}	55.73^{b}	2.24	0.04	0.03	0.61
ADF	46.36^{ab}	51.37^{a}	48.05^{a}	39.33^{b}	2.38	0.07	0.03	0.82
ADL	27.53	26.57	26.03	22.29	1.76	0.23	0.63	0.78
Digestible nutrient intake, kg/d								
DOM	0.768^{a}	0.852^{a}	0.837^{a}	0.655^{b}	0.02	0.05	<0.01	0.69
DCP	0.141^{a}	0.150^{a}	0.147^{a}	0.118^{b}	0.01	0.04	0.02	0.71
DNDF	0.360^{a}	0.393^{a}	0.382^{a}	0.279^{b}	0.18	0.01	<0.02	0.56
DADF	0.100^{a}	0.111^{a}	0.100^{a}	0.074^{b}	0.11	0.04	0.06	0.84
DEE	0.015^{c}	0.030^{b}	0.043^{a}	0.045^{a}	0.05	<0.01	0.01	0.32
Estimated energy intake[2]								
ME Mcal/d	2.92^{a}	3.24^{a}	3.18^{a}	2.49^{b}	0.45	0.05	0.01	0.70
ME Mcal/kg DM	2.64^{ab}	2.78^{a}	2.77^{a}	2.48^{b}	0.38	0.17	0.01	0.69

[a-b] 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).

[3] DOMI = Digestible organic matter intake.

[4] DOMR = Digestible organic matter fermented in the rumen.

Table 5.

Effects of dietary CGWVO on rumen fermentation characteristics of goats.

Item	Dietary CGWVO, % DM				SEM[3]	Contrasts, *P*-value[1]		
	0	2	4	6		L	Q	C
Ruminal pH								
0 h-post feeding	6.39	6.36	6.27	6.16	0.09	0.07	0.61	0.88
4 h-post feeding	6.17	6.06	6.13	6.03	0.07	0.30	0.97	0.30
Mean	6.28	6.21	6.20	6.09	0.17	0.09	0.91	0.70
NH_3-N, mg/dL								
0 h-post feeding	21.04	20.36	19.64	20.00	0.57	0.50	0.65	0.96
4 h-post feeding	22.86^{a}	21.43^{ab}	21.43^{ab}	20.71^{b}	0.54	0.31	0.80	0.73
Mean	21.95^{a}	20.89^{ab}	20.53^{ab}	20.36^{b}	0.39	0.38	0.69	0.90
BUN, mg/dL								
0 h-post feeding	21.40	24.47	24.90	21.87	1.35	0.83	0.14	0.92
4 h-post feeding	20.87^{b}	27.25^{a}	23.07^{b}	23.80^{b}	0.95	0.38	0.02	0.05
Mean	21.18^{b}	25.86^{a}	23.98^{ab}	22.84^{ab}	0.89	0.44	0.06	0.21

$^{a\text{-}b}$ 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).

Table 6.

Effects of dietary CGWVO on volatile fatty acid profiles in goats.

Item	Dietary CGWVO, % DM				SEM[2]	Contrasts, *P*-value[1]		
	0	2	4	6		L	Q	C
Total VFA, mmol/l								
0 h-post feeding	61.60	65.02	63.83	56.70	2.76	0.53	0.28	0.97
4	60.29	66.97	68.50	61.29	3.33	0.79	0.06	0.80
Mean	60.67	66.00	66.18	58.92	2.75	0.73	0.08	0.87
Proportion of individual VFA, %								
Acetate (C_2)								
0 h-post feeding	62.89	62.57	60.04	54.10	3.30	0.07	0.40	0.93
4	63.30	58.36	53.97	53.18	3.19	0.03	0.54	0.84
Mean	63.10^{a}	61.57^{a}	58.94^{ab}	53.44^{b}	1.58	0.01	0.42	0.88
Propionate (C_3)								
0 h-post feeding	22.36^{b}	23.68^{b}	26.30^{ab}	32.22^{a}	2.01	<0.01	0.24	0.81
4	21.03	25.19	31.69	27.50	4.49	0.21	0.35	0.51
Mean	21.69^{c}	24.43^{bc}	29.00^{ab}	29.86^{a}	1.49	<0.01	0.59	0.49
Butyrate (C_4)								
0 h-post feeding	11.98	11.30	10.58	10.71	2.15	0.65	0.85	0.93
4	13.46	14.19	11.84	16.58	1.95	0.38	0.26	0.21
Mean	12.72	12.74	11.21	13.64	1.51	0.83	0.37	0.36
Other VFA[4]								
0 h-post feeding	2.75	2.44	3.05	2.98	0.29	0.38	0.71	0.29
4	2.20	2.47	2.48	2.73	0.45	0.42	0.97	0.80
Mean	2.48	2.46	2.77	2.86	0.43	0.34	0.83	0.56
Acetate:propionate ratio								
0 h-post feeding	2.86^{a}	2.66^{ab}	2.37^{ab}	1.71^{b}	0.27	<0.01	0.38	0.82

4	3.06	2.53	1.90	2.18	0.37	0.09	0.33	0.57
Mean	2.96^{a}	2.60^{a}	2.14^{b}	1.95^{b}	0.13	<0.01	0.68	0.68
Methane, mol%								
0 h-post feeding	26.94^{a}	26.16^{a}	24.02^{ab}	19.77^{b}	1.55	<0.01	0.23	0.90
4	28.09	25.01	23.00	20.30	0.41	0.17	0.37	0.53
Mean	27.51^{a}	25.59^{ab}	22.16^{bc}	21.39^{c}	1.03	<0.01	0.66	0.48

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

* $P < 0.001$.

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

[2] 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).

Table 7.

Effects of dietary CGWVO on nitrogen utilization of goats.

Item	Dietary CGWVO, % DM				SEM[3]	Contrasts, *P*-value[1]		
	0	2	4	6		L	Q	C
N balance, g/d								
Total N intake	29.72^{a}	30.86^{a}	30.47^{a}	26.86^{b}	0.60	0.22	0.15	0.81
N excretion, g/d								
Fecal N	7.15	6.80	6.94	7.97	0.43	0.47	0.39	0.91
Urinary N	7.00	7.61	5.47	6.80	1.58	0.64	0.78	0.30
Total N excretion	14.16	14.41	12.41	14.77	1.91	0.98	0.52	0.37
Absorbed N	22.57^{a}	24.06^{a}	23.53^{a}	18.89^{b}	0.85	0.05	0.02	0.70
Retained N	15.56	16.45	18.06	12.09	2.12	0.38	0.14	0.41
N output (% of N intake)								
Absorbed	76.09^{ab}	77.93^{a}	77.24^{a}	70.57^{b}	1.62	0.07	0.05	0.70
Retained	52.25	52.49	59.04	44.80	6.57	0.55	0.23	0.31

[a-b] 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).

***Conflict of Interest Statement**

Conflict of interest statement

We declare that no conflict of interest exists among the authors.

ภาคผนวก ข

ประวัติผู้จัดทำรายงานวิจัย

ชื่อ – สกุล	นาย ปิ่น จันจุฬา
วัน เดือน ปีเกิด	28 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2507
ตำแหน่งปัจจุบัน	– รองศาสตราจารย์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ – คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ว. หาดใหญ่
สาขาชำนาญการ	– โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง
อายุราชการ	– 23 ปี
เครื่องราชอิสริยาภรณ์	– ต.ม., ต.ช., ท.ม., ท.ช., ป.ม., ป.ช.
ผลงานทางวิชาการ	– งานแต่งหนังสือ 1 เล่ม – บทความวิจัยตีพิมพ์ (ภาษาไทย) 25 เรื่อง – บทความวิจัยตีพิมพ์ (ภาษาอังกฤษ) 18 เรื่อง – บทความวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการ (ภาษาไทย) 17 เรื่อง – บทความวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการ (ภาษาอังกฤษ) 16 เรื่อง – บทความทางวิชาการ 12 เรื่อง
รางวัลที่ได้รับ	– 11th AJAS/CAPI Outstanding Research Award, 2012 from the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies – รางวัลดีเด่น การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย เครือข่ายการวิจัยภาคใต้ตอนล่าง ครั้งที่ 22 ประจำปี 2555

หน่วยงาน/ ที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

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