

ผลของระดับกลีเซอรินดิบในอาหารผสมเสร็จต่อนิเวศวิทยาใน กระเพาะรูเมนและสมดุลไนโตรเจนในแพะ

Effects of Crude Glycerin Level in Total Mixed Ration on Rumen Ecology and Nitrogen Balance in Goats

ปิ่น จันจุฬา^{1*}, พัชรินทร์ ภัคดีฉนวน^{2/} และ สุธา วัฒนสิทธิ์^{1/}
Pin Chanjula^{1}, Patcharin Pakdeechnuan^{2/} and Sutha Wattanasit^{1/}*

Abstract: Four male crossbred goats, with average liveweight 26 ± 3.0 kg were randomly assigned according to a 4x4 Latin square design to receive four total mixed rations (TMR) containing 0, 5, 10 and 20% crude glycerin (CG), 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, CP, NDF, and ADF). Likewise, ruminal pH and $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration were unchanged by dietary treatments, except for 20% of CG, $\text{NH}_3\text{-N}$ was lower ($P<0.05$) than for the diets 10% of CG. No differences were found on mean total ruminal VFA concentration, and molar proportion of butyrate and other VFA, except for molar proportion of acetate (C_2), propionate (C_3), CH_4 , and the ratio of $\text{C}_2:\text{C}_3$ were affected ($P<0.05$) by CG level. Rumen microorganism populations and N balance were similar among treatments ($P>0.05$). Based on this study, CG levels up to 20% in total mixed ration could be efficiently utilized for goats.

Keywords: Crude glycerin, rumen ecology, nitrogen balance, goat

^{1/} ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา

^{1/} Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla

^{2/} ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.ปัตตานี

^{2/} Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus, Pattani

* Corresponding author: pin.c@psu.ac.th

บทคัดย่อ: ได้ทำการศึกษาในแพะลูกผสมเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 26 ± 3.0 กิโลกรัม ใช้แผนทดลองแบบ 4×4 จตุรัสลาติน ให้ได้รับอาหารผสมเสร็จ 4 สูตรที่มีระดับกลีเซอรินดิบ 0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ให้แพะได้รับอาหารผสมเสร็จอย่างเต็มที่ ผลการทดลอง พบว่าปริมาณการกินได้ทั้งหมดของวัตถุดิบ และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, OM, CP, EE, NDF, and ADF) มีค่าใกล้เคียงกัน ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่าง และ $\text{NH}_3\text{-N}$ มีค่าใกล้เคียงกัน ($P > 0.05$) ยกเว้นกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่า $\text{NH}_3\text{-N}$ ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด กรดบิวทิริก และกรดไขมันอื่นๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ยกเว้น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก ก๊าซเมทเทน และค่าสัดส่วนความเข้มข้นของ $\text{C}_2\text{:C}_3$ ที่แตกต่างกัน ส่วนประชากรจุลินทรีย์ และสมดุลไนโตรเจนมีค่าใกล้เคียงกัน ($P > 0.05$) จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า สามารถใช้กลีเซอรินดิบเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารผสมเสร็จระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ ได้ในสูตรอาหารแพะ

คำสำคัญ: กลีเซอรินดิบ นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน สมดุลไนโตรเจน แพะ

คำนำ

แพะเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีความสำคัญและมีแนวโน้มเพิ่มจำนวนมากขึ้น โดยเฉพาะในภาคใต้มีการเลี้ยงแพะเพื่อการค้าเพิ่มขึ้น ถึงแม้แพะจะเป็นสัตว์ที่กินอาหารได้หลายชนิด แต่การผลิตแพะเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพจะต้องมีอาหารหยาบ และอาหารข้นเพียงพอทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพ แต่ต้นทุนค่าวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารข้นสำหรับแพะในภาคใต้ เช่น กากถั่วเหลือง และข้าวโพด เป็นต้น มีราคาค่อนข้างสูง จึงจำเป็นต้องหาวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ที่มีคุณค่าทางโภชนะใกล้เคียงกันและมีราคาถูกกว่ามาใช้ทดแทน เช่น ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม ได้แก่ กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (palm kernel cake, PKC) และกลีเซอรินดิบ (crude glycerin, CG) เป็นต้น กลีเซอรินดิบหรือกลีเซอรอล ($\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) ปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการผลิตไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักน้ำมันใช้ผลิตไบโอดีเซลถูกเปลี่ยนไปเป็นกลีเซอริน หรือประมาณ 0.3 กิโลกรัมต่อการผลิตไบโอดีเซล 3.78 ลิตร และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า กลีเซอรินดิบมีส่วนประกอบที่เป็นไขมัน (lipid) อยู่ประมาณ 25-35 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ กรดไขมันที่พบคือ ปาล์มมิติติก (palmitic, $\text{C}_{16:0}$) สเตียริก (stearic, $\text{C}_{18:0}$) โอลิอิก (oleic, $\text{C}_{18:1}$) และ

ลิโนเลอิก (linoleic, $\text{C}_{18:2}$) มีแร่ธาตุที่พบ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส และกำมะถัน พบอยู่ในปริมาณ 4-163 ppm (Thompson and He, 2006) โดยกลีเซอรินดิบที่มีส่วนประกอบของกลีเซอรินบริสุทธิ์ 86.95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 3.625 Mcal/kg DM (Dozier *et al.*, 2008) ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทให้พลังงานได้ในสัตว์หลายชนิด เช่น ในอาหารสัตว์ปีก (Min *et al.*, 2010) อาหารโคเนื้อ (Mach *et al.*, 2009) และอาหารแกะ (Gunn *et al.*, 2010a, b) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมี และการใช้ประโยชน์ได้ของกลีเซอรินดิบเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนแหล่งพลังงาน เช่น ข้าวโพดในอาหารแพะยังมีจำกัด ดังนั้น การศึกษครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกลีเซอรินดิบระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหารต่อการย่อยได้ นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน และสมดุลไนโตรเจนในแพะ

อุปกรณ์และวิธีการ

สัตว์ทดลอง แผนการทดลอง และการเตรียมอาหารทดลอง

ใช้แพะลูกผสมพื้นเมืองแองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้ อายุประมาณ 18 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 26 ± 3.0 กิโลกรัม จำนวน 4 ตัว ทำการสุ่มให้ได้รับทรีทเมนต์ตามแผนการทดลองแบบ 4×4 จตุรัสลาติน (4×4 Latin

square design) โดยได้รับอาหารผสมเสร็จ (TMR) ที่ประกอบด้วยกลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ทุกสูตรคำนวณให้มีระดับโภชนาตามความต้องการของแพะ ตามคำแนะนำของ NRC (1981) (ตารางที่ 1) กลีเซอรินดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก บจ. นิว ไบโอดีเซล (New Biodiesel Co., Ltd.) จังหวัดสุราษฎร์ธานี ผลิตมาจากน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil, CPO) มีค่าเฉลี่ยของความชื้น แกรวม โปรตีนรวม ไขมันรวม และพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 8.07, 3.34, 0.01, 0.30 เปอร์เซ็นต์ และ 3,989.82 kcal/kg และมีกลีเซอรินรวมเท่ากับ 86.72 เปอร์เซ็นต์ เมทานอล 0.64 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันอิสระ 0.71 เปอร์เซ็นต์ ค่าความกรดต่าง 9.48 ความหนาแน่น 1.27 ความถ่วงจำเพาะ 1.25 และค่าความหนืด 10.06

แพะแต่ละตัวถูกเลี้ยงในคอกศึกษาการย่อยได้ (metabolism crate) ซึ่งเดี่ยวยกพื้น จำนวน 4 คอก มีรางอาหาร อาหาร และที่ให้ น้ำอยู่ด้านหน้า ทำการทดลอง 4 ช่วง ๆ ละ 21 วัน ซึ่งประกอบด้วย ระยะปรับตัว (adaptation period) 14 วัน และระยะทดลอง (experimental period) 7 วัน โดยในระยะปรับตัวให้แพะได้รับอาหารผสมครบส่วนแบบเต็มที โดยให้วันละ 2 ครั้ง ในเวลา 07.00 และ 16.00 นาฬิกา ทำการวัดปริมาณอาหารที่ให้ และอาหารที่เหลือทั้งในช่วงเช้า และช่วงเย็นของทุกวันเพื่อหาปริมาณการกินได้ ส่วนในระยะทดลองให้แพะได้รับอาหารตามกลุ่มทดลองเหมือนระยะปรับตัว แต่ลดปริมาณอาหารหยาบที่ให้เหลือเพียง 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่กินได้ในช่วงระยะปรับตัว

การเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของแพะ โดยชั่งน้ำหนักก่อนเข้าช่วงการทดลองและในวันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารหยาบ และอาหารข้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อมาหาค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง อีกส่วนหนึ่งสุ่มเก็บจากแต่ละช่วงของการทดลอง อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบ

ทางเคมี ตามวิธีการของ AOAC (1990) และวิเคราะห์ค่า detergent fiber ตามวิธีการของ Van Soest *et al.* (1991) สุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะหมัก (rumen fluid) ของสัตว์ทดลองแต่ละกลุ่ม ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงของการให้อาหาร โดยวิธีการใช้ stomach tube ร่วมกับ vacuum pump ในวันสุดท้ายของแต่ละระยะทดลองปริมาณ 100 มิลลิลิตร นำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่างทันทีโดยใช้ pH meter (HANNA instruments HI 98153 microcomputer pH meter) หลังจากนั้น แบ่งของเหลวจากกระเพาะหมักออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 สุ่มเก็บประมาณ 20 มิลลิลิตร เติม 1M H₂SO₄ จำนวน 1 มิลลิลิตรต่อของเหลวจากรูเมน 10 มิลลิลิตร เพื่อยุติการทำงานของจุลินทรีย์ นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาเฉพาะส่วนใส (supernatant) ไว้ประมาณ 10-15 มิลลิลิตร นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen, NH₃-N) ด้วยวิธีการกลั่น (Bremner and Keeney, 1965) โดยใช้เครื่อง KJELTEC AUTO 2200 Analyzer (Foss, TECATOR) ของเหลวอีกส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid, TVFA) และกรดไขมันระเหยได้ที่สำคัญได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid, C₂) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid, C₃) และกรดบิวทิริก (butyric acid, C₄) โดยใช้เครื่อง HPLC (Hewlett Packard) ประกอบด้วย water 510 pump (Millipore), UV Detector 210nm., ODS reverse phase column (5μ, 40x250mm) ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Samuel *et al.* (1997) ทำการคำนวณค่าการผลิตก๊าซ CH₄ จากกรดไขมันระเหยได้ตามวิธีการของ Moss *et al.* (2000) ดังสมการ CH₄ = (0.45 x acetic acid) - (0.275 x propionic acid) + (0.40 x butyric acid) และส่วนที่ 2 ทำการสุ่มเก็บ 1 มิลลิลิตร เติม 10% formaldehyde 9 มิลลิลิตร เพื่อนำไปตรวจนับประชากรจุลินทรีย์ (total direct count) ได้แก่ แบคทีเรีย (bacteria) โปรโตซัว (protozoa) และเชื้อรา (fungi) โดยใช้ Haemocytometer ขนาด 400 ช่อง ทำการนับแบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อรา ตามวิธีการของ Galyean (1989) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Olympus BX51TRF, No. 2B04492, Olympus optical Co. Ltd.,

Japan) นอกจากนี้ ทำการเก็บมูลและปัสสาวะทั้งหมด (total collection) โดยเก็บ 5 วันติดต่อกันในช่วงท้ายของการทดลอง แล้วทำการสุ่มเก็บตัวอย่างมูล และปัสสาวะเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมี และคำนวณหาการย่อยได้ตามวิธีการของ Schnieder and Flatt (1975) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) ตามแผนการทดลอง 4x4 Latin Square Design โดยใช้ Proc GLM (SAS Inst. Inc., Cary, NC) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test และศึกษาแนวโน้มการตอบสนองของการเพิ่มระดับ CG ด้วยวิธี Orthogonal polynomial (Steel and Torrie, 1980)

ผลและวิจารณ์

ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารผสมเสร็จ (total mixed ration, TMR) ที่ใช้ในการทดลอง ที่ประกอบด้วยข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง หญ้า พืชคลุมแห้ง และกลีเซอรินดิบระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 1) พบว่ามีค่าเฉลี่ยของวัตถุดิบ (DM) ถั่วรวม (ash) อินทรีย์วัตถุ (OM) ไขมัน (EE) และโปรตีนหยาบ (CP) ใกล้เคียงกัน โดยมีโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 15.31-15.45 เปอร์เซ็นต์ ผงเซลล์ (NDF) อยู่ในช่วง 38.24-44.07 เปอร์เซ็นต์ ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL) อยู่ในช่วง 19.07-20.00 และ 4.47-5.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural carbohydrates, NSC) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับกลีเซอรินดิบที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ขณะที่ค่า NDF มีค่าลดลง ซึ่งความแตกต่างของ NDF, NSC และองค์ประกอบอื่น ๆ อาจเนื่องมาจาก ความแตกต่างของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร และสัดส่วนที่ใช้ในสูตร โดยเฉพาะกลีเซอรินดิบที่ใช้ทดแทนข้าวโพดบดในการทดลองครั้งนี้ไม่มีองค์ประกอบสารเยื่อใย หรือผนังเซลล์สอดคล้องกับรายงานของ Gunn *et al.* (2010a) ที่รายงานว่า

องค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรินไม่มีองค์ประกอบสารเยื่อใย หรือผนังเซลล์ในกลีเซอรินดิบ

ปริมาณการกินได้ และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนา

การใช้สูตรอาหารผสมเสร็จ ที่มีระดับกลีเซอรินดิบ (CG) ต่างกัน (0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมด (วัตถุดิบ) ของแพะทุกกลุ่ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยปริมาณการกินอาหารได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.908-0.970 กิโลกรัมวัตถุดิบแห้งต่อตัวต่อวัน (ตารางที่ 2) สอดคล้องกับรายงานของ Gunn *et al.* (2010a) ที่ศึกษาผลของระดับกลีเซอรินดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0-20 เปอร์เซ็นต์) ในแกะ พบว่าระดับกลีเซอรินดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ และสมรรถภาพการเจริญของแกะ ขณะที่ พบว่าระดับการเสริมกลีเซอรินดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณการกินได้ทั้งหมด สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากลดลงตามระดับกลีเซอรินดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (Gunn *et al.*, 2010a, b) และการให้อาหารที่มีระดับกลีเซอรินดิบสูง 45 เปอร์เซ็นต์ DM มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ทั้งหมดของวัตถุดิบแห้งลดลงในรูปแบบเส้นตรง (Gunn *et al.*, 2010b) อาจเนื่องจากการให้อาหารที่มีระดับกลีเซอรินดิบสูงมีผลทำให้กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน การย่อยได้ของเยื่อใย และประชากรแบคทีเรียลดลง (Abo El-nor *et al.*, 2010) ส่วนสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ DM, CP, NDF และ ADF ของแพะทุกกลุ่มที่ได้รับอาหาร TMR ที่มี CG ระดับต่าง ๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของผนังเซลล์มีแนวโน้มลดลง ($L, P = 0.15$) ตามระดับ CG ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร อาจเนื่องจาก กลีเซอรอลมีผลต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่ง Roger *et al.* (1992) รายงานว่า การเจริญเติบโต การเกาะจับ และกิจกรรมการย่อยสลายเซลล์ลูโลสของแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลล์ลูโลสในกระเพาะรูเมน (ruminal cellulolytic species) 2 ชนิด ถูกยับยั้งเมื่อเสริมกลีเซอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อระดับสูง (0.05; v/v) แต่ไม่มีผลกับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรอลระดับต่ำ

Table 1 Ingredients and chemical composition of goat diets containing increasing amounts of crude glycerin (% DM basis)

Item	Dietary crude glycerin (% of dietary DM) ¹			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)
Ingredients, %				
Crude glycerin ² , CG	0.00	5.00	10.00	20.00
Ground corn, CG	46.00	41.00	35.45	24.50
Soybean meal, SBM (44% CP)	16.20	16.10	16.55	18.21
Fish meal, (55% CP)	2.00	2.00	2.00	2.00
Leucaena leave meal, LLM	6.00	6.00	6.00	5.65
Plicatulum hay, PH	25.00	25.00	25.00	25.00
Molasses	3.00	3.00	3.00	2.54
Salt	0.20	0.20	0.20	0.20
Dicalcium phosphate	0.30	0.30	0.30	0.30
Urea	0.30	0.40	0.50	0.60
Mineral and vitamin mix ³	1.00	1.00	1.00	1.00
Chemical composition ⁴ (% of DM)				
DM	86.94	86.77	85.85	85.99
Ash	6.48	6.21	6.41	6.53
OM	93.52	93.79	93.59	93.47
CP	15.44	15.32	15.31	15.45
EE	2.62	2.12	2.25	2.15
NSC ⁵	31.39	34.05	37.79	36.79
NDF	44.07	42.33	38.24	39.08
ADF	19.44	19.97	20.00	19.07
ADL	5.22	5.50	4.47	5.46

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

² Contained 87.61% of glycerin, 8.07% of water, 1.24% of sodium, and 0.64% of methanol (Colorless, odorless, viscous liquid obtained from Biodiesel Producers, New Biodiesel, Surat Thani Province, Thailand)

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

⁴ Based on analysis of composite feed sample, 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

⁵ Estimated: NSC = 100 - (CP+NDF+EE+Ash)

Table 2 Effects of dietary crude glycerin level on feed intake (kg/d) and apparent digestibility of goats

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM ³	Contrasts, P-value ¹			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		0 vs. glycerin ²	L	Q	C
Total DMI, kg/d	0.908	0.946	0.970	0.915	0.03	0.50	0.83	0.31	0.74
Apparent digestibility									
DM	71.92	75.22	74.22	75.86	3.60	0.38	0.44	0.79	0.62
CP	75.73	79.21	79.45	79.28	3.17	0.31	0.42	0.54	0.83
NDF	61.30	61.06	54.89	53.67	4.95	0.35	0.15	0.91	0.57
ADF	36.98	43.05	36.16	29.82	6.47	0.91	0.25	0.26	0.57

^{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 ($n = 4$)

(<0.01; v/v) และ Paggi *et al.* (2004) พบว่ากิจกรรมการย่อยสลายเซลลูโลสในกระเพาะรูเมนลดลงตามระดับกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ ดังนั้น จึงส่งผลให้การย่อยได้ของเยื่อใย การผลิตกรดอะซิติก และประชากรแบคทีเรียลดลง โดยเฉพาะกลุ่ม *Butyrivibrio fibrisolvens* และ *Ruminococcus albus* (Abo El-nor *et al.*, 2010) แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มที่เสริม CG (0 vs. glycerin) สอดคล้องกับการทดลองของ Rémond *et al.* (1993) ที่รายงานว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณการกินได้ และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ เมื่อ CG ทดแทนแป้งในการทดลองหาความสามารถในการย่อยได้ แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และ Avila-Stagno *et al.* (2013) พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้ง (DMI) ลิกโนเซลลูโลส (ADFI) พลังงานรวม (GE) และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโมโนแซ็กคาไรด์ (DMD, CPD, NDFD และ ADFD) ไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณการกินได้ของ NDFI และ CPI มีแนวโน้มลดลง ($P = 0.10$ และ 0.06 ตามลำดับ)

นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ และก๊าซเมเทนในกระเพาะรูเมน

ผลของระดับ CG ในสูตรอาหาร TMR ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (6.48-6.53) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของอารียวรณ และคณะ (2554) มีค่า pH 6.22-6.53 และ 6.53-

6.61 (ปิ่น และอัจฉรา, 2557) ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ทำนองเดียวกับค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) (20.29-21.86 mg/dL) (ตารางที่ 3) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ยกเว้น กลุ่มที่ 4 (20 เปอร์เซ็นต์ CG) ค่า $\text{NH}_3\text{-N}$ ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์ CG) สอดคล้องกับการศึกษาของ Wang *et al.* (2009) ที่รายงานว่า โคขุนกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินที่ระดับ 0-300g/hd/d มีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลง ขณะที่ Abo El-nor *et al.* (2010) รายงานว่า การเสริม CG ไม่มีผลต่อค่า $\text{NH}_3\text{-N}$ อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ $\text{NH}_3\text{-N}$ มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสม 10-30 mg/dL (Ferguson *et al.*, 1993) สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

ค่าเฉลี่ย TVFAs (total volatile fatty acids) ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังจากให้อาหารของกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับ CG ระดับ 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง ($L, P = 0.12$) อาจเนื่องมาจาก ปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของอาหารกลุ่มที่ได้รับ CG ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่ากลุ่มอื่น ๆ ทำนองเดียวกับรายงานของ Mach *et al.* (2009) ที่รายงานว่า TVFAs ของโคเพศผู้

Table 3 Effects of dietary crude glycerin level on rumen fermentation and volatile fatty acid profiles in goats

Item	Dietary crude glycerin, %				SEM ³	Contrasts, <i>P</i> -value ¹			
	T1(0)	T2(5)	T3(10)	T4(20)		0 vs. glycerin ²	L	Q	C
Ruminal pH	6.53	6.51	6.48	6.48	0.06	0.72	0.70	0.89	0.93
NH ₃ -N, mg/dl	21.27 ^{ab}	21.86 ^a	21.83 ^a	20.29 ^b	0.42	0.98	0.99	0.82	0.56
Total VFA, mmol/l									
0 h-post feeding	67.73	72.16	74.01	70.57	8.13	0.72	0.83	0.72	0.95
4	66.02 ^b	68.22 ^{ab}	88.63 ^a	80.69 ^{ab}	6.14	0.23	0.12	0.58	0.27
Mean	66.80	70.19	81.32	75.63	4.38	0.25	0.21	0.49	0.41
Proportion of individual VFA, %									
Acetate (C ₂)									
0 h-post feeding	65.59	63.23	60.99	56.80	4.52	0.24	0.10	0.81	0.90
4	66.94 ^a	64.02 ^{ab}	57.79 ^b	60.42 ^b	1.79	0.15	0.12	0.44	0.45
Mean	66.27	63.65	59.39	58.62	2.63	0.10	0.05	0.74	0.69
Propionate (C ₃)									
0 h-post feeding	19.23	21.35	22.32	28.55	3.53	0.26	0.09	0.57	0.68
4	18.99 ^b	21.23 ^{ab}	27.36 ^a	27.45 ^a	2.21	0.08	0.03	0.71	0.45
Mean	19.11 ^b	21.30 ^b	24.85 ^{ab}	28.00 ^a	1.81	0.06	0.01	0.84	0.87
Butyrate (C ₄)									
0 h-post feeding	12.63	12.83	13.88	11.69	2.18	0.94	0.86	0.60	0.69
4	11.99	11.97	12.97	10.00	1.06	0.88	0.59	0.47	0.59
Mean	12.31	12.40	13.47	10.84	1.21	0.97	0.69	0.47	0.58
Other VFA ⁴									
0 h-post feeding	2.53	2.53	2.71	3.52	0.58	0.59	0.27	0.51	0.87
4	2.07	2.74	1.79	2.12	0.39	0.78	0.71	0.71	0.19
Mean	2.30	2.64	2.25	2.82	0.49	0.65	0.43	0.69	0.52
Acetate:propionate ratio									
0 h-post feeding	3.43	3.27	3.24	2.19	0.53	0.46	0.19	0.47	0.67
4	3.56 ^a	3.03 ^{ab}	2.32 ^b	2.32 ^b	0.20	0.01	0.01	0.41	0.52
Mean	3.49 ^a	3.15 ^{ab}	2.78 ^{ab}	2.25 ^b	0.25	0.10	0.03	0.80	0.94
Methane, mol%									
0 h-post feeding	29.32	27.73	26.91	22.61	2.63	0.26	0.10	0.61	0.72
4	29.69 ^a	27.75 ^{ab}	23.67 ^b	23.64 ^b	1.61	0.08	0.03	0.66	0.52
Mean	29.49 ^a	27.75 ^{ab}	25.28 ^{ab}	23.01 ^b	1.40	0.05	0.01	0.87	0.90

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

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

² Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment

³ SEM = Standard error of the mean (*n* = 4)

⁴ Sum of isobutyrate, isovalerate, valerate and caproate

กลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 8 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้ม ($P=0.09$) ต่ำกว่ากลุ่มอื่น (0, 4 และ 12 เปอร์เซ็นต์ CG) เนื่องจากปริมาณการกินได้ของอาหารชั้นสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ขณะที่ ที่เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Meale *et al.* (2013) ที่ศึกษาผลของการเสริมกลีเซอรินดิบ (0, 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ DM) ในแกะ พบว่าค่าเฉลี่ย TVFAs และองค์ประกอบของกรดไขมันที่ระเหยได้ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ยกเว้น ค่าเฉลี่ยกรดโฟรพิกอนิก และค่าสัดส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ ($C_2:C_3$) ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังจากให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมที่แตกต่างกัน โดยกรดโฟรพิกอนิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง ($L, P=0.03$ และ 0.01) ขณะที่สัดส่วนของ $C_2:C_3$ มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง ($L, P=0.01$ และ 0.03) ตามระดับ CG ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์ CG) ส่วนค่าสัดส่วนของกรดไขมันแต่ละตัวที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่ากรดอะซีติกที่เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม กรดบิวทิริก และกรดไขมันอื่นๆ (isobutyrate, isovalerate และ valerate) ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร แต่กรดอะซีติก ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหารพบว่า มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง ($L, P=0.12$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์ CG) ทำนองเดียวกับการวัดกรดโฟรพิกอนิกที่เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร แต่กรดโฟรพิกอนิก ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง ($L, P=0.03$) ตาม

ระดับกลีเซอรินดิบที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์ CG)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของ $C_2:C_3$ พบว่าที่เวลา 0 ชั่วโมงหลังการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร แต่ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่ามีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง ($L, P=0.01$ และ 0.03 ตามลำดับ) ตามระดับ CG ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์ CG) สอดคล้องกับรายงานของ Meale *et al.* (2013) ที่ศึกษาผลของการเสริม CG (0, 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ DM) ในแกะ พบว่ากรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด และองค์ประกอบของกรดไขมันที่ระเหยได้ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ยกเว้น C_3 และค่าสัดส่วน $C_2:C_3$ ที่แตกต่างกัน โดย C_3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง ($L, P=0.05$) ขณะที่ สัดส่วนของ $C_2:C_3$ มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง ($L, P=0.04$) ตามระดับ CG ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์ CG) ทำนองเดียวกับการศึกษาของ DeFrain *et al.* (2004) ที่รายงานว่า กลุ่มแม่โครีดนมที่ได้รับการเสริมกลีเซอรอลมีค่าความเข้มข้นของกรด C_3 สูงกว่า และค่าสัดส่วนของ $C_2:C_3$ ลดลงต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมกลีเซอรอล และ Linke *et al.* (2004) ที่พบว่า การเสริมกลีเซอรอล 1 กิโลกรัม ให้แม่โคนมโดยให้ทางปาก และทางกระเพาะรูเมน หรือเสริมให้กับโคเนื้อขุน 200 หรือ 300g/hd/d (Wang *et al.*, 2009) ทำให้ค่าความเข้มข้นของกรด C_3 สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริม อาจเนื่องมาจาก ค่าคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (NSC) ของอาหารทดลอง พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับกลีเซอรินดิบที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ขณะที่ค่า NDF มีค่าลดลง (ตารางที่ 1) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด และสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน การดูดซึมของกรดไขมันที่ระเหยได้ผ่านผนังกระเพาะรูเมน อัตราการไหลผ่าน (ruminal passage

rate) ของของเหลวไปยังกระเพาะอะโบมาซั่ม (abomasum) (López *et al.*, 2003) และยังขึ้นกับความเข้มข้นสัดส่วนของกรดอินทรีย์ (organic acid) ทั้งหมดในกระเพาะรูเมน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์โบไฮเดรต ปริมาณที่สัตว์กิน สัดส่วนอาหารข้น และอาหารหยาบ (Heldt *et al.*, 1999) และ Sutton *et al.* (1993) รายงานว่า ปริมาณแป้งที่ย่อยสลายได้ง่ายเพิ่มขึ้นในอาหารข้นมีผล ทำให้ระดับความเข้มข้นของกรดโฟลิกในกระเพาะรูเมนสูงขึ้น ขณะที่ ระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกลดลง อาจเนื่องจาก ระดับกลีเซอรินดิบที่สูงมีผลทางลบต่อ กิจกรรมการสลายเยื่อใยของแบคทีเรียกลุ่มย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic bacteria) ในกระเพาะรูเมน ซึ่ง Roger *et al.* (1992) รายงานว่า การเจริญเติบโต การเกาะจับ และ กิจกรรมการย่อยสลายเซลลูโลสของแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสในกระเพาะรูเมน 2 ชนิดถูกยับยั้งเมื่อเสริมกลีเซอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อระดับสูง (0.05; v/v) แต่ไม่มีผลกับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรอลระดับต่ำ (<0.01; v/v) และ Paggi *et al.* (2004) พบว่ากิจกรรมการย่อยสลายเซลลูโลสในกระเพาะรูเมนลดลงตามระดับกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ ดังนั้น จึงส่งผลให้การย่อยได้ของเยื่อใย การผลิตกรดอะซิติก และประชากรแบคทีเรียลดลง โดยเฉพาะกลุ่ม *Butyrivibrio fibrisolvens* และ *Ruminococcus albus* (Abo El-nor *et al.*, 2010) ซึ่งสัดส่วนของ $C_2:C_3$ ที่ต่ำกว่าจะช่วยเพิ่มการกักเก็บพลังงาน เพราะการผลิต C_3 ให้ประสิทธิภาพของพลังงานสูงกว่า (Van Soest, 1994)

ส่วนความเข้มข้นของก๊าซ CH_4 (จากการคำนวณ) ในกระเพาะรูเมนที่ชั่วโมงที่ 4 และค่าเฉลี่ยรวมลดลงในรูปแบบเส้นตรง (L , $P = 0.03$ และ 0.01 ตามลำดับ) ตามระดับของกลีเซอรินดิบที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่ากลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการผลิต CH_4 สูงกว่า ($P < 0.05$) กลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการผลิตกรดอะซิติกซึ่งมีค่าสูงที่สุดด้วยเช่นกัน เนื่องจากการผลิตกรดอะซิติกและกรดบิวทริกจะมีก๊าซ CH_4 เกิดขึ้นด้วย จากการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ด้วยไฮโดรเจนที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์กรดทั้ง

สอง แต่สำหรับการสังเคราะห์กรดโฟลิกอินิกจะไม่มีก๊าซ CH_4 เกิดขึ้น ดังนั้น ถ้ามีการสังเคราะห์กรดโฟลิกอินิกมากก็จะมีก๊าซ CH_4 เกิดขึ้นน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการสังเคราะห์กรดอะซิติก และกรดบิวทริกมากกว่าก็จะมีก๊าซ CH_4 เกิดขึ้นมาก ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานทางหนึ่ง นอกเหนือจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก (Van Soest, 1994) สอดคล้องกับ Lee *et al.* (2011) ที่ศึกษาการทดแทนถั่วอัลฟัลฟาเฮย์ (alfalfa hay) และข้าวโพดด้วยกลีเซอรินในหลอดทดลอง (*in vitro*) ในห้องปฏิบัติการ พบว่าสัดส่วนของ $C_2:C_3$ ลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของการผลิตก๊าซ CH_4 อาจเนื่องจากกระบวนการหมักของกลีเซอรินไม่มีผลต่อการทำให้เกิดผลผลิตของไฮโดรเจนมาก (H_2 sink) เพราะสามารถเปลี่ยนผลผลิตจากการหมักคาร์โบไฮเดรตจากการผลิต C_2 เป็น C_3 ซึ่งอาจมีผลต่อสมดุลของอิเล็กตรอน (electron balance) ในกระเพาะรูเมน และลดจำนวนไฮโดรเจนที่สามารถนำไปผลิต หรือสร้างเป็นก๊าซ CH_4 ในกระเพาะรูเมน (Van Soest, 1994)

จากการทดลองนี้ พบว่าจำนวนประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราในกระเพาะรูเมนของแพะไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) และมีค่าเฉลี่ยระหว่าง $1.89-2.23 \times 10^{10}$ และ $1.60-2.22 \times 10^6$ cell/ml ตามลำดับ (ตารางที่ 4) แต่มีแนวโน้มลดลงในรูปแบบเส้นตรง (P , $L = 0.14$ และ P , $L = 0.12$) ตามระดับ CG ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่เสริม CG กับกลุ่มควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์ CG) ซึ่งสอดคล้องกับ Hungate (1966) ที่รายงานว่าการเพิ่มประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราในกระเพาะรูเมน มีค่าอยู่ในช่วง $10^{10}-10^{12}$ และ 10^4-10^6 cell/ml ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า อาหารที่มีระดับ CG ที่สูงในสูตรอาหาร อาจมีผลต่อกระบวนการหมัก และนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนของแพะ แม้ว่าไม่มีผลสมรรถภาพของสัตว์โดยรวม แต่มีแนวโน้มประชากรแบคทีเรีย และเชื้อราลดลงในกลุ่มที่ได้รับ CG ในสูตรอาหารกลุ่มที่ 3 และ 4 (10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ CG) ทั้งนี้เนื่องจาก ระดับกลีเซอรินดิบในสูตรอาหารที่สูงมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ อาจมีผลรบกวนกลุ่มประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Farias *et al.*, 2012) และ Roger *et al.* (1992) พบว่า ระดับกลีเซอรินดิบ (0.05 v/v) สามารถยับยั้งกิจกรรมของ

Table 4 Effects of dietary crude glycerin level on rumen microbes in goats

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

^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)

เอนไซม์จากเชื้อรา (fungal activity; *Neocallimastix frontalis*) และแบคทีเรียที่ย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic activity) เช่น *Ruminococcus flavefaciens* และ *Fibrobacter succinogenes* ขณะที่ไม่มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต การเกาะยึด และ cellulolytic activity ของ *Ruminococcus flavefaciens* และ *Fibrobacter succinogenes* แต่จะยับยั้งเมื่อระดับความเข้มข้น มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประชากรโปรโตซัวทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน (*P*>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.31-2.01x10⁶ cell/ ml ซึ่งสอดคล้องกับ Hungate (1966) รายงานว่า ประชากรโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนมีค่าอยู่ในช่วง 10⁴-10⁶ cell/ ml

ความสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน

ผลของระดับ CG ในสูตรอาหาร TMR ต่อสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน (ตารางที่ 5) ปรากฏว่า ปริมาณการกินได้ของไนโตรเจนทั้งหมด (Total N intake) ปริมาณการขับไนโตรเจน (N excretion) ทั้งในรูปของการขับไนโตรเจนทางปัสสาวะ (Urinary N) ปริมาณการขับไนโตรเจนในมูล (Fecal N) และปริมาณการขับไนโตรเจนทั้งหมด (Total N excretion) ไม่มีความแตกต่างกัน (*P*>0.05) เช่นเดียวกับค่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (Absorbed N) และปริมาณการกักเก็บไนโตรเจนในร่างกาย (Retained N) พบว่าไม่มี

Table 5 Effects of dietary crude glycerin level on nitrogen balance of goats

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

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

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

² Compares the effects of 0% glycerin with the combined glycerin treatment

³ SEM = Standard error of the mean ($n = 4$)

ความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) อาจเนื่องมาจาก ปริมาณการกินได้ทั้งหมดของอาหาร ความสามารถในการย่อยได้ และปริมาณการกินได้ของโภชนะโปรตีนในอาหารไม่แตกต่างกัน ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่แพะได้รับ มีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้อย่างอิสระ และความสามารถในการย่อยได้ เมื่อพิจารณาว่าไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม (% of N intake) และค่ากักเก็บไนโตรเจน (% of N intake) หรือประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (N efficiency) พบว่า ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.67-79.45 และ 55.31-61.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนมีค่าเป็นบวกในแพะทุกกลุ่ม แสดงให้เห็นว่าระดับ CG ในสูตรอาหาร TMR ไม่มีผลต่อค่าความสมดุลของไนโตรเจน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน อาจเนื่องจาก แพะทุกกลุ่มได้รับไนโตรเจนสูงกว่าความต้องการของร่างกาย ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ในกระเพาะรูเมนของแพะทุกกลุ่ม ที่มีค่าเกินระดับที่แนะนำสำหรับการเจริญที่เหมาะสมของจุลินทรีย์ (5-8 mg/dL; Satter and

Slyter, 1974) สำหรับการเจริญเติบโต และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสูงสุด แสดงให้เห็นว่าอาหารที่ใช้ระดับ CG ในสูตรอาหาร TMR สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารสัตว์ได้ และสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี และเพียงพอต่อการดำรงชีพ โดยไม่มีผลกระทบต่อ ปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน สมดุลของไนโตรเจน การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน และสมรรถภาพของสัตว์ สอดคล้องกับรายงานของ Gunn *et al.* (2010a) ที่ศึกษาผลของระดับกลีเซอรินดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0-20 เปอร์เซ็นต์) ในแกะ พบว่าระดับกลีเซอรินดิบในสูตรอาหารผสมเสร็จ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ และสมรรถภาพการเจริญของแกะ ในทางตรงกันข้าม ถ้าสัตว์ได้รับไนโตรเจนจากอาหารน้อยสัตว์จะเพิ่มการกักเก็บไนโตรเจนไว้ในร่างกาย ไนโตรเจนจะถูกขับออกมาทางมูลและปัสสาวะน้อยลง เพื่อเป็นการรักษาสมดุลไนโตรเจนในร่างกาย เนื่องจากสัตว์มีกลไกควบคุมความสมดุลของไนโตรเจนในร่างกาย เมื่อได้รับไนโตรเจนจากอาหารในปริมาณที่ต่ำ โดยไตจะลดการขับยูเรียออกทางปัสสาวะทำ

ให้ยูเรียหมักกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนได้อีก (Church, 1979)

สรุป

กลีเซอรินดิบ (CG) สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารผสมเสร็จระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน และสมดุลไนโตรเจนของแพะ หรือสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง ซึ่งจะเป็นแนวทางในการใช้วัตถุดิบอาหารในท้องถิ่นการลดต้นทุนการผลิต และการเพิ่มผลผลิตกำไร อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาในแพะขุน หรือแพะรีดนมในระยะต่างๆ รวมทั้งวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นในสภาพฟาร์ม หรือการเลี้ยงของเกษตรกรต่อไป

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยได้ขอขอบคุณกองทุนมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2555 (รหัสโครงการ NAT550288S) และขอขอบคุณภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนสถานที่อุปกรณ์และสัตว์ทดลอง รวมทั้งนักศึกษาบัณฑิตศึกษาและบุคลากรทุกท่าน ที่มีส่วนที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ปิ่น จันจุฬา และ อัจฉรา เพ็งหนู. 2557. การทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันหมักยีสต์ในอาหารขึ้นต่อการย่อยได้ และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะรูเมนของแพะ. วารสารเกษตร 30(2): 181-190.
อารีย์วรรณ มีแสง ปิ่น จันจุฬา วันวิศาห์ งามผ่องใส และ อภิชาติ หล่อเพชร. 2554. ผลการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารขึ้นต่อการย่อย

ได้ และนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนของแพะ. วารสารเกษตร 27(1): 87-99.

- Abo El-Nor, S., A. A. Abu Ghazaleh, R. B. Potu, D. Hastings and M. S. A. Khattab. 2010. Effects of different levels of glycerol on rumen fermentation and bacteria. *Animal Feed Science and Technology* 162:99-105.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analyses*, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. 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. *Journal of Animal Science* 91:829-837.
- Bremner, J. M. and D. R. Keeney. 1965. Steam distillation methods of determination of ammonium nitrate and nitrite. *Analytica Chimica Acta* 32: 485-493.
- Church, D. C. 1979. *Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants*. Vol. I. O&B Books Inc. Corvallis. Oregon.
- 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. *Journal of Dairy Science* 87: 4195-4206.
- Dozier, W. A., B. J. Kerr, A. Corzo, M. T. Kidd, E. Weber and K. Bregendals. 2008. Apparent metabolism energy of glycerin for broiler. *Poultry Science* 87: 317-322.
- 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. Animal Sciences 34: 63-69.
- Ferguson, J. D., D. T. Galligan, T. Blanchard and M. Reeves. 1993. Serum urea nitrogen and conception rate: the usefulness of test information. *Journal of Dairy Science* 76: 3742-3746.
- Galyean, M. 1989. *Laboratory Procedure in Animal Nutrition Research*. New Mexico: Department of Animal and Life Science, New Mexico State University.
- 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. *Journal of Animal Science* 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. *The Professional Animal Scientist* 26: 298-306.
- 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. *Journal of Animal Science* 77: 2846-2854.
- Hungate, R. E. 1966. *The Rumen and Its Microbe*. Academic Press, New York. NY.
- Lee, S. Y., S. M. Lee, Y. B. Cho, D. K. Kam, S. C. Lee, C. H. Kim and S. Seo. 2011. Glycerol as a feed supplement for ruminants: In vitro fermentation characteristics and methane production. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 269-274.
- Linke, P. L., J. M. DeFrain, A. R. Hippen and P. W. Jardon. 2004. Ruminant and plasma responses in dairy cows to drenching or feeding glycerol. *Journal of Dairy Science* 87(Suppl.): 343 (Abstr.).
- López, S., F. D. D. Hovell, J. Dijkstra and J. France. 2003. Effects of volatile fatty acid supply on their absorption and water kinetics in the rumen of sheep sustained by intragastric infusions. *Journal of Animal Science* 81: 2609-2616.
- 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. *Journal of Animal Science* 87: 632-638.
- 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. *Journal of Animal Science* 91: 878-885.
- Min, Y. N., F. Yan, F. Z. Liu, C. Coto and P. W. Waldroup. 2010. Glycerin a new energy source for poultry. *International Journal Poultry Science* 9: 1-4.
- Moss, A. R., J. P. Jouany and J. Newbold. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie* 49: 231-253.
- NRC. 1981. *Nutrient Requirements of Goats: Angora, dairy and meat goat in temperate and tropical countries*. National Academy Press, Washington, D. C.

-
- 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. *The Journal of Agricultural Science* 142: 89-96.
- Rémond, B., E. Souday and J. P. Jouany. 1993. In vitro and in vivo fermentation of glycerol by rumen microbes. *Animal Feed Science and Technology* 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. *Current Microbiology* 25: 197-201.
- Samuel, M., S. Sagathewan, J. Thomas and G. Mathen. 1997. An HPLC method for estimation of volatile fatty acids of ruminal fluid. *Indian Journal of Animal Science* 67: 805-807.
- Satter, L. D. and L. L. Slyter. 1974. Effect of ammonia concentration on ruminal microbial protein production in vitro. *British Journal of Nutrition* 32:199-208.
- Schneider, B. H. and W. P. Flatt. 1975. *The Evaluation of Feed Through Digestibility Experiment*. Athens: The University of Georgia Press. Georgia.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. (2nd ed.). McGraw-Hill, New York.
- Sutton, J. D., S. V. Morant, J. A. Bines, D. J. Napper and D. I. Givens. 1993. Effect of altering the starch: fibre ratio in the concentrates on hay intake and milk production by Friesian cows. *The Journal of Agricultural Science* 120: 379-390.
- Thompson, J. C. and B. B. He. 2006. Characterization of crude glycerin from biodiesel production from multiple feedstocks. *Applied Engineering in Agriculture* 22: 261-265.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*, second ed. Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3579-3583.
- 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. *Livestock Science* 121: 15-20.
-