ผลของการทดแทนข้าวโพดด้วยกลีเซอรีนดิบในอาหารผสมเสร็จต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และเมแทบอไลท์ในกระแสเลือดของแพะ

Effects of replacing ground corn with crude glycerin in total mixed ration on feed intake, digestibility of nutrients, rumen fermentation and blood metabolites of goats

ปิ่น จันจุฬา[1*], พัชรินทร์ ภักดีฉนวน[2] และ สุธา วัฒนสิทธิ์[1]

Pin Chanjula[1*], Patcharin Pakdeechanuan[2] and Sutha Wattanasit[1]

บทคัดย่อ: การศึกษาได้กระทำในแพะน้ำหนักเฉลี่ย 26±3.0 กิโลกรัม ใช้แผนทดลองแบบ 4x4 จัตุรัสลาติน ให้ได้รับอาหารผสมเสร็จ 4 สูตรที่มีระดับกลีเซอรีนดิบ (crude glycerin, CG) 0, 5, 10 และ 20% DM ตามลำดับ ให้แพะได้รับอาหารผสมเสร็จอย่างเต็มที่ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้ทั้งหมดของวัตถุแห้ง และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, OM, CP, EE, NDF และ ADF) มีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) เช่นเดียวกับค่าความความเข้มข้นของกลูโคส BHBA และค่า PCV ในกระแสเลือดมีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) แต่ค่าอินซูลินในกระแสเลือดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.002) ตามระดับ CG ในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และ BUN มีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) ยกเว้นกลุ่มที่ได้รับ CG 20% มีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และ BUN ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับ CG 10% จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า สามารถใช้ CG เป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารผสมเสร็จระดับ 20% ได้ในสูตรอาหารแพะ

คำสำคัญ: กลีเซอรีนดิบ, ปริมาณการกินได้, เมแทบอไลท์ในกระแสเลือด, แพะ

ABSTRACT: Four goats with an average live weight of 26±3.0 kg were randomly assigned according to the 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 an *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, EE, NDF, and ADF). Likewise, mean serum glucose, BHBA, and PCV concentrations were not affected (P>0.05) by dietary treatments; whereas serum insulin concentration linearly increased (L, P=0.002) with increasing amounts of CG supplementation. Ruminal pH, NH_3-N, and BUN concentration were unchanged by dietary treatments; except for 20% CG where NH_3-N and BUN were lower (P<0.05) than those of the diet with 10% CG. Based on this study, CG at 20% in total mixed ration could be efficiently utilized in goats.

Keywords: crude glycerin, feed intake, blood metabolites, goat

[1] ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90112
Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla 90112

[2] ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.ปัตตานี 94000
Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus, Pattani 94000

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

บทนำ

อาหารสัตว์นับว่าเป็นปัจจัยหลักของต้นทุนการผลิตสัตว์ ปัจจุบันประเทศไทยต้องสูญเสียเงินในการนำเข้าวัตถุดิบอาหารสัตว์จากต่างประเทศ โดยเฉพาะข้าวโพด และกากถั่วเหลืองเป็นจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อเป็นการสนับสนุนการเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรให้มีผลกำไรมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยการใช้ทรัพยากรอาหาร หรือผลพลอยได้ที่มีศักยภาพภายในท้องถิ่นภายในประเทศมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ เช่น ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม ได้แก่ กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (palm kernel cake, PKC) และกลีเซอรีนดิบ (crude glycerin, CG) เป็นต้น CG ($C_3H_8O_3$) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) ปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการผลิตไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาประมาณ 10% ของน้ำหนักน้ำมันใช้ผลิตไบโอดีเซลถูกเปลี่ยนไปเป็นกลีเซอรีน หรือประมาณ 0.3 กิโลกรัมต่อการผลิตไบโอดีเซล 3.78 ลิตร (Thompson and He, 2006) และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า CG มีส่วนประกอบที่เป็นไขมัน (lipid) อยู่ประมาณ 25-35% ของวัตถุแห้ง กรดไขมันที่พบคือ ปาล์มมิติก (palmitic, C16:0) สเตียริก (stearic, C18:0) โอเลอิก (oleic, C18:1) และลิโนเลอิก (linoleic, C18:2) มีแร่ธาตุที่พบได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส และกำมะถัน พบอยู่ในปริมาณ 4-163 ppm (Thompson and He, 2006) โดย CG ที่มีส่วนประกอบของกลีเซอรีนบริสุทธิ์ 86.95% มีค่าพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 3.625 Mcal/kg DM (Dozier et al., 2008) ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทให้พลังงานได้บางส่วน เช่น ในอาหารสัตว์ปีก (Dozier et al., 2008) อาหารสุกร (Lammers et al., 2007) อาหารโคเนื้อ (Schröder and Südekum, 1999) และอาหารแกะ (Gunn et al., 2010a, b) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมี และการใช้ประโยชน์ได้ของ CG เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนแหล่งพลังงาน เช่น ข้าวโพด ในอาหารแพะยังมีจำกัด ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ CG ระดับต่างๆ ในสูตรอาหารต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และเมแทบอไลท์ในกระแสเลือดของแพะ

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลอง แผนการทดลอง และการเตรียมอาหารทดลอง

ใช้แพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50% อายุประมาณ 18 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 26±3.0 กิโลกรัม จำนวน 4 ตัว ทำการสุ่มให้ได้รับทรีทเมนต์ตามแผนการทดลองแบบ 4x4 จัตุรัสลาติน (4x4 Latin square design) โดยได้รับอาหารผสมเสร็จ (TMR) ที่ประกอบด้วย CG ที่ระดับ 0, 5, 10 และ 20% ในสูตรอาหารที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ทุกสูตรคำนวณให้มีระดับโภชนะตามความต้องการของแพะ ตามคำแนะนำของ NRC (1981) (Table 1) CG ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก บจ. นิว ไบโอดีเซล (New Biodiesel Co., Ltd.) จ.สุราษฎร์ธานี ผลิตมาจากน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) มีค่าเฉลี่ยของความชื้น เถ้ารวม โปรตีนรวม ไขมันรวม และพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 8.07%, 3.34%, 0.01%, 0.30% และ 3,989.82 kcal/kg และมีกลีเซอรีนรวมเท่ากับ 86.72% เมทานอล 0.64% กรดไขมันอิสระ 0.71% ค่าความกรด-ด่าง 9.48 ความหนาแน่น 1.27 ความถ่วงจำเพาะ 1.25 และค่าความหนืด 10.06 (ปิ่น และคณะ, 2556)

แพะแต่ละตัวถูกเลี้ยงในคอกศึกษาการย่อยได้ (metabolism crate) ขังเดี่ยวยกพื้น จำนวน 4 คอก มีรางอาหาร อาหาร และที่ให้น้ำอยู่ด้านหน้า ทำการทดลอง 4 ช่วงๆ ละ 21 วัน ซึ่งประกอบด้วย ระยะปรับตัว (adaptation period) 14 วัน และระยะทดลอง (experimental period) 7 วัน โดยในระยะปรับตัวให้

แพะได้รับอาหารผสมครบส่วนแบบเต็มที่ โดยให้วันละ 2 ครั้ง ในเวลา 07.00 น. และ 16.00 น. ทำการวัดปริมาณอาหารที่ให้ และอาหารที่เหลือทั้งในช่วงเช้าและช่วงเย็นของทุกวันเพื่อหาปริมาณการกินได้ ส่วนในระยะทดลอง ให้แพะได้รับอาหารตามกลุ่มทดลองเหมือนระยะปรับตัว แต่ลดปริมาณอาหารหยาบที่ให้เหลือเพียง 90%ของปริมาณที่กินได้ในช่วงระยะปรับตัว

การเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของแพะ โดยชั่งน้ำหนักก่อนเข้าช่วงการทดลองและในวันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารหยาบและอาหารข้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อมาหาค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง อีกส่วนหนึ่งสุ่มเก็บจากแต่ละช่วงของการทดลอง อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (DM, ash, CP และ EE) ตามวิธีการของ AOAC (1990) และวิเคราะห์ค่า detergent fiber (NDF, ADF และ ADL) ตามวิธีการของ Van Soest et al. (1991)

สุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะรูเมน (rumen fluid) ของสัตว์ทดลองแต่ละกลุ่ม ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร โดยใช้วิธีการ stomach tube ร่วมกับ vacuum pump ในวันสุดท้ายของแต่ละระยะทดลองปริมาณ 100 มล. นำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่างทันทีโดยใช้ pH meter (HANNA instruments HI 98153 microcomputer pH meter) หลังจากนั้นสุ่มเก็บประมาณ 20 มล. เติม 1M H_2SO_4 จำนวน 2 มล. เพื่อวิเคราะห์หาแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen, NH_3-N) โดยวิธีการกลั่น (Bremner and Keeney, 1965) โดยใช้เครื่อง KJELTEC AUTO 2200 Analyzer (Foss, TECATOR) เก็บตัวอย่างเลือด ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหารในวันสุดท้ายของแต่ละระยะทดลอง โดยเก็บจากเส้นเลือดดำใหญ่บริเวณคอ (jugular vein) ปริมาณ 3 มล. ใส่หลอดที่มีเฮพพารีน (heparinized) เพื่อป้องกันไม่ให้เลือดแข็งตัว นำมาปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีและเก็บส่วนพลาสมา (plasma) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาระดับยูเรียในเลือด (blood urea-nitrogen, BUN) (Crocker, 1967) โดยใช้เครื่อง spectrophotometer และวิเคราะห์ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดใช้วิธี GOD-PAP method โดยใช้น้ำยาสำเร็จรูป (Glucose Liquicolor®, Germany) ปริมาตรเม็ดโลหิตแดงอัดแน่น (pack cell volume, PCV), insulin และ β-hydroxybutyrate (BHBA) (LiquiColor Procedure No. 2440, Stanbio Laboratory, Boerne, TX) นอกจากนี้ ทำการเก็บมูลและปัสสาวะทั้งหมด (total collection) โดยเก็บ 5 วันติดต่อกันในช่วงท้ายของการทดลอง แล้วทำการสุ่มเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีและคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะตามวิธีการของ Schnieder and Flatt (1975) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) ตามแผนการทดลอง 4x4 จัตุรัสลาติน โดยใช้ Proc GLM (SAS Inst. Inc., Cary, NC) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test และศึกษาแนวโน้มการตอบสนองของการเพิ่มระดับ CG ด้วยวิธี Orthogonal polynomial (Steel and Torrie, 1980)

ผลการทดลอง และวิจารณ์

ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารผสมเสร็จที่ใช้ในการทดลอง ที่ประกอบด้วยข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง หญ้าพลิแคทูลั่มแห้ง และ CG ระดับต่างๆ (**Table 1**) พบว่ามีค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง (DM) เถ้ารวม (ash) อินทรียวัตถุ (OM) ไขมัน (EE)

และโปรตีนหยาบ (CP) ใกล้เคียงกัน โดยมีโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 15.31-15.45% (2.45-2.47% N) ขณะที่ ผนังเซลล์ (NDF) อยู่ในช่วง 38.24-44.07% ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL) อยู่ในช่วง 19.07-20.00 และ 4.47-5.50% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural carbohydrates, NSC) พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับ CG ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ขณะที่ค่า NDF มีค่าลดลง ซึ่งความแตกต่างของ NDF, NSC และองค์ประกอบอื่นๆ อาจเนื่องมาจาก ความแตกต่างของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร และสัดส่วนที่ใช้ในสูตร โดยเฉพาะ CG ที่ใช้ทดแทนข้าวโพดบดในการทดลองครั้งนี้ไม่มีองค์ประกอบสารเยื่อใย หรือผนังเซลล์สอดคล้องกับรายงานของ Gunn et al. (2010a) ที่รายงานว่า องค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรีนไม่มีองค์ประกอบสารเยื่อใย หรือผนังเซลล์ใน CG

ปริมาณการกินได้ของอาหาร

การใช้สูตรอาหารผสมเสร็จ ที่มีระดับ CG ต่างกัน (0, 5, 10 และ 20% ตามลำดับ) ต่อปริมาณการกินได้อย่างอิสระ (voluntary feed intake, VFI) (%DM) ของอาหารในแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยแต่ละกลุ่ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ทั้งในแง่ของปริมาณการกินได้ทั้งหมดทั้งที่คิดเป็นปริมาณเฉลี่ย (kg/d) และคิดเป็น % ของน้ำหนักตัว (%BW) หรือกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแมแทบอลิก (g/kg $W^{0.75}$) ของทุกกลุ่ม โดยปริมาณการกินอาหารได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.908-0.970 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน (**Table 2**) สอดคล้องกับรายงานของ Gunn et al. (2010a) ที่ศึกษาผลของระดับ CG ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกัน (0-20%) ในแกะ พบว่าระดับ CG ในสูตรอาหารผสมเสร็จ 10-20% ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ และสมรรถภาพการเจริญของแกะ ขณะที่พบว่า ระดับ CG ในสูตรอาหารผสมเสร็จมากกว่า 20-30% ปริมาณการกินได้ทั้งหมด สมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากลดลงตามระดับระดับ CG ในสูตรอาหารผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (Gunn et al., 2010a, b) และการให้อาหารที่มีระดับ CG สูง 45% DM มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ทั้งหมดของวัตถุแห้งลดลงในรูปแบบเส้นตรง (Gunn et al., 2010b) มากกว่านั้นทำให้การย่อยได้ของเยื่อใย การผลิตกรดอะซีติค และประชากรแบคทีเรียลดลง (Abo El-nor et al., 2010) ซึ่งกลีเซอรีนเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมนสามารถเปลี่ยนแปลงได้ 3 ทาง คือ 1) ถูกส่งผ่านไปยังระบบทางเดินอาหารส่วนล่าง (lower gut) 2) ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน และถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสที่ตับ และ 3) ถูกหมักย่อยเป็นกรดโพรพิออนิคส่งผลให้ความเข้มข้นของกลูโคสในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น (Krehbiel, 2008)

ความสามารถในการย่อยได้ และปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร

สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ และปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ (**Table 3**) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม ไขมัน NDF และ ADF มีค่าอยู่ในช่วง 71.92-75.86, 73.37-77.27, 75.73-79.28, 53.67-61.30 และ 29.82-43.05% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ NDF มีแนวโน้มลดลง (L, P=0.15) ตามระดับ CG ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร อาจเนื่องจาก กลีเซอรอลมีผลต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่ง Roger et al. (1992) ได้แสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโต การเกาะจับ และกิจกรรมการย่อยสลายเซลลูโลสของแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสในกระเพาะรูเมน (ruminal cellulolytic species) 2 ชนิดถูกยับยั้งเมื่อเสริมกลีเซอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อระดับสูง (0.05; v/v) แต่ไม่มีผลกับกลุ่มที่เสริมกลีเซอรอลระดับต่ำ (<0.01; v/v) และ Paggi et al. (2004) พบว่า กิจกรรมการย่อยสลายเซลลูโลสในกระเพาะรูเมนลดลงตามระดับกลี เซอรอลที่เพิ่มขึ้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ ดังนั้น จึงส่งผลให้การย่อยได้ของเยื่อใย การผลิตกรดอะซีติค และประชากรแบคทีเรียลดลง โดยเฉพาะกลุ่ม *Butyrivibrio fibrisolvens* และ *Ruminococcus albus* (Abo El-nor et al., 2010) แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มที่เสริม CG สอดคล้องกับการทดลองของ Rémond

et al. (1993) ที่รายงานว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณการกินได้ และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ เมื่อ CG ทดแทนแป้งในการทดลองหาความสามารถในการย่อยได้ แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และ Avila-Stagno et al. (2013) พบว่าปริมาณการกินวัตถุแห้งได้ (DMI) ลิกโนเซลลูโลส (ADFI) พลังงานรวม (GE) และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DMD, CPD, NDFD และ ADFD) ไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณการกินได้ของ NDFI และ CPI มีแนวโน้มลดลง (P= 0.10 และ 0.06 ตามลำดับ) เช่นเดียวกับการทดลองเมื่อใช้ CG ทดแทนถั่วอัลฟัลฟ่าในอาหารโค (Schröder and Südekum, 1999) หรือข้าวสาลีในการทดลองด้วยวิธีการในหลอดทดลอง (*in vitro*) (Krueger et al., 2010) พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ในทางตรงกันข้าม Wang et al. (2009) รายงานว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมกลีเซอรอลในอาหารระดับ 0-3.3% ในโคที่ได้รับพืชอาหารสัตว์เป็นหลัก และ Avila et al. (2013) ที่รายงานว่า การย่อยได้ในหลอดทดลอง (IVDMD) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรงเมื่อเสริมกลีเซอรอลทดแทนข้าวบาร์เลย์ระดับ 0-21% DM ในสูตรอาหารโคขุนที่มีระดับข้าวบาร์เลย์ 50% ทำนองเดียวกับการศึกษาในแม่โครีดนม พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (DM, OM, N และ GE) เพิ่มขึ้น ตามระดับ CG ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร (Donkin et al., 2009)

ผลผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน

อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมน

ผลของระดับ CG ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่างกันต่ออุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (**Table 4**) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกระเพาะรูเมนของแพะในแต่ละช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแต่ละกลุ่ม โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของอุณหภูมิในกระเพาะรูเมนค่อนข้างคงที่ (39.10-39.35 °C) ซึ่งเป็นระดับที่ปกติและเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (38-40 °C) (Van Soest, 1994) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือ pH ภายในกระเพาะรูเมนของแพะในแต่ละช่วงเวลาก็ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มเช่นกัน (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างคงที่ (6.48-6.53) สอดคล้องกับการทดลองของ Abo El-nor et al. (2010) ที่รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีนไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.53-6.57 ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้ และเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic bacteria) และการย่อยของโปรตีน (6.0-7.0) (Russell and Wilson, 1996) สอดคล้องกับรายงานของเมธา (2533) ที่รายงานว่า ระดับ pH ที่เหมาะสมในกระเพาะรูเมนอยู่ในช่วง 6.5-7.0 และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่า pH ตามช่วงเวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร พบว่า ค่า rumen pH ลดต่ำลง (6.25-6.42) ในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร ซึ่งอาจเนื่องมาจากเป็นช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการหมักสูงสุด

ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และระดับยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด

ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) ในกระเพาะรูเมนที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวม พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ยกเว้น กลุ่มที่ 4 (20% CG) ค่า NH_3-N ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ทำนองเดียวกับการศึกษาของ Wang et al. (2009) ที่รายงานว่า โคขุนกลุ่มที่ได้รับกลีเซอรีนที่ระดับ 0-300g/hd/d มีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลง ขณะที่ Abo El-nor et al. (2010) รายงานว่า การเสริมกลีเซอรีนไม่มีผลต่อค่า NH_3-N อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ NH_3-N มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของ NH_3-N อยู่ในช่วง 20.29-21.86 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสม 10-30 mg/dL (Ferguson et al., 1993) สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ทำนองเดียวกับ Preston and Leng (1987) รายงานว่า ระดับ NH_3-N 5-25 mg/dL เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของ

จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสัตว์ ชนิดของอาหาร โดยเฉพาะแหล่งคาร์โบไฮเดรต ปริมาณโปรตีนที่กินได้ ศักยภาพในการเกิดกระบวนการหมักของอาหาร ความสามารถในการย่อยสลายได้ของโปรตีน และสภาพนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสม (Erdmen et al., 1986)

ส่วนค่าค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (BUN) ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ยกเว้น กลุ่มที่ 4 (20% CG) ค่า BUN ต่ำกว่ากลุ่มอื่น (P<0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในช่วง 19.35-21.36 mg/dl แม้ว่าค่า BUN มีค่าแตกต่างกัน แต่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ 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) ที่รายงานว่า ค่าของ BUN มีสหสัมพันธ์สูง (highly correlation) กับปริมาณโปรตีนที่กินได้ และสัมพันธ์กับระดับการผลิตแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน

ความเข้มข้นของอินซูลิน กลูโคส เบต้าไฮดรอกซีบิวทีเรท และปริมาตรเม็ดโลหิตแดงอัดแน่นในกระแสเลือด

ค่าทางโลหิตวิทยาของร่างกายต่างๆ สามารถบ่งชี้ความสมดุลทางสรีระของร่างกายสัตว์ ตัวชี้วัดที่ดีสำหรับสุขภาพสัตว์ และระดับโภชนาการของสัตว์คือ ค่าความเข้มข้นของกลูโคส (glucose, Glu) ปริมาตรเม็ดโลหิตแดงอัดแน่น (pack cell volumn, PCV) เบต้าไฮดรอกซีบิวทีเรท (β-hydroxybutyrate, BHBA) ระดับโปรตีนในซีรั่ม (total serum protein, TSP) และระดับโปรตีนอัลบูมินในซีรั่ม (serum albumin, SA) และยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (blood urea nitrogen, BUN) เป็นต้น กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของสัตว์ทุกชนิด ในสัตว์เคี้ยวเอื้องกลูโคสเป็นสารตั้งต้น (precursor) ที่สำคัญในการสังเคราะห์น้ำตาลแลคโตส (lactose) และกลีเซอรอล (glycerol) ผลของระดับ CG ในสูตรอาหารผสมเสร็จต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ glucose, BHBA และค่า PCV ในกระแสเลือดที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) (**Table 5**) แต่ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร ค่ากลูโคสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับ CG ในสูตรอาหาร (L, P= 0.09) โดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในช่วง 67.36-75.73 mg/dl, 4.62-5.75 mg/dl และ 29.12-31.25% ตามลำดับ อาจเนื่องจาก กลีเซอรีนเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส สอดคล้องกับรายงานของ Johns (1953) ที่รายงานว่าในสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถเปลี่ยนกลีเซอรีน หรือกลีเซอรอลไปเป็นกรดโพรพิออนิค (propionic acid, C_3) อย่างรวดเร็วในกระเพาะรูเมน และถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน ดังนั้น กลีเซอรอลเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์กลูโคสในตับ และไต (Krehbiel, 2008) เพื่อเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของเซลล์ อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของกลูโคสในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติในแพะ คือ 50-75 mg/dL (2.77 ถึง 4.16 mmol/L) (Kaneko, 1980) เช่นเดียวกับค่า PCV ที่รายงานโดย Jain (1993) รายงานว่า ค่า PCV ที่ปกติของแพะอยู่ในช่วง 22-38% ซึ่งค่า PCV หรือค่าฮีมาโตคริต (hematocrit) เป็นดัชนีที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้วินิจฉัยหรือประเมินความสมบูรณ์ของร่างกายแพะและสุขภาพสัตว์เบื้องต้นว่า สัตว์มีความผิดปกติของเลือดหรือไม่ โดยหากค่า PCV ต่ำกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรคโลหิตจาง (anemia) ในทางตรงกันข้ามหากค่า PCV สูงกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรคโพลีซัยธีเมีย (polycythemia) ซึ่งเกิดจากการสร้างเม็ดเลือดแดงที่มากผิดปกติ (Jain, 1993)

ส่วนระดับอินซูลิน (insulin) ที่เวลา 0 ชั่วโมงก่อนการให้อาหารพบว่า พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.11) ตามระดับ CG ในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และค่าเฉลี่ยรวมพบว่าค่าอินซูลินในกระแสเลือดมีความแตกต่างกัน (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับ CG ที่ 0% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมี

นัยสำคัญ (P<0.05) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเส้นตรง (L, P= 0.001 และ 0.001 ตามลำดับ) ตามระดับ CG ในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในกลุ่มที่ได้รับ CG ที่ 10 และ 20% 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 1 Ingredients and chemical composition of goat diets containing increasing amounts of crude glycerin (% DM basis).

	Dietary crude glycerin (%DM)[1]				Crude glycerin[2]
Item	0	5	10	20	
Ingredients, %					
Crude glycerin, 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]					
DM, %	86.94	86.77	85.85	85.99	91.93
Ash, %DM	6.48	6.21	6.41	6.53	3.34
OM, %DM	93.52	93.79	93.59	93.47	96.66
CP, %DM	15.44	15.32	15.31	15.45	0.01
EE, %DM	2.62	2.12	2.25	2.15	0.30
NSC[5], %DM	31.39	34.05	37.79	36.79	-
NDF, %DM	44.07	42.33	38.24	39.08	-
ADF, %DM	19.44	19.97	20.00	19.07	-
ADL, %DM	5.22	5.50	4.47	5.46	-

[1]Level of crude glycerin (CG) = 0%, 5%, 10%, and 20%.

[2]Contained 87.61% of glycerin, 0.0045% of calcium, 0.0059% of phosphorus, 1.24% of sodium, 1.56% of chloride, 0.64% of methanol and 3989.82 GE kcal/kg (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 levels of dietary crude glycerin on feed intake of goats.

Item	Dietary crude glycerin, %DM				SEM[3]	Contrasts, *P*-value[1]			
	0	5	10	20		0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
DMI (kg/d)									
Total DMI, kg/d	0.91	0.95	0.97	0.92	0.03	0.50	0.83	0.31	0.74
DMI, %BW	2.82	3.12	3.23	2.89	0.14	0.38	0.78	0.22	0.82
DMI, g/kg $W^{0.75}$	67.29	73.36	75.69	68.49	3.12	0.39	0.79	0.21	0.80
OMI, kg/d	0.85	0.89	0.92	0.86	0.03	0.44	0.77	0.27	0.70
CPI, kg/d	0.14	0.15	0.15	0.14	0.01	0.57	0.83	0.41	0.75
NDFI, kg/d	0.40	0.40	0.37	0.36	0.01	0.27	0.07	0.71	0.57
ADFI, kg/d	0.18	0.19	0.19	0.17	0.01	0.35	0.99	0.08	0.67

[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 3 Effects of levels of dietary crude glycerin on apparent digestibility and digestible nutrient intake of goats.

Item	Dietary crude glycerin, %DM				SEM[3]	Contrasts, *P*-value[1]			
	0	5	10	20		0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Apparent total tract digestibility, %									
DM	71.92	75.22	74.22	75.86	3.60	0.38	0.44	0.79	0.62
OM	73.37	76.48	76.28	77.27	3.32	0.33	0.38	0.71	0.73
CP	75.73	79.21	79.45	79.28	3.17	0.31	0.42	0.54	0.83
EE	82.41	83.50	84.98	85.06	2.07	0.36	0.30	0.77	0.58
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
Digestible nutrient intake, kg/d									
DOM	0.642	0.677	0.659	0.664	0.04	0.24	0.43	0.28	0.87
DCP	0.106	0.114	0.118	0.112	0.01	0.26	0.47	0.27	0.83
DNDF	0.246	0.244	0.205	0.188	0.02	0.16	0.02	0.67	0.50
DADF	0.065	0.080	0.072	0.056	0.01	0.82	0.31	0.11	0.84

[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 levels of dietary crude glycerin on rumen fermentation characteristics and blood urea nitrogen of goats.

Item	Dietary crude glycerin, %DM				SEM[3]	Contrasts, *P*-value[1]			
	0	5	10	20		0 vs. glycerin[2]	L	Q	C
Temperature, °C									
0 h-post feeding	39.20	39.30	39.00	39.10	0.15	0.60	0.62	0.67	0.80
4	39.50	39.40	39.20	39.40	0.24	0.38	0.53	0.29	0.64
Mean	39.35	39.30	39.10	39.25	0.16	0.77	0.83	0.23	0.53
Ruminal pH									
0 h-post feeding	6.63	6.62	6.71	6.55	0.09	0.95	0.74	0.51	0.46
4 h-post feeding	6.42	6.36	6.25	6.41	0.07	0.54	0.79	0.34	0.55
Mean	6.53	6.51	6.48	6.48	0.06	0.72	0.70	0.89	0.93
NH_3-N, mg/dL									
0 h-post feeding	20.95	21.07	20.75	20.02	0.64	0.89	0.86	0.88	0.75
4 h-post feeding	21.59^{ab}	22.64^{ab}	22.90^{a}	20.57^{b}	0.63	0.86	0.85	0.77	0.46
Mean	21.27^{ab}	21.86^{a}	21.83^{a}	20.29^{b}	0.42	0.98	0.99	0.82	0.56
BUN, mg/dL									
0 h-post feeding	20.87	23.20	19.57	19.32	1.29	0.93	0.33	0.49	0.27
4 h-post feeding	21.65^{ab}	25.80^{a}	21.37^{ab}	19.37^{b}	1.56	0.82	0.23	0.14	0.24
Mean	21.26^{ab}	24.50^{a}	20.47^{ab}	19.35^{b}	1.36	0.93	0.26	0.26	0.24

[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).

Table 5 Effects of levels of dietary crude glycerin on blood metabolites in goats.

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

[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).

สรุปและข้อเสนอแนะ

กลีเซอรีนดิบสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารผสมเสร็จระดับ 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และเมแทบอไลท์ในกระแสเลือดของแพะ หรือสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง ซึ่งจะเป็นลู่ทางในการใช้วัตถุดิบอาหารในท้องถิ่นการลดต้นทุนการผลิต และการเพิ่มผลผลิตกำไร อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาในแพะขุนหรือแพะรีดนมในระยะต่างๆ รวมทั้งวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นในสภาพฟาร์ม หรือการเลี้ยงของเกษตรกรต่อไป

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณกองทุนมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยประจำปี พ.ศ. 2555 (รหัสโครงการ NAT550288S) และขอขอบคุณภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์และสัตว์ทดลอง รวมทั้งนักศึกษาบัณฑิตศึกษาและบุคลากรทุกท่าน ที่มีส่วนที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดียิ่ง

เอกสารอ้างอิง

ปิ่น จันจุฬา, พัชรินทร์ ภักดีฉนวน และสุธา วัฒนสิทธิ์. 2556. ผลของกลีเซอรีนดิบในสูตรอาหารแพะต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะกระบวนการหมัก สมดุลไนโตรเจน และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของแพะ. รายงานวิจัย. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี่พลับบลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.

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.

AOAC. 1990. Official Methods of Analyses, 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.

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.

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

Crocker, C. L. 1967. Rapid determination of urea nitrogen in serum or plasma without deproteinzation. Am. J. Medical Techn. 33: 361-365.

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.

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.

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: 1474-1479.

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.

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.

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.

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

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

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

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

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.

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

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

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. J. Agric. Sci. 142: 89-96.

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.

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

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

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.

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

Thompson, J. C., and B. B. He. 2006. Characterization of crude glycerin from biodiesel production from multiple feedstocks. Appl. Eng. Agr. 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 fire and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 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. Livest. Sci. 121: 15–20.