

ผลของกลีเซอรินดิบในอาหารต่อองค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลง คุณภาพของน้ำนมแพะสเตอริไลส์ระหว่างการเก็บ

Effect of crude glycerin in goat ration on composition and qualities changes of sterilized goat milk during storage

ดีลา เถาะ¹, พัชรินทร์ ภัคดีฉนวน^{1*} และ ปิ่น จันจุฬา²

Deela Toh¹, Patcharin Pakdeechnuan^{1*} and Pin Chanjula²

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของระดับกลีเซอรินดิบ (crude glycerin, CG) ในอาหารขึ้นต่อปริมาณการกินได้ องค์ประกอบของน้ำนมดิบ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำนมแพะสเตอริไลส์ระหว่างการเก็บ โดยสุ่มแพะให้ได้รับอาหารทดลอง 3 สูตร คือ อาหารขึ้นที่มีระดับ CG 0%, 5% และ 10% DM ตามลำดับ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) ใช้แพะนมลูกผสมเลือดซาเนน 75% จำนวน 12 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 49 ± 3.0 กิโลกรัม ซึ่งมีจำนวนวันของการให้นมเฉลี่ย 60 ± 12 วัน โดยแพะนมทุกตัวได้รับสัดส่วนอาหารขึ้นต่อปริมาณน้ำนมเป็น 1 ต่อ 2 และให้กินหญ้าที่สดเป็นอาหารหยาบแบบเต็มที ผลการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้ และองค์ประกอบน้ำนมของแพะทุกกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นกลุ่มที่ได้รับ CG 5% มีปริมาณไขมัน และปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ($P < 0.05$) ขณะที่ปริมาณน้ำตาลแล็กโทสในน้ำนมเพิ่มขึ้นตามระดับ CG ในอาหารขึ้นที่เพิ่มขึ้น ($P > 0.05$) และเมื่อนำนํ้านมแพะไปสเตอริไลส์เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 3 เดือน พบว่า กลุ่มที่ได้รับ CG ในอาหาร ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงของสี การเกิดตะกอน และการเกิดออกซิเดชันสูงกว่าชุดควบคุมเล็กน้อย จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า ระดับการเสริม CG 5% จะมีผลให้นํ้านมมีองค์ประกอบหลักที่สูงที่สุด และการเสริม CG ที่ระดับ 5-10% ในอาหารขึ้น ยังคงทำให้คุณภาพของน้ำนมแพะสเตอริไลส์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมสด มอก.738-2530

คำสำคัญ: น้ำนมแพะ, กลีเซอรินดิบ, องค์ประกอบทางเคมี, น้ำนมสเตอริไลส์, คุณภาพนมแพะสเตอริไลส์

ABSTRACT: Studying on effect of crude glycerin (CG) in goat ration on feed intake, milk composition and qualities of goat milk product were investigated. Twelve 75% crossbred Saanen dairy goats (BW 49 ± 3.0 kg) with 60 ± 12 days in milk were randomly assigned to a completely randomized design to evaluate the effect of 3 dietary crude glycerin (CG) levels in concentrate i.e. 0, 5 and 10% on feed intake, milk composition and some qualities changes of sterilized goat milk during storage. The goats were offered the treatment concentrate at a ratio to milk yield at 1:2. Ruzi grass was given on an *ad libitum* basis as roughage. The results revealed that total DM intake and milk composition were similar among treatments, except for 5% of CG, milk fat, and total solid were higher ($P < 0.05$) than other treatments, whereas lactose increased ($P > 0.05$) as increasing CG levels in concentrate. Storing sterilized goat milk for 3 months found changes of color, sediment and oxidation in CG treated group slightly higher than the control. Concluding of this study was supplementing 5% CG in concentrate obtained the highest major components of milk. Sterilized goat milk products still had quality conforming to the regulation of milk product in Thai Industrial Standard (TIS 738-2530) when 5-10% CG were supplemented in goat ration.

Keywords: goat milk, crude glycerin, chemical compositions, sterilized milk, qualities of sterilized goat milk

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.ปัตตานี 94000

Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, 94000

² ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90112

Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

* Corresponding author: patcharin.p@psu.ac.th

บทนำ

กลีเซอริน หรือกลีเซอรอลเป็นสารประกอบที่มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ (Donkin et al., 2009) เป็นผลพลอยได้ (by product) ที่เกิดจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (biodiesel) (Thomson and He, 2006) ซึ่งมีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น (Crandall, 2004) กลีเซอรินมีค่าพลังงานงานรวม (gross energy) 3,173-6,021 กิโลแคลอรี/กก. (Dozier et al., 2008) และมีราคาถูกเพียง 4.50 บาท/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดที่มีราคาสูงถึง 12 บาท/กิโลกรัม จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์ (Wang et al., 2009; Meale et al., 2013) เพื่อลดต้นทุน โดยกลีเซอรินสามารถถูกเปลี่ยนเป็นกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) ในกระเพาะรูเมน และเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์กลูโคสที่ตับโดยผ่านกระบวนการ gluconeogenesis (Krehbiel, 2008) แต่การใช้กลีเซอรินในอาหารสัตว์ต้องคำนึงถึงปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะ และเมแทบอลิซึมของแพะ (ปิ่น และคณะ, 2557ก และ ข) และในกรณีของแพะนม จำเป็นต้องคำนึงถึงผลผลิตน้ำนม คุณภาพของน้ำนมดิบและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การศึกษาการใช้กลีเซอรินผสมในสูตรอาหารสัตว์ โดยส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในโคนม เช่น Wang et al. (2009) ได้รายงานว่าการใช้กลีเซอรินในระดับ 0-300 กรัม ผสมในอาหารต่อหนึ่งวันสำหรับโคนมพันธุ์โฮลสไตน์มีผลให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น และน้ำนมโคมีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสในน้ำนมเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ Wilbert et al. (2013) ได้ศึกษาการเสริมกลีเซอริน 4 ระดับ คือ 0, 40, 80 และ 120 กรัม/กิโลกรัมของวัตถุดิบในโคนมพันธุ์เจอร์ซี่ (Jersey) พบว่า การเสริมกลีเซอรินในอาหารโคนมปริมาณ 120 กรัม/กิโลกรัมของวัตถุดิบมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนในน้ำนม แต่การเสริมกลีเซอรินที่ระดับ 40-120 กรัม/กิโลกรัมของวัตถุดิบ ไม่มีผลแตกต่างของผลผลิตน้ำนมหรือองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม สำหรับการศึกษาผล

ของการเสริมกลีเซอรินในแพะนมยังพบรายงานที่จำกัด การศึกษาครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกลีเซอรินดิบ (crude glycerin, CG) ระดับต่างๆ ในสูตรอาหารแพะนมต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมดิบ และทดลองนำน้ำนมดิบมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สเตอริไลส์เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำนมสเตอริไลส์ ระหว่างการเก็บเป็นเวลา 3 เดือน

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลอง และการเตรียมอาหารทดลอง

ใช้แพะลูกผสมเลือดชาเนน 75% เพศเมีย น้ำหนักเฉลี่ย 49 ± 3.0 กิโลกรัม จำนวน 12 ตัว และให้น้ำนมมาแล้ว (day in milk, DIM) เฉลี่ย 60 ± 12 วัน โดยสัตว์ทุกตัวได้รับการถ่ายพยาธิภายในตัว และวิตามิน AD_3E ก่อนเข้าทดลองอย่างน้อย 1 สัปดาห์ เลี้ยงในคอกขังเดี่ยวยกพื้นจำนวน 12 คอก มีรางอาหารหยاب อาหารชั้น และที่ให้น้ำอยู่ด้านหน้า ทำการสุ่มแพะให้ได้รับพรีทเมนต์ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยสัตว์ได้รับอาหารชั้นที่ประกอบด้วยกลีเซอรินดิบ (crude glycerin, CG) ที่ระดับ 0, 5 และ 10% ในสูตรอาหารที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ทุกสูตรได้คำนวณให้มีระดับโภชนะตามความต้องการของแพะ ตามคำแนะนำของ NRC (1981) (Table 1) CG ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้รับอนุเคราะห์จาก บจ. นิวไบโอดีเซล จ. สุราษฎร์ธานี ซึ่งผลิตมาจากน้ำมันปาล์มดิบ มีค่าเฉลี่ยของความชื้นและพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 8.07% และ 3,989 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และมีกลีเซอรินรวมเท่ากับ 87.61% เมทานอล 0.64% กรดไขมันอิสระ 0.71% ค่าความกรด-ด่าง 9.48 ความหนาแน่น 1.27 ความถ่วงจำเพาะ 1.25 และค่าความหนืด 10.06 (Chanjula et al., 2014) ทำการทดลองโดยแบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงปรับตัวของแพะ (preliminary period) ให้คุ้นเคยกับอาหารทดลองมีระยะเวลา 14 วัน และช่วงทดลอง (experimental period) ใช้ระยะเวลา 49 วัน โดยทั้ง 2 ช่วงการทดลองให้แพะได้รับหญ้า

รูซึ่งสุดท้ายการเก็บเกี่ยวช่วง 60-70 วัน ตัดขนาด 1-2 เซนติเมตร กินแบบเต็มที่ร่วมกับการให้อาหารขึ้นตามสัดส่วนของอาหารขึ้นต่อน้ำนม 1: 2 วันละ 2 ครั้งในเวลา 07.00 และ 16.00 น. ทำการชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารที่ให้ อาหารที่เหลือ ทั้งในช่วงเช้าและช่วงเย็นของทุกวันเพื่อหาปริมาณการกินได้และบันทึกปริมาณน้ำนมที่ได้จากแพะนมแต่ละตัว (รีดด้วยมือ) ในตอนเช้าและตอนเย็นทุกวันตลอดการทดลอง เพื่อใช้เป็นค่าปรับปริมาณการให้อาหารขึ้นในวันถัดไป

การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนม

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารหยาบ และอาหารขึ้นทั้งอาหารที่ให้ และอาหารที่เหลือแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง และคำนวณหาปริมาณการกินได้ของสัตว์ในแต่ละวัน อีกส่วนหนึ่งนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เช่น วัตถุแห้ง (dry matter, DM) โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) เถ้า (Ash) และ ether extract ตามวิธีการของ AOAC (2000) และวิเคราะห์ neutral detergent fiber (NDF) และ acid detergent fiber (ADF) ตามวิธีการของ Goering and Van Soest (1970)

การเก็บตัวอย่างน้ำนม เก็บน้ำนมแพะดิบในช่วงการทดลองเป็นรายตัวช่วงเช้าบรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิท วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะดิบ คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000) และน้ำตาลแล็กโทสด้วยวิธี Hinton and Macara (1972)

การเตรียมน้ำนมแพะสเตอริไลส์

ตัวอย่างน้ำนมดิบของทั้ง 3 ชุดการทดลองถูกปรับพีเอชด้วยโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium hydrogen phosphate: K_2HPO_4) ให้ได้พีเอชของน้ำนมเท่ากับ 7.0 จากนั้นนำไปลดขนาดของเม็ดไขมันนมด้วยเครื่อง pressure homogenizer (PHD-100)

แบบ 2 สเตท ที่ความดัน 500 และ 2,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว บรรจุน้ำนมแพะปริมาณ 180 กรัม ในกระป๋องแบบ 2 ชั้น ขนาดกระป๋อง 307x113 นำไปใส่อากาศที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ด้วยอุโมงค์ไล่อากาศ (exhauster) จากนั้นปิดฝาและฆ่าเชื้อในเครื่องฆ่าเชื้อระบบสเปรย์น้ำร้อน (water spray retort) ที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลานานเทียบเท่ากับค่า F_0 เท่ากับ 3 นาที ผลิตภัณฑ์น้ำนมแพะสเตอริไลส์ถูกนำไปวิเคราะห์ความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ตามมาตรฐาน Bacteriological Analytical Manual (BAM) โดยตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์กลุ่ม Mesophilic, Thermophilic aerobic bacteria และ Mesophilic, Thermophilic anaerobic bacteria เพื่อทวนสอบผลการฆ่าเชื้อและเก็บผลิตภัณฑ์น้ำนมแพะสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำนมระหว่างการเก็บ

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำนมแพะสเตอริไลส์ระหว่างการเก็บ

การประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำนมแพะสเตอริไลส์ระหว่างการเก็บนาน 3 เดือนจากการวัดค่าพีเอช ด้วยเครื่องพีเอช มิเตอร์ (Mettler Toledo) จากค่าสี การเกิดออกซิเดชันโดยการวิเคราะห์ปริมาณมาโลนาลดีไฮด์ และปริมาณตะกอน มีรายละเอียดของการวิเคราะห์ ดังนี้

การวิเคราะห์ค่าสี

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Hunter Lab Color Quest XE โดยใช้ระบบสีแบบ CIE รายงานเป็นค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดงหรือสีเขียว (a^*) และค่าสีน้ำเงินหรือสีเหลือง (b^*) และคำนวณค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (total color change, ΔE) ตามวิธีของ Guerra-Hernandez et al. (2002) โดยมีสูตรการคำนวณ คือ

$$\text{ความแตกต่างของสีทั้งหมด } \Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2} \text{ โดย } \Delta L = L - L_0, \Delta a = a - a_0, \Delta b = b - b_0$$

L, a, b คือสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ L_0, a_0, b_0 คือสีของผลิตภัณฑ์ ณ วันผลิต

การวิเคราะห์ปริมาณมาโลนาลดีไฮด์

เป็นการวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน วิเคราะห์ปริมาณมาโลนาลดีไฮด์ (malondaldehyde) จากวิธีของ Tarladgis et al. (1960) โดยใช้ตัวอย่าง น้ำหนัก 10 กรัม เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร ถ่ายลงในขวดก้น กลมกลั้วด้วยน้ำกลั่น 47.50 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดร คลอริกความเข้มข้น 4 N ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และ เติมสาร silicon antifoaming reagent ป้องกันการเกิด ฟองที่เจือจาง 0.5 มิลลิลิตร นำไปกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่างจำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม TBARs reagent 5 มิลลิลิตร (ละลาย 2-Thiobarbituric acid ใน 90% acetic acid) ปิดฝา เขย่าให้ผสมเข้ากันดี นำไปต้มใน น้ำเดือด 35 นาที ทำให้เย็นลง จากนั้นวัดค่าการดูด กลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร เพื่อคำนวณ ปริมาณมาโลนาลดีไฮด์โดยเปรียบเทียบกับกราฟ มาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร รายงานค่าเป็น มิลลิกรัม มาโลนาลดีไฮด์/กิโลกรัมตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณตะกอน

วิเคราะห์ปริมาณตะกอนด้วยวิธีที่ดัดแปลงจาก Heilig et al. (2008) โดยใช้ไขมันแพะสเตอรไรส์ 50 กรัม กรองผ่านกระดาษกรอง whatman no. 1 ที่บันทึก น้ำหนักเรียบร้อยแล้ว รอให้ไขมันไหลผ่านกระดาษ กรองจนหมด นำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณน้ำหนัก ตะกอนเป็นร้อยละของน้ำหนัก (w/w) จากสมการ

$$\text{น้ำหนักตะกอน (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักตะกอน}}{\text{น้ำหนัก ไขมัน}} \right) \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองถูกนำมาวิเคราะห์ความ แปรปรวนแบบ Analysis of variance (ANOVA) ตาม แผนการทดลองแบบ Completely randomized design และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ของกลุ่มทดลอง โดยวิธี Duncan's New Multiple

Range Test (Steel and Torrie, 1980)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของการเสริมกลีเซอรินดิบในอาหารสัตว์ต่อ ปริมาณการกินได้

ผลของระดับ CG ในสูตรอาหารชั้นต่างกัน (0, 5 และ 10% ตามลำดับ) ต่อปริมาณการกินวัตถุแห้งได้ อย่างอิสระของแพะรีดนมลูกผสมแต่ละกลุ่มที่ได้รับ หยัารูซึ่งสดเป็นแหล่งอาหารหยาบพบว่าไม่มีความ แตกต่างกัน ($P>0.05$) ทั้งในแง่ของปริมาณการกินได้ ของอาหารหยาบ อาหารข้น และปริมาณการกินได้ ทั้งหมดทั้งที่คิดเป็นปริมาณเฉลี่ย (กิโลกรัม/วัน) และ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) หรือกรัม/ กิโลกรัมน้ำหนักแม่แพะบอลิก ($\text{g/kg W}^{0.75}$) ของทุกกลุ่ม โดยปริมาณการกินได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 1.28-1.50 กิโลกรัม/วัน ใกล้เคียงกับรายงานของ Arieli et al. (2005) ที่รายงานว่า แพะลูกผสมซาเนนมีปริมาณการ กินได้ทั้งหมดของอาหาร มีค่าเฉลี่ย 1.3 กิโลกรัม/วัน ผลการศึกษาค้นครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Musselman et al. (2008); Terré et al (2011) ที่ รายงานว่า การเสริมกลีเซอรินที่ระดับ 0-15% ไม่มีผล ต่อปริมาณการกินได้ในแกะ สำหรับการทดลองในแพะ นมครั้งนี้เลือกใช้ที่ระดับ CG 0-10% เนื่องจากการผสม CG ที่ระดับ 15% อาหารข้นมีลักษณะเปียกมากไม่ สามารถเก็บได้นาน ทั้งนี้ปริมาณอาหารที่กินได้ทั้งหมด ไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ได้รับพลังงาน และไนโตรเจน (N) เพียงพอต่อกระบวนการหมัก ภายในกระเพาะรูเมน (Donkin et al., 2009)

ผลของการเสริมกลีเซอรินดิบในอาหารสัตว์ต่อ องค์ประกอบของน้ำมัน

การเสริม CG ในสูตรอาหารชั้นต่างกัน (0, 5 และ 10% ตามลำดับ) ต่อปริมาณน้ำมัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 2.38 ± 0.12 , 2.64 ± 0.23 และ 2.54 ± 0.70 กิโลกรัม/ตัว/ วัน ตามลำดับ แม้ว่าระดับการเสริม CG ในสูตรอาหาร

ขึ้นที่ 5% ให้ปริมาณน้ำนมสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ($P>0.05$) อาจเนื่องจากปริมาณผลผลิตของน้ำนมที่ได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งมีผลต่อแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ของน้ำนม สอดคล้องกับการทดลองของ Chung et al. (2007) ที่ศึกษาเปรียบเทียบการเสริม CG ในอาหารปริมาณ 162.5 กรัม/วันกับกลุ่มที่ไม่เสริมกลีเซอรินในโคพันธุ์โฮลส์ไตน์ พบว่าผลผลิตน้ำนมที่ได้ตลอดระยะเวลาการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 44.57 และ 42.14 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ขณะที่การเสริม CG มีผลต่อองค์ประกอบของน้ำนม (Table 2) พบว่าน้ำนมมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 11.19 ± 0.04 , 12.16 ± 0.03 และ $10.66\pm0.04\%$ ตามลำดับโดยน้ำนมจากชุดการทดลองที่เสริม CG 5% มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด เนื่องจากมีปริมาณไขมันและน้ำตาลแล็กโทสสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ในขณะที่การเสริม CG 10% น้ำนมมีปริมาณของแข็งน้อยกว่าชุดการทดลอง CG 5% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Albo El-Nor et al. (2010) ที่รายงานว่า ระดับของกลีเซอรินที่เพิ่มขึ้นจะไปลดการย่อยได้ของวัตถุดิบ และลดการสังเคราะห์จุลินทรีย์ที่สังเคราะห์กรดอะมิโนภายในกระเพาะ ส่วนปริมาณน้ำตาลแล็กโทสมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระดับของการเสริม CG มากขึ้น โดยพบว่าปริมาณน้ำตาลแล็กโทสในน้ำนม 4.68 ± 0.51 , 5.19 ± 0.73 และ $5.30\pm1.02\%$ ตามลำดับ เนื่องจากกลีเซอรินสามารถถูกเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิกในโคในกระเพาะรูเมน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์กลูโคสที่ตับโดยผ่านกระบวนการ gluconeogenesis (Krehbiel, 2008)

ผลของการเสริมกลีเซอรินดิบในอาหารสัตว์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำนมแพะสเตอริไลส์ระหว่างการเก็บ

ตัวอย่างน้ำนมแพะสเตอริไลส์หลังการฆ่าเชื้อ ไม่พบจุลินทรีย์กลุ่ม Mesophilic, Thermophilic aerobic bacteria และ Mesophilic, Thermophilic anaerobic bacteria

ผลต่อค่าสี

น้ำนมแพะสเตอริไลส์ในการทดลองมีความแตกต่างของสีและการเปลี่ยนแปลงสี 2 ลักษณะ คือ 1) ความแตกต่างของสีระหว่างชุดการทดลอง และ 2) การเปลี่ยนแปลงของสีน้ำนมระหว่างการเก็บเป็นเวลานาน 3 เดือน จากข้อมูลค่า L^* (Table 3) พบว่าชุดการทดลอง CG 10% มีค่าความสว่าง L^* ในช่วงเริ่มต้นต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น และเมื่อเก็บน้ำนมทุกชุดการทดลองเป็นเวลา 3 เดือน ค่าความสว่าง L^* ของทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาเก็บ

ค่าสี a^* หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง ($+a^*$) หรือเขียว ($-a^*$) และค่าสี b^* คือค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) หรือสีน้ำเงิน ($-b^*$) น้ำนมที่ได้จากการทดลองนี้มีค่า a^* และ b^* เป็นบวกซึ่งหมายถึงโทนสีแดง/เหลืองเล็กน้อย (Table 4) ซึ่งจากการสังเกตด้วยสายตาของผู้วิจัยพบว่า สีของตัวอย่างน้ำนมหลังการฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลส์มีสีครีมเล็กน้อย สอดคล้องกับค่าสีที่วัดโดยเครื่อง Hunter Lab Color Quest XE โดยชุดการทดลองจากน้ำนมที่เสริม CG ในอาหารสัตว์ 10% มีความเป็นสีแดงเหลืองสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ($P < 0.05$) และเมื่อเก็บน้ำนมทุกชุดการทดลองเป็นเวลานาน 3 เดือน พบว่า ค่า a^* และ b^* ของทั้ง 3 ชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยน้ำนมที่เสริมกลีเซอรินในสูตรอาหารสัตว์ 5% และ 10% มีค่า a^* และ b^* ที่สูงกว่าชุดควบคุม ($P < 0.05$) เมื่อนำค่า L^* , a^* และ b^* มาคำนวณการเปลี่ยนแปลงของสีทั้งหมดเป็นค่า ΔE พบว่า น้ำนมแพะสเตอริไลส์ที่เก็บนานขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ΔE เพิ่มขึ้นเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำนมเนื่องจากความร้อนเป็นผลจากหลายสาเหตุ คือ 1) เกิดจากการแตกออก (dissociation) ของโครงสร้างโปรตีนเคซีน (Devi et al., 2015) ซึ่งสาเหตุนี้จะมีผลทำให้ค่าความสว่าง L^* ของน้ำนมลดลง 2) เป็นผลของปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของน้ำตาลแล็กโทสกับกรดอะมิโนได้สารประกอบสีน้ำตาล คือ ไพราไลซีน (pyralysine) และเมลานอยดิน (melanoidins) และ 3) การเกิดไฮโซเมอร์ของน้ำตาลแล็กโทสซึ่งจะเกิดเมื่อน้ำตาล

แล็กโทสในน้ำนมได้รับอนุญาตให้มีสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส (Van Boekel, 1998) เป็นสารประกอบชื่อแล็กทูโลส (lactulose) โดย Pereda et al. (2009) รายงานว่าในนมสเตอริไลส์สามารถตรวจพบแล็กทูโลสได้ถึง 886 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งทั้ง 3 สาเหตุ การเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลจะเป็นเหตุผลหลัก ดังนั้น ในชุดการทดลองที่มีการเสริม CG 5% และ 10% ในสูตรอาหารสัตว์ แล้วทำให้มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสในน้ำนมสูงกว่าชุดควบคุม จึงเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลสูงกว่าชุดควบคุม (Table 3)

ผลต่อค่าพีเอช

น้ำนมทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นระหว่างการเก็บ (Table 4) ซึ่งอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังนี้ 1) การสลายตัวของน้ำตาลแล็กโทส (Ljutovac et al., 2007) 2) การปลดปล่อยฟอสเฟตของโปรตีนเคซีน (dephosphorylation) และ 3) การปลดปล่อยแอมโมเนียจากโมเลกุลของโปรตีน (Singh and Latham, 1993) สำหรับการทดลองนี้ได้วิเคราะห์เฉพาะปริมาณน้ำตาลแล็กโทส ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำนมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสสูง มีแนวโน้มที่จะมีค่าพีเอชที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลค่าพีเอชกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมสด มอก. 738-2530 ซึ่งเป็นมาตรฐานของนมโคสเตอริไลส์ เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานของนมแพะ พบว่า ทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำกว่า 0.3 แสดงว่าคุณภาพยังเป็นไปตามข้อกำหนด

ผลต่อการเกิดออกซิเดชัน

การวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชันของไขมันจากการตรวจวัดปริมาณสารประกอบมาโลนาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว จากข้อมูล Table 4 พบว่า น้ำนมแพะสเตอริไลส์สูตรเสริม CG 5% มีปริมาณสารประกอบมาโลนาลดีไฮด์มากที่สุด ($P < 0.05$) เนื่องจากน้ำนมชุดดังกล่าวมีปริมาณไขมันในน้ำนมสูงที่สุด และเมื่อเก็บน้ำนมเป็นเวลา 3 เดือน น้ำนมแพะสเตอริไลส์สูตรเสริม

CG 5% ก็ยังคงมีปริมาณสารมาโลนาลดีไฮด์สูงกว่าชุดการทดลองอื่น แต่มีในปริมาณที่ต่ำมากเพียง 0.67 มิลลิกรัมมาโลนาลดีไฮด์/กิโลกรัมของน้ำนม ปริมาณมาโลนาลดีไฮด์ในน้ำนมไม่ได้ถูกกำหนดในมาตรฐานอุตสาหกรรม แต่มีรายงานของ Martysiak-Zurowska and Stołyhwo (2006) ได้รายงานว่ น้ำนมสำหรับทารกพร้อมดื่มทางการค้าที่ศึกษาจำนวน 13 ชนิด มีปริมาณมาโลนาลดีไฮด์ในช่วง 0.40-0.89 มิลลิกรัมมาโลนาลดีไฮด์/กิโลกรัมของน้ำนม

ผลต่อการเกิดตะกอน

การสังเกตลักษณะน้ำนมด้วยสายตา พบว่าน้ำนมไม่มีการแยกชั้นหรือเกิดตะกอนหลังการสเตอริไลส์ และระหว่างการเก็บ ทุกชุดการทดลองมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมสด มอก. 738-2530 ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณตะกอน พบปริมาณของตะกอนเล็กน้อยในน้ำนมหลังการผลิตในปริมาณ 0.15-0.22% (w/w) และมีปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้นเป็น 0.99-1.07% ในเดือนที่ 3 ของการเก็บ (Figure 1) โดยน้ำนมแพะสเตอริไลส์จากน้ำนมที่เสริม CG 5% ในอาหารสัตว์ มีแนวโน้มเกิดตะกอนมากที่สุด ($P < 0.05$) เนื่องจากมีปริมาณของแข็งรวมมากที่สุด

ตะกอนที่เกิดขึ้นหลังการสเตอริไลส์คาดว่าจะเกิดเป็นโปรตีนเวย์ซึ่งเสียสภาพได้ง่าย โดยเฉพาะโปรตีนเวย์ชนิดเบตาแล็กโทโกลบูลิน (β -lactoglobulin) ที่เสียสภาพในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 82-87 องศาเซลเซียส (Pereda et al., 2009) เมื่อเก็บน้ำนมเป็นเวลานาน ปริมาณตะกอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้ 1) การเติมโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตในการปรับพีเอชน้ำนมก่อนการฆ่าเชื้อด้วยวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความคงตัวต่อความร้อนระหว่างการฆ่าเชื้อ มีผลดีที่ไม่พบการเสียสภาพของโปรตีนจนเกิดตะกอนหลังการฆ่าเชื้อ แต่เมื่อเก็บเป็นเวลานาน ฟอสเฟตไฮดรอกไซด์อาจเข้าไปจับกับแคลเซียมที่อยู่ระหว่างเคซีนจับโมเลกุลเกิดเป็นโมเลกุลของแคลเซียมฟอสเฟต ส่งผลให้แรงผลักดันระหว่างอนุภาคลดลง ทำให้เคซีนแต่ละโมเลกุลสามารถรวมตัว

กันเกิดเป็นกลุ่มอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้เกิดการตะกอนเพิ่มขึ้น (Chen et al., 2005) 2) ระหว่างการเก็บเกิดการจับกันของโปรตีนเบต้าแล็กโทโกลบูลินกับแคปปาเคซีน (k-casein) ทำให้ตกตะกอน (Ljutovac et al., 2007) และ 3) จากสารประกอบโปรตีนที่จับกับน้ำตาลแล็กโทสในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เช่น เมลานอยดิน (melanoidins) ซึ่งเป็นสารโมเลกุล

ใหญ่ มีขนาดโมเลกุลมากกว่า 100,000 Da (Van Boekel, 1998) ดังนั้น ชุดการทดลองที่เสริม CG 5% ในอาหารสัตว์ ซึ่งน้ำนมมีปริมาณโปรตีนและน้ำตาลแล็กโทสสูงจึงมีแนวโน้มเกิดตะกอนมากกว่าชุดการทดลองอื่นระหว่างการเก็บ แต่ก็เกิดในระดับต่ำเพียง 1%

Table 1 Ingredients and chemical compositions of concentrated diets containing 0%, 5% and 10% of crude glycerin (%DM basis)

Item	Dietary crude glycerin (%DM)			Ruzi grass
	0	5	10	
Crude glycerin ¹	0.00	5.00	10.00	-
Ground corn	57.12	52.12	47.12	-
Leucaena leave meal	4.00	4.00	4.00	-
Soybean meal (44% Crude protein)	22.38	24.00	24.00	-
Fish meal (55%Crude protein)	1.00	1.00	1.00	-
Molasses	3.00	3.00	3.00	-
Palm kernel cake	10.00	8.37	8.21	-
Salt	0.20	0.20	0.20	-
Urea	0.00	0.01	0.17	-
Dicalcium phosphate	0.30	0.30	0.30	-
Mineral and vitamin mix ²	2.00	2.00	2.00	-
Chemical composition³				
DM	86.43 ± 0.22	86.21 ± 0.08	83.74 ± 0.2	33.32 ± 0.11
Ash	5.74 ± 0.27	5.99 ± 0.22	6.23 ± 0.21	6.62 ± 0.15
CP	18.51 ± 0.33	18.15 ± 0.22	18.70 ± 0.20	6.87 ± 0.21
EE	2.91 ± 0.13	2.71 ± 0.23	2.46 ± 0.03	1.27 ± 0.20
NDF	22.24 ± 0.12	20.98 ± 0.23	20.42 ± 0.14	68.65 ± 0.26
ADF	12.68 ± 0.06	12.04 ± 0.13	11.86 ± 0.15	45.67 ± 0.19

¹Contained 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.).

²Mineral 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.

³Based on analysis of composite feed sample, DM: dry matter; CP: crude protein; EE: ether extract; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber.

Table 2 Effect of 0%, 5% and 10% dietary crude glycerin on goat milk compositions.

Compositions (%)	Dietary crude glycerin (%DM)		
	0	5	10
Total solid	10.24 ± 0.13 ^b	11.35 ± 0.24 ^a	10.52 ± 0.07 ^b
Fat	2.46 ± 0.16 ^b	3.29 ± 0.35 ^a	2.43 ± 0.12 ^b
Lactose	4.68 ± 0.51 ^a	5.19 ± 0.73 ^a	5.30 ± 1.02 ^a
Protein	2.83 ± 0.03 ^a	2.71 ± 0.09 ^b	2.77 ± 0.02 ^{ab}
Ash	0.91 ± 0.01 ^b	0.91 ± 0.01 ^b	0.94 ± 0.00 ^a

^{a-b} Mean within row followed with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$)

Table 3 Effect of dietary crude glycerin on color of sterilized goat milk during storage.

Dietary crude glycerin (%DM)	Color	Storage time (month)			
		0	1	2	3
0	L*	71.21 ± 0.11 ^{bA}	71.30 ± 0.43 ^{aA}	64.46 ± 0.16 ^{cB}	64.50 ± 0.18 ^{cB}
5		72.80 ± 0.22 ^{aA}	71.68 ± 0.18 ^{aB}	69.09 ± 0.23 ^{aD}	69.39 ± 0.11 ^{aC}
10		69.96 ± 0.22 ^{bA}	68.35 ± 0.13 ^{bB}	66.07 ± 0.17 ^{bD}	66.55 ± 0.17 ^{bC}
0	a*	4.91 ± 0.19 ^{bC}	6.56 ± 0.58 ^{aA}	6.60 ± 0.15 ^{bA}	6.27 ± 0.13 ^{bB}
5		4.61 ± 0.21 ^{bC}	5.35 ± 0.07 ^{bB}	7.46 ± 0.13 ^{aA}	7.59 ± 0.39 ^{aA}
10		6.13 ± 0.25 ^{aD}	6.77 ± 0.07 ^{aC}	7.59 ± 0.05 ^{aA}	7.49 ± 0.06 ^{aB}
0	b*	13.74 ± 0.33 ^{cC}	18.73 ± 0.81 ^{bB}	19.02 ± 0.39 ^{bAB}	19.27 ± 0.13 ^{bA}
5		14.13 ± 0.86 ^{bD}	16.69 ± 0.33 ^{cC}	21.99 ± 0.33 ^{aB}	22.54 ± 0.37 ^{aA}
10		17.50 ± 0.94 ^{aC}	20.25 ± 0.25 ^{aB}	21.75 ± 0.15 ^{aA}	21.81 ± 0.31 ^{aA}
0	ΔE	-	4.81 ± 0.12 ^a	9.11 ± 0.14 ^a	9.07 ± 0.09 ^b
5		-	3.27 ± 0.39 ^b	9.53 ± 0.34 ^a	9.85 ± 0.53 ^a
10		-	3.38 ± 0.46 ^b	6.18 ± 0.51 ^b	5.78 ± 0.35 ^c

^{a-c} Mean within column in each color followed with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$)

^{A-D} Mean within row followed with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$)

Table 4 Effect of levels of dietary crude glycerin on pH and malonaldehyde content of sterilized goat milk during storage.

	Dietary crude glycerin (%DM)	Storage time (months)			
		0	1	2	3
pH	0	6.39 ± 0.01 ^{cD}	6.50 ± 0.01 ^{cC}	6.54 ± 0.01 ^{cB}	6.59 ± 0.01 ^{cA}
	5	6.45 ± 0.01 ^{bD}	6.54 ± 0.01 ^{bC}	6.57 ± 0.01 ^{bB}	6.62 ± 0.01 ^{bA}
	10	6.48 ± 0.01 ^{aC}	6.56 ± 0.01 ^{aB}	6.64 ± 0.01 ^{aA}	6.65 ± 0.01 ^{aA}
malonaldehyde content*	0	0.18 ± 0.11 ^{abB}	0.12 ± 0.11 ^{bC}	0.21 ± 0.02 ^{bA}	0.26 ± 0.01 ^{bA}
	5	0.41 ± 0.03 ^{aD}	0.49 ± 0.02 ^{aC}	0.58 ± 0.01 ^{aB}	0.67 ± 0.01 ^{aA}
	10	0.00 ± 0.01 ^{bD}	0.08 ± 0.01 ^{cC}	0.21 ± 0.01 ^{bA}	0.19 ± 0.03 ^{cB}

* mg of malonaldehyde/kg milk

^{a-c} Mean within column followed with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$)

^{A-D} Mean within row followed with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$)

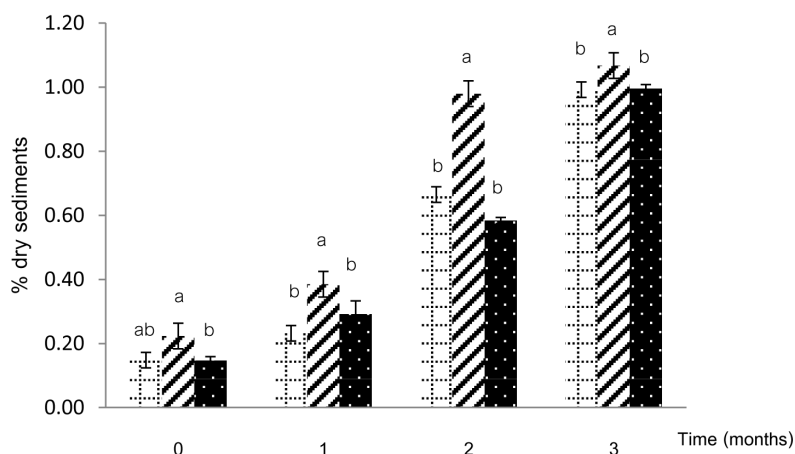


Figure 1 Effect of 0% (□), 5% (▨) and 10% (■) dietary crude glycerin on sediment content of sterilized goat milk during storage.

^{a-c}Mean with different superscript letters in each storage time are significantly different ($P < 0.05$)

สรุป

การเสริมกลีเซอรินดิบในสูตรอาหารแพะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมโดยเฉพาะปริมาณไขมันและปริมาณน้ำตาลแล็กโทส โดยการเสริม CG ที่ระดับ 5% มีผลให้น้ำนมแพะมีปริมาณของแข็ง และไขมันสูงที่สุด ($P < 0.05$) น้ำนมดิบทุกชุดการทดลองได้ถูกนำไปสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส F_0 เท่ากับ 3 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 3 เดือน พบว่านมแพะสเตอริไลส์ชุดการเสริม CG 5% มีการเปลี่ยนแปลงของสี ตะกอนและการเกิดออกซิเดชันสูงกว่าชุดการทดลองอื่น อย่างไรก็ตาม ค่าเหล่านี้มีในปริมาณต่ำ ดังนั้นการเสริม CG ที่ระดับ 5% มีผลให้น้ำนมมีโภชนาการสูงและน้ำนมแพะสเตอริไลส์ดังกล่าวในภาพรวมยังคงมีคุณภาพที่ยอมรับได้

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์อาหารฮาลาลมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานีเป็นอย่างยิ่งสำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณวัฒนาฟาร์ม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลาที่ให้ความอนุเคราะห์แพะนมและสถานที่ในการศึกษาวิจัย และกลีเซอรินดิบได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทนิวไบโอดีเซล (New Biodiesel Co., Ltd.) อ.ท่าฉาง จ.สุราษฎร์ธานี

เอกสารอ้างอิง

- ปิ่น จันจุฬา, พัชรินทร์ ภักดีฉนวน และสุธา วัฒนสิทธิ์. 2557ก. ผลของการทดแทนข้าวโพดด้วยกลีเซอรินดิบในอาหารผสมเสร็จต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และเมแทบอลิไทน์ในกระแสเลือดของแพะ. แก่นเกษตร. 42: 397-408.
- ปิ่น จันจุฬา, พัชรินทร์ ภักดีฉนวน และสุธา วัฒนสิทธิ์. 2557ข. สมรรถภาพการผลิตและลักษณะทางซากของแพะขุนที่ได้รับกลีเซอรินดิบในอาหารผสมเสร็จ. แก่นเกษตร. 42: 509-520.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมสด มอก.738-2530. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- Abo El-Nor, S., A. A. Abughazleh, R. B. Potu, D. Hastings, and M. S. A. Khattab. 2010. Effect of differing levels of glycerol rumen fermentation and bacteria. Anim. Feed Sci. Technol. 162: 99-105.
- AOAC, 2000. Official Method of Analysis of Official Chemistry. 15th Edition. The Association of Official Analytical Chemistry, USA.
- Arieli, A., R., Sasson-Rath, S. Zamwel, and S. J. Mabjeesh. 2005. Effect of dietary protein and rumen degradable organic matter on milk production and efficiency in heat-stressed goats. Livest. Prod. Sci. 96: 215-23.
- Chanjula, P., P. Pakdeecheanuan, and S. Wattanasit. 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.

- Chen, W. L., M. T. Hwang, Y. Liao, J. C. Ho, K. C. Hon, and S. J. T. Mao. 2005. β -Lactoglobulin is a thermal marker in processed milk as studied by electrophoresis and circular dichroic spectra. *J. Dairy Sci.* 88: 1619-1630.
- Chung, Y. H., D. E. Rico, C. M. Martinez, T. W. Cassidy, V. Noiro, A. Ames, and G. A. Varga. 2007. Effects of feeding dry glycerin to early postpartum Holstein dairy cows on lactational performance and metabolic profiles. *J. Dairy Sci.* 90: 5682-5691.
- Crandall, L. 2004. Glycerol abundance cause for concern. *Inform.* 15: 146-147.
- Devi, A. F., R. Buckow, T. Singh, Y. Hemar, and S. Kasapis. 2015. Colour change and proteolysis of skim milk during high pressure thermal-processing. *J. Food Eng.* 147: 102-110.
- 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. Webert, and K. Bregendahl. 2008. Apparent metabolism energy of glycerin for broiler chickens. *Poultry Sci.* 87: 317-322.
- Goering, H. K., and P. J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agriculture Handbook*. No. 370, USDA-ARS, Washington, DC, p. 20.
- Guerra-Hernandez, E., C. Leon, B. Garcia-Vaillanova, and J. M. Romera. 2002. Chemical changes in powdered infant formulas during storage. *Int. J. of Dairy Technol.* 55: 171-176.
- Heilig, A., C., Atilgan, and E. Jörg Hinrichs. 2008. Suitability of Dahlem Cashmere goat milk towards pasteurisation, ultrapasteurisation and UHT-heating with regard to sensory properties and storage stability. *Small Rumin. Res.* 78: 152-161.
- Hinton, C. L., and F. I. C. Macara. 1972. The determination of aldose sugars by means of chloramine-T, with special reference to the analysis of milk products. *Royal Society of Chemistry.* 52: 668-688.
- Krehbiel, C. R. 2008. Ruminal and physiological metabolism of glycerin. *J. Anim. Sci.* 86(E-Suppl.2): 392. (Abstr.).
- Ljutovac, K. R., Y. W. Park, F. Gaucheron, and S. Bouhlla. 2007. Heat stability and enzymatic modifications of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 68: 207-220.
- Martysiak-Żurowska, D., and A. Stołyhwo. 2006. Content of malonaldehyde (MDA) in infant formulae and follow-on formulae. *Polish J. Food Nutr. Sci.* 15/56: 323-328.
- Meale, S. J., A. V. Chaves, S. Ding, R. D. Bush, and T. A. McAllister. 2013. Effect of crude glycerin supplementation on wool production, feeding behavior, and body condition of Merino ewes. *J. Anim. Sci.* 91: 878-885.
- Musselman, A. F., M. L. Van Emon, P. J. Gunn, C. P. Rusk, M. K. Neary, and S. L. Lake. 2008. Effects of crude glycerin on feedlot performance and carcass characteristics of market lambs. *J. Am. Soc. of Anim. Sci.* 59: 353-355.
- NRC, 1981. *Nutrient Requirements of Goats: Angora, dairy and meat goat in temperate and tropical countries.* National Academy Press, Washington, D.C.
- Pereda, J., V. Ferragut, J. M. Quevedo, B. Guamis, and A. J. Trujillo. 2009. Heat damage evaluation in ultra-high pressure homogenized milk. *Food Hydrocolloid.* 23: 1974-1979.
- Singh, H., and J. M., Latham. 1993. Heat stability of milk: aggregation and dissociation of protein at ultra-high temperatures. *Int. Dairy J.* 3: 225-237.
- 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.
- Tarladgis, B. G., B. M. Watts, and M. T. Younathan. 1960. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *J. Am. Oil Chem Soc.* 37: 44-48.
- 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.
- Thomson, J. C., and B. He. 2006. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *Appl. Eng. Agric.* 22: 261-265.
- Van Boekel, M. A. J. S. 1998. Effect of heating on Maillard reactions in milk. *Food Chem.* 62: 404-414.
- Wang, C., Q. Lui, W. Z. Yang, W. J. Huo, K. H. Dong, Y. X. Huang, X. M. Yang, and K. H. Dong. 2009. Effect of glycerol on lactation performance, energy balance and metabolites in early lactation Holstein dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 151: 12-20.
- Wilbert, C. A., E. R. Prates, and J. O. J. Barcellos. 2013. Crude glycerin as an alternative energy feedstuff for dairy cows. *Am. Feed Sci. Technol.* 183: 116-123.