

ผลของกลีเซอรินดิบในอาหารต่อการย่อยได้และสมรรถภาพการผลิต ของโคระยะรีดนม

Effect of crude glycerin in diet on digestibility and productive performance of
lactating cows

ศิริรัตน์ บัวผัน^{1*}, สิริพันธ์พร สินธุวนิชย์¹ และ เลอชาติ บุญเอก¹

Sirirat Buaphan^{1*}, Sirinporn Sindhuvanich¹ and Lerchart Boon-ek¹

บทคัดย่อ: การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มระดับกลีเซอรินดิบในอาหารผสมสำเร็จต่อการย่อยได้และสมรรถภาพการผลิตของโครีดนม โดยใช้โคลูกผสมโฮลส์ไตน์ ฟรีเซียน ระยะหลังคลอดใหม่ น้ำหนักตัวเฉลี่ย 435 ± 49 กก. จำนวน 20 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 5 บล็อกตามแผนการทดลองสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ อาหารผสมสำเร็จมีกลีเซอรินดิบ 0%, 3.4%, 6.8% และ 10.2% พบว่า ปริมาณการกินได้ของอาหารในรูปวัตถุแห้งไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม แม่โคที่ได้รับอาหารที่มีกลีเซอรินดิบทุกกลุ่มมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) ส่วนในสัปดาห์ที่ 8 ปริมาณน้ำนมและประสิทธิภาพการใช้อาหารของแม่โคที่ได้รับอาหารที่มีกลีเซอรินดิบสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) และโคที่ได้รับอาหารที่มีกลีเซอรินดิบระดับ 6.8% มีไขมันนมเพิ่มสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้กลีเซอรินดิบระดับ 6.8% ในอาหารผสมสำเร็จสำหรับโคระยะต้นของการให้นม

คำสำคัญ: กลีเซอรินดิบ, โคระยะรีดนม, สมรรถภาพการผลิต

ABSTRACT: The objective of this study was to investigate the effect of increasing levels of crude glycerin in total mixed ration (TMR) on digestibility and productive performance of lactating cows. Twenty crossbred Holstein Friesian ($>87\%HF$) after calving and 435 ± 49 kg of body weight were divided into 4 groups with 5 blocks of parity status in randomized complete block design to receive 0%, 3.4%, 6.8% and 10.2% of crude glycerin in TMR. The results revealed that increasing levels of crude glycerin in diet had no effect on dry matter intake. However, digestibility coefficients of crude protein was higher for all cows fed diet with crude glycerin inclusion than control group. Moreover, at wk. 8 after calving milk yields and feed efficiency were higher for cows fed all cows fed diet with crude glycerin inclusion than control group ($p < 0.05$). Level of crude glycerin at 6.8% resulted in higher milk fat than control group ($p < 0.05$). Therefore, adding up to 6.8% of crude glycerin in TMR is recommended for early lactating cows.

Keywords: Crude glycerin, lactating cow, productive performance

¹ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย 73140
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus,
NakhonPathom Province, Thailand, 73140

* Corresponding author: swksrbu@gmail.com

บทนำ

กลีเซอริน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า 1,2,3 Trihydroxy propane, trihydric alcohol เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการการผลิตไบโอดีเซล การผลิตไบโอดีเซล 10 ล. จะได้กลีเซอรินดิบ ประมาณ 10% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (Dasari et al., 2005) กลีเซอริน (มีกลีเซอรอลสูง) เมื่อผ่านกระบวนการแยกเอาสารอินทรีย์และสิ่งเจือปนออก จะมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดโรงงาน กลีเซอรอลที่เหลืออยู่จะมีความเข้มข้นประมาณ 82-85% หรือถ้ามีความบริสุทธิ์ถึง 99.7% จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา จากรายงานที่ผ่านมา กลีเซอรินสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับสัตว์ต่าง ๆ รวมถึงแพะ (Chanjula et al., 2014) และโค (Schroder and Sudekun, 2007) กลีเซอรอลสามารถเปลี่ยนเป็นกลูโคสในตับของโค และใช้เป็นแหล่งพลังงานในเซลล์ (Goff and Korst, 2001) และมีการใช้กลีเซอรอลเพื่อป้องกันภาวะคีโตซิส (Ketosis) ในโคระยะให้นมมานานแล้ว (Johnson, 1954) ปัจจุบันทั่วโลกมีการส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซล เพราะเป็นพลังงานชีวภาพ ประเทศไทยตั้งเป้าหมายการผลิตไบโอดีเซลในปี 2564 คือ 5.97 ล้านลิตร/วัน (กรมธุรกิจพลังงาน, 2555) ซึ่งจะทำให้กลีเซอรินดิบมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก การนำกลีเซอรินดิบมาใช้เป็นอาหารสัตว์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มมูลค่าสิ่งเหลือใช้จากการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการวิจัยนี้จึงเพื่อศึกษาผลของการเพิ่มระดับกลีเซอรินดิบเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในอาหารโครีดนมต่อการย่อยได้ และผลผลิตนํ้านมโค

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลองและอาหารทดลอง

สัตว์ทดลองใช้โคนมลูกผสมโฮลส์ไตน์ ฟรีเซียน ที่มีระดับสายเลือดโฮลส์ไตน์ ฟรีเซียน > 85% จำนวน 20 ตัว ระยะหลังคลอด 1 วัน – 2 เดือน (8 สัปดาห์) น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 435 ± 49 กก. และครั้งที่ให้นมเฉลี่ย 2.5 ± 1 ครั้ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มแบบบล็อกสมบูรณ์ แบ่งโคเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 5 บล็อก โดยใช้ครั้งที่ให้นมเป็นบล็อก สุ่มแม่โคนมให้ได้รับอาหารผสมสำเร็จ 4 สูตร ที่มีระดับของกลีเซอรินดิบแตกต่างกัน 4 ระดับ (0%, 3.4%, 6.8% และ

10.2%) อาหารหยาบจะใช้หญ้าเนเปียร์หมัก และหญ้าขนระดับ 40% (ในสัดส่วน 75:25% ตามลำดับ) อาหารทดลองมีโปรตีนระดับ 15.1-15.5% และ NDF ระดับ 43 - 44% โคนมเลี้ยงแบบขังเดี่ยวในคอกขนาด 3 x 3 ตร.ม. ในโรงเรือนแบบเปิด มีรางใส่อาหาร และอ่างใส่น้ำสะอาดให้กินได้ตลอดเวลา โคนมได้รับอาหาร (Table 1) วันละ 4 ครั้ง บันทึกรับปริมาณอาหารที่ให้และเหลือในแต่ละวัน เพื่อคำนวณปริมาณการกินได้ของอาหารในรูปวัตถุดิบแห้งตลอดการทดลอง ทำการชั่งน้ำหนักตัวแรกคลอด น้ำหนักเมื่อ 30 วัน และ 60 วันหลังคลอดของโค เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวของโค ทำการรีดนมวันละ 2 ครั้ง (06.00 น. และ 17.00 น.) กลีเซอรินดิบที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากบริษัทวีระสุวรรณ จำกัด ตั้งอยู่ในจังหวัดสมุทรสาคร ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบในการผลิตไบโอดีเซล กลีเซอริน ประกอบด้วย กลีเซอรอล 80.76%, เมทานอล 0.01%, ความชื้น 12.52%, เกลือ (NaCl) 3.43%, เถ้า 1.88%, สารอินทรีย์อื่น ๆ (Matter organic non-glycerin) 1.4% และ pH เท่ากับ 5.45 มีสถานะเป็นของเหลวหนืด สีน้ำตาลเข้ม

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนา (วัตถุดิบ, โปรตีน, ไขมัน และเถ้า) ด้วยวิธี Proximate analysis ตามวิธีการของ AOAC (1995) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) และ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) (Goering and Van Soest, 1970) และเก็บตัวอย่างมูลของโคทดลองในช่วง 5 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยการเก็บมูลโคบางส่วน (Grab sample) ในช่วง 08.00 น. ก่อนให้อาหารมื้อเช้า (Mc Geough, 2010) นำตัวอย่างมูลไปวิเคราะห์หาค่าวัตถุแห้ง, โปรตีน, ไขมัน และเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid insoluble ash, AIA) (AOAC., 1995) และเยื่อใย NDF และ ADF เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนา โดยใช้ AIA technique (Van Keulen and Young, 1977) สุ่มเก็บตัวอย่างนมเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบในนํ้านม (โปรตีน, ไขมัน, แลคโตส และเถ้า) โดยเครื่อง Milk Analyzer รุ่น Lacto scan 90 (Milkotronic LTD., Bulgaria)

Table 1 Ingredients and chemical composition of experimental diets

Item	Levels of crude glycerin in TMR ^{1/} (%)			
	0	3.4	6.8	10.2
Napier grass silage	30.0	30.0	30.0	30.0
Para grass	10.0	10.0	10.0	10.0
Crude glycerin	-	3.4	6.8	10.2
Cassava chips	27.4	24.0	20.6	17.2
Wheat bran	7.0	7.0	7.0	7.0
Palm seed meal	4.0	4.0	4.0	4.0
Soybean hulls	3.5	3.3	3.0	2.7
Soybean meal	15.6	15.8	16.1	16.4
Urea, 46%N ^{2/}	0.7	0.7	0.7	0.7
Dicalcium phosphate	0.5	0.5	0.5	0.5
Minerals	0.9	0.9	0.9	0.9
Sodium bicarbonate	0.4	0.4	0.4	0.4
Chemical composition (% of dry matter)				
Dry matter	65.7	65.1	64.6	63.9
Crude protein	15.1	15.3	15.5	15.4
Ether extract	1.8	1.6	1.6	1.6
Neutral detergent fiber	43.1	43.4	43.8	44.2
Acid detergent fiber	27.6	26.9	26.8	26.8

^{1/}TMR: Total mixed rations; ^{2/}N: nitrogen

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)ตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มการทดลอง โดยใช้ Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (1996)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของการเพิ่มระดับกลีเซอรินดิบ ระดับ 0%, 3.4%, 6.8% และ 10.2% ในอาหารผสมสำเร็จสำหรับโคนมระยะรีดนม จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองทุกสูตรมีโปรตีนระหว่าง 15.1 – 15.5% และมอดีคประกอบไขมันเยื่อใย แตกต่างกันเล็กน้อย (Table 1) ส่วนอาหารหยาบหลัก (หญ้าเนเปียร์หมัก) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีคุณภาพค่อนข้างต่ำ (โปรตีน 5.7%, เยื่อใย NDF 65.3% เยื่อใย ADF 45.6%) จากการศึกษพบว่าในสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 8 หลังคลอด ปริมาณ

การกินได้ของอาหารในรูปวัตถุดิบของแม่โคทุกกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) สอดคล้องกับ Carvalho et al. (2011) ที่ศึกษาในโคนมพันธุ์ Holstein ใช้กลีเซอรอลในอาหารช่วง 28 วันก่อนคลอด ระดับ 11.5% และ ในช่วงแรกคลอด ถึง 56 วันหลังคลอดระดับ 10.5% ทดแทน High-moisture corn พบว่า แม่โคมีปริมาณการกินอาหาร และ สมดุลพลังงานไม่แตกต่างกันกับกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับ Chanjula et al. (2014) ที่ศึกษาในแพะพบว่า การเพิ่มระดับกลีเซอรินดิบในอาหารผสมสำเร็จ ระดับ 0%, 5%, 10% และ 20% ในรูปวัตถุดิบไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนาต่าง ๆ ส่วน Donkin et al. (2009) ศึกษาในโคนมสายพันธุ์ Holstein โดยใช้กลีเซอรอล (Refined glycerol) ทดแทนข้าวโพดในอาหารโคนมระยะรีดนม ระดับ 0%, 5%, 10% และ 15% ระยะเวลา 56 วัน พบว่าในระยะ 7 วันแรกของการทดลองโคที่ได้รับอาหารที่มีกลีเซอรอลระดับ 15% มีปริมาณอาหารที่กินได้ลดลง

เมื่อเพิ่มระดับของกลีเซอรินดิบในอาหาร

พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนในแม่โคที่ได้รับอาหารที่มีกลีเซอรินดิบทุกกลุ่ม มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบ และเยื่อใย (NDF และ ADF) ไม่แตกต่างกัน (Table 2) ส่วนแม่โคที่ได้รับอาหารที่มีกลีเซอรินดิบระดับ 0%, 7%, 14%

และ 21% ของวัตถุดิบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบ โปรตีน เยื่อใย NDF ลดลงแบบเส้นตรงเมื่อระดับกลีเซอรินดิบเพิ่มขึ้น จึงแนะนำว่ากลีเซอรินดิบที่ระดับ 4.7% จะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของแกะ (Rebeca et al., 2018)

Table 2 Effect of increasing crude glycerin levels on nutrients digestibility of lactating cows

Item	Levels of crude glycerin in TMR ^{1/} (%)				SEM ^{2/}	P-value
	0	3.4	6.8	10.2		
Dry matter	54.53	59.27	58.98	56.98	1.67	0.42
Crude protein	67.35 ^b	80.78 ^a	77.38 ^a	81.06 ^a	2.08	0.02
Ether extract	62.29	78.38	74.69	79.28	3.05	0.05
Neutral detergent fiber	43.04	40.53	32.72	41.00	2.72	0.51
Acid detergent fiber	34.30	28.63	26.66	24.58	3.42	0.72

^{ab} Means in the same rows with different superscript differed ($p<0.05$)

^{1/}TMR: Total mixed rations; ^{2/}SEM: Standard error of means

ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมโค (Table 3) เมื่อเพิ่มระดับกลีเซอรินดิบในอาหาร พบว่า ในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 หลังคลอด ปริมาณน้ำนม และปริมาณน้ำนมที่ปรับ 4% ไขมันนมของแม่โคไม่แตกต่างกัน ส่วนในสัปดาห์ที่ 8 หลังคลอด พบว่า ปริมาณน้ำนม, ปริมาณน้ำนมที่ปรับ 4% ไขมันนม, ปริมาณน้ำนมที่ปรับพลังงานในน้ำนม และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Feed efficiency, FE) ของแม่โคที่ได้รับอาหารที่มีกลีเซอรินดิบ มีค่าสูงกว่าแม่โคในกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ซึ่งค่า FE ในโคนมระยะให้น้ำนมมีค่าระหว่าง 1.0-2.0 มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า FE ในช่วงแรกคลอด จนถึงระยะ 60 วันของการให้นม ถ้าค่า FE ต่ำ ในช่วงระยะแรก (early lactation) ของการให้น้ำนมบ่งชี้ถึงโคให้ผลผลิตนมต่ำ หรือมีปัญหาสุขภาพ (Linn, 2006) ส่วน Kass et al., (2013) รายงานว่าแม่โคนมพันธุ์ Holstein ระยะ 4-21 วันหลังคลอดที่ได้รับกลีเซอรอลโดยการกรอกทางปากวันละ 500 มล. ก่อนให้อาหารมื้อเช้า พบว่าช่วยให้แม่โคกินอาหารหายาบ และอาหารรวมใน

รูปวัตถุดิบเพิ่มขึ้น รวมถึงให้ผลดีต่อการผลิตน้ำนม และระดับแลคโตส ซึ่งอธิบายว่าเป็นผลมาจากการที่กลีเซอรอลส่วนใหญ่เมื่อถูกหมักย่อยจะได้โพรพิโอเนต หรือ ถูกดูดซึมโดยตรงโดยไม่ถูกหมักย่อยในกระเพาะหมักของโคนม ดังนั้น จึงสามารถเพิ่มปริมาณกลูโคสที่โคใช้ในการสังเคราะห์แลคโตสในต่อมน้ำนม และส่งผลให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้นจากการปรับสมดุลของ Osmotic activity การเพิ่มระดับของกลีเซอรินดิบในอาหารผสมสำเร็จ พบว่าองค์ประกอบของน้ำนมโค (โปรตีน, ไขมัน, น้ำตาลแลคโตส, แร่ธาตุ, เนื้อมันไม่รวมไขมัน และเนื้อมันรวม) ไม่แตกต่างกันในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และ 4 หลังคลอด ในขณะที่สัปดาห์ที่ 8 หลังคลอด พบว่าแม่โคที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จที่มีกลีเซอรินดิบระดับ 6.8% มีไขมันนม สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (4.80 เทียบกับ 3.89%; $P<0.05$)

Table 3 Effect of increasing crude glycerin levels on milk production of lactating cows

Items	Levels of crude glycerin in TMR ^{1/} (%)				SEM ^{2/}	P-value
	0	3.4	6.8	10.2		
Milk yield (kg/d) at week 2 after calving						
- Milk	13.2	15.7	14.1	13.0	0.87	0.11
- 4%FCM ^{3/}	13.5	16.7	14.2	13.0	1.07	0.07
- ECM ^{4/}	12.9	15.7	13.7	12.6	1.01	0.12
Feed efficiency ^{5/}	1.01	1.05	0.86	0.94	0.08	0.32
Milk yield (kg/d) at week 4 after calving						
- Milk	16.1	18.5	18.3	16.6	0.79	0.07
- 4%FCM	17.0	20.0	19.3	17.1	1.38	0.25
- ECM	16.3	18.7	18.5	16.2	1.24	0.26
Feed efficiency	1.02	1.08	1.13	0.95	0.08	0.41
Milk yield (kg/d) at week 8 after calving						
- Milk	17.8 ^b	19.9 ^a	20.6 ^a	19.7 ^a	0.65	0.03
- 4%FCM	17.5 ^b	21.2 ^a	23.0 ^a	21.1 ^a	0.76	<0.01
- ECM	16.9 ^b	19.9 ^a	21.5 ^a	19.9 ^a	0.59	<0.01
Feed efficiency	0.96 ^b	1.16 ^a	1.20 ^a	1.11 ^a	0.04	<0.01

^{ab} Means in the same rows with different superscript differed (p<0.05)

^{1/}TMR: Total mixed rations; ^{2/}SEM: Standard error of means; ^{3/}4%FCM: 4%Fat corrected milk

^{4/}ECM: Energy corrected milk (kg/d) = ((41.63 × milk fat, %) + (24.13 × milk protein, %) + (21.60 × milk lactose %) × milk (kg/d))/ 340 (Tyrell and Reid, 1965).

^{5/}Feed efficiency = Energy corrected milk to dry matter intake ratio

สรุป

การเพิ่มกลีเซอรินดิบในอาหารผสมรวมระดับ 3.4%, 6.8% และ 10.2% สำหรับโคระยะรีดนม ระยะแรกคลอด - 8 สัปดาห์หลังคลอด ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินอาหารของแม่โค และทำให้การย่อยได้ตลอดทางเดินอาหารของโปรตีนเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้อาหาร ผลผลิตน้ำนม และไขมันนม จะเห็นได้ว่าสามารถใช้กลีเซอรินดิบ ระดับไม่เกิน 6.8% ในอาหารผสมสำเร็จจะให้ผลดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมธุรกิจพลังงาน, กระทรวงพลังงาน. 2555. สถานการณ์ไบโอดีเซลในประเทศไทย กรกฎาคม 2555. แหล่งข้อมูล: http://w.w.w.pttplc.com/Files/RTI/57-101613_E.pdf. ค้นเมื่อ 16 พฤศจิกายน 2555.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. Arlington, VA. USA.
- Carvalho, E. R., N. S. Schmelz-Roberts , H. M. White , P. H. Doane , and S. S. Donkin. 2011. Replacing corn with glycerol in diets for transition dairy cows. J. Dairy Sci. 94:908-916.
- Chanjula, P., P. Pakdeechanuan, 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 (3):365-374.
- Dasari, M. A., P. P. Kiatsimkul, W. R. Sutterlin, and G. J. Suppes. 2005. Low-pressure hydrogenolysis of glycerol to propylene glycol. *Appl. Catal. Gen.* 281:225-231.
- 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.
- Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. *Forage Fibre Analysis. A RS./USDA Agric. Handbook*, Washington.
- Goff, J. P., and R. L. Horst. 2001. Oral glycerol as an aid in the treatment of ketosis/fatty liver complex. *J. Dairy Sci.* 84 (Suppl.1):153. (Abstr.)
- Johnson, R. B. 1954. The treatment of ketosis with glycerol and propylene glycol. *Cornell Vet.* 44:6-21.
- Kass, M., T. Ariko, J. Samarutel, K. Ling, H. Jaakson, T. Kaart, D. Arney, O. Kart, and M. Ots. 2013. Long-term oral drenching of crude glycerol to primiparous dairy cows in early lactation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 184:58-66.
- Linn, J. 2006. Feed efficiency: Its economic impact in lactating dairy cow. *WCDS Adv. Dairy Technol.* 18:19-28.
- Rebeca, D. X. R, G. G. P. Carvalho, T. M. Silva, J. B. Costa, L. R. Bezerra, G. B. Cambuí, A. M. Barbosa, and R. L. Oliveira. 2018. Effects of crude glycerin from biodiesel on the diets of lambs: intake, digestibility, performance, feeding behavior, and serum metabolites. *J. Anim. Sci.* 96:1952-1961.
- Schroder, A., and K. H. Sudekum. 2007. Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants. *Inst. of Anim. Nutr., Physiol. and Metab. Univ. of Kiel, Kiel, Germany.* 1/241. Available: <http://regional.org.au/au/gcirc/2007.htm>. Accessed: Jul. 23, 2017.