ผลของการใช้กลีเซอรอลดิบที่มีเมทานอลต่ำต่อสมรรถภาพการผลิตและค่าทางเคมีในเลือดของสุกรอนุบาล

Effect of using crude glycerol with low methanol content on performance and blood chemistry of nursery pigs

กรกวรรษ รัศมิทัต[1], เสกสม อาตมางกูร[1] และ ยุวเรศ เรืองพานิช[1*]

Konkawat Rassmidatta[1], Seksom Attamangkune[1] and Yuwares Ruangpanit[1*]

บทคัดย่อ: กลีเซอรอลดิบที่มีเมทานอลต่ำเป็นผลิตผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลสามารถถูกดูดซึมในทางเดินอาหารได้อย่างรวดเร็ว จึงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานทางเลือกในอาหารสุกรอนุบาล และเนื่องจากมีรสหวานจึงคาดว่าจะสามารถกระตุ้นการกินอาหารของสุกรอนุบาลได้ โดยการทดลองทำการเลี้ยงสุกรอนุบาลลูกผสมสามสาย (แลนด์เรซ × ลาร์จไวท์ × ดูรอค) จำนวน 200 ตัว อายุ 3 สัปดาห์ น้ำหนักตัวประมาณ 6 กก. แบ่งสุกรออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว คละเพศ (เพศผู้ตอน 5 ตัว และเพศเมีย 5 ตัว) ให้ได้รับอาหารทดลองที่มีกลีเซอรอลดิบที่มีเมทานอลต่ำที่ระดับ 0, 2.5, 5 และ 7.5 % ตามลำดับ โดยกลีเซอรอลดิบที่ใช้ในการผสมอาหารมีกลีเซอรอล 84.6 % และเมทานอล 0.01 % ทำการเลี้ยงลูกสุกรในโรงเรือนปิดที่ควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบระเหยไอน้ำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ (อายุ 4-9 สัปดาห์) ผลการศึกษาพบว่าสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรในทุกช่วงอายุแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าที่ช่วงอายุ 7-9 สัปดาห์ การใช้กลีเซอรอลดิบที่ระดับ 5 และ 7.5 % มีผลให้ความน่ากินของอาหารลดลง ส่งผลให้ปริมาณการกินได้ต่อตัวต่อวันของลูกสุกรลดลง ทำให้ระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่ได้รับต่อวันลดลง มีผลให้ปริมาณการกินได้ต่อตัวต่อวันและค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่อวันที่สุกรอนุบาลกลุ่มดังกล่าวได้รับตลอดระยะเวลาการทดลอง (4-9 สัปดาห์) มีค่าลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05) ทำให้การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันลดลง แต่ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น ในด้านระดับกลูโคสและกลีเซอรอลในกระแสเลือดนั้น พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มทดลอง (P > 0.05)

คำสำคัญ: กลีเซอรอลดิบ, สุกรอนุบาล, สมรรถภาพการผลิต, ค่าทางเคมีในเลือด

Received September 11, 2018

Accepted Janurary 24, 2019

[1] ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen campus, Nakhon-Pathom 73140

[*] Corresponding author: agryos@ku.ac.th

ABSTRACT: Crude glycerol with low methanol content, a by-product from biodiesel production, can be used as an alternative source of energy since it is readily absorbed and utilized by nursery pigs. Due to glycerol processes sweet tastes, it could increase palatability in enhance feed intake of nursery pigs. A total of 200 three-way crossbred pigs (LR x LW x D) at 3 weeks of age were divided into 4 dietary treatments including, basal diet with 0, 2.5, 5, and 7.5 % crude glycerol. Each treatment consisted of 5 replications with 10 pigs per replication, 5 barrow and 5 female pigs. Crude glycerol used in the present experiment contained 84.6 % glycerol and 0.01 % methanol. All pigs were housed with evaporative cooling system and the trial was run for 6 weeks (4-9 weeks of age). There was no significant different in overall growth performance of nursery pigs among dietary treatments ($P > 0.05$). However, the supplementation of crude glycerol at 5 and 7.5 % in the diets reduced feed palatability, feed intake and ultimately daily metabolizable energy intake of nursery pigs during 7-9 weeks of age ($P < 0.05$). This led to the significant lower overall feed intake, daily metabolizable energy intake and average dairy gain (4-9 weeks of age; $P < 0.05$) but reduce feed conversion ratio of nursery pigs. Blood glucose and blood glycerol were not significant difference among dietary treatments ($P > 0.05$).

Keywords: Crude glycerol, Nursery pigs, growth performance, Blood chemistry

บทนำ

กระบวนการหย่านมสุกรอนุบาลมักก่อให้เกิดปัญหาความเครียดเนื่องจากลูกสุกรถูกแยกจากแม่สุกรและถูกเคลื่อนย้ายไปในสภาพแวดล้อมใหม่ ซึ่งอาจส่งผลต่อการกินได้ที่ลดลง รวมไปถึงความสามารถในการย่อยและดูดซึมสารอาหารเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายของสุกรอนุบาลยังไม่สมบูรณ์ ทำให้ประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตลดลงเช่นกัน การนำกลีเซอรอลดิบซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติสามารถให้ความหวานได้ประมาณ 60 % ของน้ำตาลซูโครส (Brambilla and Hill, 1966) ซึ่งคาดว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถกระตุ้นการกินอาหารในสุกรอนุบาลได้ จากการศึกษาของ Sterk et al. (2009) พบว่าการเสริมสารให้ความหวานที่มีส่วนผสมของดีน้ำตาลหรือโซเดียมแซคคาริน (sodium saccharine) สามารถเพิ่มปริมาณการกินและสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล แต่การใช้ปริมาณสารให้ความหวานที่ระดับสูงเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อลักษณะของอาหาร และอาจส่งผลกระทบต่อการกินอาหารของสุกรอนุบาลซึ่งส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตลดลงได้ นอกจากนี้กลีเซอรอลดิบมีโครงสร้างทางเคมีเป็นคาร์บอน 3 อะตอมจับกับแอลกอฮอล์ทำให้มีคุณสมบัติในการละลายน้ำ และสามารถดูดซึมได้ตั้งแต่ในส่วนของกระเพาะอาหาร (Lin, 1977) ในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จะได้กลีเซอรอลดิบประมาณ 8 % (Sharma et al., 2008) องค์ประกอบของกลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้นจะประกอบด้วย กลีเซอรอล สบู่ เมทานอล เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน น้ำ กรดไขมันอิสระ เกลือ และเถ้า โดยทั่วไปกลีเซอรอลดิบจะมีกลีเซอรอลอยู่ประมาณ 78-85 % น้ำ 8-15 % เกลือ (โซเดียมคลอไรด์ หรือโพแทสเซียมคลอไรด์) 2-10 % กรดไขมันอิสระ 0.5 % และเมทานอลน้อยกว่า 0.05 % กลีเซอรอลดิบมีลักษณะเป็นของเหลวหนืด ไม่มีกลิ่น และมีรสหวาน สีเหลืองถึงน้ำตาลเข้มโดยขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่นำมาผลิต ซึ่งปริมาณพลังงานที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในกลีเซอรอลดิบขึ้นอยู่กับปริมาณของกลีเซอรอลกรดไขมันอิสระ และเมทานอล (Kerr et al., 2009) ปกติกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะมีปริมาณเมทานอลที่ปนเปื้อนอยู่ในระดับสูง และสามารถก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพสัตว์ซึ่งนำไปสู่การเสียชีวิตได้ โดยทั่วไปจึงมีการนำกลีเซอรอลดิบไปทำให้บริสุทธิ์เพื่อลดปริมาณเมทานอลและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ก่อนนำมาใช้ในอาหารสัตว์ ส่งผลให้มีราคาสูงขึ้น เมื่อนำมาประกอบสูตรอาหารสัตว์จึงไม่สามารถช่วยลดต้นทุนได้ อย่างไรก็ตามได้มีการคิดค้นกรรมวิธีการลดปริมาณเมทา

นอลในกลีเซอรอลดิบโดยทำให้เมทานอลระเหยออกจากกลีเซอรอลดิบในระดับต่ำกว่า 0.01 % ซึ่งจากการศึกษาของ Kerr et al. (2007) พบว่าระดับของเมทานอลในกลีเซอรอลดิบที่ปลอดภัยต่อสัตว์คือ ต่ำกว่า 150 ppm (0.015 %) นอกจากนี้การนำกลีเซอรอลดิบไปประกอบสูตรอาหารสัตว์ต้องทราบปริมาณเกลือที่แท้จริงเพื่อนำมาใช้คำนวณสูตรอาหารให้มีปริมาณเกลือเหมาะสมในอาหารสุกรอนุบาล เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีปริมาณโซเดียมโปแตสเซียม หรือคลอไรด์ในสูตรอาหารสูงเกินไป ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดอาการท้องเสียจากการกินน้ำที่มากขึ้นของลูกสุกร

Lammers et al. (2007) ทำการทดลองพบว่าเมื่อสุกรได้รับกลีเซอรอลดิบที่มีกลีเซอรอล 86.95 % มีเมทานอล 0.028 % ระดับ 0, 5 และ 10 % ในอาหารพื้นฐานข้าวโพด-กากถั่วเหลือง ส่งผลให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) Zijlstra et al. (2009) ทำการเสริมกลีเซอรอลดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 % ในสูตรอาหารอัดเม็ดที่มีข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบหลักในอาหารสุกรอนุบาล พบว่าการเสริมกลีเซอรอลดิบในระดับ 8 % ส่งผลให้ปริมาณการกินได้เฉลี่ยต่อวัน (average daily feed intake) และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ($P = 0.066$) หากนำกลีเซอรอลดิบมาใช้ในอาหารสัตว์ในระดับที่เหมาะสมพบว่าสามารถใช้ได้ในสูตรอาหารสุกรได้โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต (Groesbeck et al., 2008; Lammer et al., 2008; Zijlstra et al., 2009) เนื่องจากกลีเซอรอลดิบสามารถเพิ่มความหวานในอาหาร ทำให้สุกรอนุบาลมีปริมาณการกินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กลีเซอรอลสามารถเปลี่ยนกลับเป็นกลูโคสในกระบวนการกลูโคนีโอจีนีซีส หรือถูกนำเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซีสและวัฏจักรเครบส์เพื่อเป็นพลังงานได้โดยตรงมากขึ้น (Mourot et al.,1994) จากการทดลองของ Schieck et al. (2010) ทำการศึกษาระดับกลูโคสและกลีเซอรอลในกระแสเลือดของสุกรแม่พันธุ์ที่ได้รับอาหารที่มีกลีเซอรอลดิบในระดับ 0, 3, 6 และ 9 % พบว่าความเข้มข้นของกลีเซอรอลในเลือดเพิ่มขึ้นตามระดับของกลีเซอรอลดิบที่เพิ่มขึ้นในอาหาร แต่ไม่มีผลให้ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Hansen et al. (2009) ที่ให้กลีเซอรอลดิบระดับ 0, 4, 8, 12 และ 16 % ในอาหารสุกรรุ่น-ขุน พบว่าระดับกลูโคสในกระแสเลือดของสุกรไม่แตกต่างกัน แต่ระดับกลีเซอรอลในกระแสเลือดของสุกรขุนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ตามระดับของกลีเซอรีนดิบที่เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรอลที่ได้รับจากอาหารสามารถถูกดูดซึมและเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลในกระแสเลือดได้ (Kijora and Kupsch, 1996) ซึ่งการกระตุ้นการกินของสุกรอนุบาลโดยใช้กลีเซอรอลดิบสามารถเพิ่มปริมาณการกินและสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาลและกลีเซอรอลสามารถดูดซึมไปใช้เพื่อเป็นพลังงานในร่างกายได้เร็วกว่ากลูโคส ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลดิบที่มีปริมาณเมทานอลต่ำจากการผลิตไบโอดีเซล โดยศึกษาผลต่อสมรรถภาพการผลิตและค่าทางเคมีในเลือดของสุกรระยะอนุบาล

วิธีการศึกษา

ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรอลดิบ

ในการทดลองใช้กลีเซอรอลดิบที่มีเมทานอลต่ำจากไบโอดีเซลที่ใช้ปาล์มน้ำมันในการผลิตโดย บริษัท วีระสุวรรณ จำกัด เนื่องจากปาล์มน้ำมันมีต้นทุนการผลิตต่ำ ปริมาณผลผลิตสูง และราคาต่ำกว่าพืชน้ำมันอื่นจึงถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับผลิตไบโอดีเซล และได้ทำการเก็บตัวอย่างกลีเซอรอลดิบจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพได้แก่ สี ความข้นหนืด และตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมี ได้แก่ ความบริสุทธิ์ ปริมาณกลีเซอรอล ความชื้น ค่าพลังงานรวม และปริมาณเมทานอล

สัตว์ทดลอง และอาหารทดลอง

การทดลองใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (แลนด์เรซ × ลาร์จไวท์ × ดูรอค) อายุประมาณ 21 วัน (3 สัปดาห์) น้ำหนักตัวเริ่มต้นประมาณ 5-7 กก. จำนวน 200 ตัว โดยเป็นเพศผู้ตอน 100 ตัว และเพศเมีย 100 ตัว แบ่งสุกรออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว สุกรแต่ละซ้ำถูกเลี้ยงในคอกขังรวม ประกอบด้วยเพศผู้ตอน 5 ตัว และเพศเมีย 5 ตัว

เลี้ยงสุกรในโรงเรือนปิดที่ควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบระเหยไอน้ำ ทำวัคซีนป้องกันโรคพีอาร์อาร์เอส (porcine reproductive and respiratory syndrome; PRRS) โรคเซอร์โคไวรัส (circovirus) โรคอหิวาต์สุกร (hog cholera, swine fever; SF) และโรคพิษสุนัขบ้าเทียม (pseudorabies, Aujeszky's disease; AD) เมื่อสุกรอายุ 5, 7, 8 และ 9 สัปดาห์ ตามลำดับ

สุกรอนุบาลจะได้รับอาหารทดลองที่ผสมกลีเซอรอลดิบ ที่ระดับต่างๆ กันดังนี้

สูตรที่ 1 อาหารกลุ่มควบคุม (ไม่มีกลีเซอรอลดิบ)

สูตรที่ 2 อาหารกลุ่มควบคุม + กลีเซอรอลดิบ 2.5 %

สูตรที่ 3 อาหารกลุ่มควบคุม + กลีเซอรอลดิบ 5 %

สูตรที่ 4 อาหารกลุ่มควบคุม + กลีเซอรอลดิบ 7.5 %

อาหารสุกรอนุบาลระยะที่ 1 (4-6 สัปดาห์) มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 3,350 กิโลแคลอรี่/กก. และโปรตีนรวม 21.05 % ประกอบด้วยปลายข้าวและกากถั่วเหลืองเป็นหลัก (Table 1) และอาหารสุกรอนุบาลระยะที่ 2 (7-9 สัปดาห์) มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 3,250 กิโลแคลอรี่/กก. และโปรตีนรวม 20.00 % ประกอบด้วยข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลัก (Table 1) โดยอาหารทดลองทุกกลุ่มในช่วงการทดลองเดียวกันมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และโปรตีนรวมเท่ากัน และมีปริมาณเกลือในสูตรอาหารสุกรอนุบาลระยะแรกและระยะที่ 2 เท่ากับ 0.50 และ 0.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งได้ทำการปรับให้เหมาะสมเพื่อเสริมกลีเซอรอลดิบในอาหาร สุกรได้รับน้ำและอาหารทดลองอย่างเต็มที่ (Ad libitum) ตลอดการทดลอง อาหารทดลองเป็นอาหารผง ซึ่งได้มีการศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของกลีเซอรอลดิบในสุกรระยะเล็กที่อายุประมาณ 9 สัปดาห์ ในงานทดลองก่อนหน้านี้พบว่ามีค่าเท่ากับ 3,518 กิโลแคลอรี่/กก. และนำค่าที่ได้มาใช้ในการคำนวณสูตรอาหารทดลองครั้งนี้

วิธีการทดลอง

ทำการเลี้ยงสุกรเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยบันทึกน้ำหนักตัวเมื่อเริ่มทดลอง (อายุ 3 สัปดาห์) และเมื่อเปลี่ยนสูตรอาหารคือ ที่อายุ 6 และ 9 สัปดาห์ ตามลำดับ บันทึกปริมาณอาหารที่กินในแต่ละช่วงเวลา เพื่อคำนวณข้อมูลสมรรถภาพการผลิต ได้แก่ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่ได้รับต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก และอัตราการตาย

ทำการเก็บตัวอย่างเลือดสุกรที่อายุ 4,6 และ 9 สัปดาห์ โดยเก็บตัวอย่างหลังจากให้อาหาร 3 ชั่วโมง โดยสุ่มสุกรกลุ่มละ 10 ตัว แบ่งเป็น เพศผู้ตอน 5 ตัว และเพศเมีย 5 ตัว หลังจากนั้นนำตัวอย่างเลือดไปปั่นเหวี่ยง (3,000 รอบต่อนาที หรือ 1,000 g เป็นเวลา 5 นาที) และทำการแยกซีรั่มออกมาเพื่อตรวจหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสและกลีเซอรอล (Schieck et al., 2010) โดยใช้ชุดทดสอบ ab155899 Free Glycerol Assay Kit II (colorimetric) GR309875-3 ของบริษัท Abcam ประเทศสหราชอาณาจักร โดยทำการตรวจกลีเซอรอลในช่วงสัปดาห์ที่ 9 ซึ่งเป็นช่วงท้ายของการทดลองในสุกรอนุบาล เพื่อต้องการให้เห็นผลที่แน่นอนจากอิทธิพลของกลีเซอรอลดิบที่ใช้ในอาหาร เนื่องจากในช่วงแรกสุกรอนุบาลยังมีปัญหาเรื่องการกินได้จากความเครียด ทำให้มีผลต่อระดับกลีเซอรอลในเลือดจากอาหารที่สุกรอนุบาลได้รับ ผลของกลีเซอรอลในเลือดของสุกรอนุบาลในช่วงแรกจึงยังไม่ได้รับอิทธิพลที่แน่นอนจากกลีเซอรอลดิบในอาหาร

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง ได้แก่ ความชื้น โปรตีนรวม เถ้า ไขมันรวม เยื่อใยรวม แคลเซียม และฟอสฟอรัส ในสูตรอาหารด้วยวิธี proximate analysis (AOAC, 1990) และวิเคราะห์หาค่าพลังงานรวมโดยการใช้ bomb calorimeter

Table 1 Ingredients and composition of diets (4-6 weeks)

Item	Dietary crude glycerol (%)							
	4-6 weeks				7-9 weeks			
	0	2.5	5	7.5	0	2.5	5	7.5
Ingredients, %								
Crude glycerol	0.00	2.50	5.00	7.50	0.00	2.50	5.00	7.50
Broken rice	40.73	38.71	36.69	34.67	20.00	20.00	20.00	20.00
Corn	3.86	3.00	2.15	1.29	25.75	23.05	20.31	17.56
Soybean meal	14.55	15.01	15.48	15.94	19.26	19.67	20.13	17.56
Full fat soybean	25.00	25.00	25.00	25.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Sweet whey	10.00	10.00	10.00	10.00	-	-	-	-
Wheat	-	-	-	-	10.00	10.00	10.00	10.00
Fermented corn	-	-	-	-	3.00	3.00	3.00	3.00
Rice bran oil	0.60	0.60	0.60	0.60	2.07	1.95	1.82	1.70
MCP (P 22 %)	1.77	1.77	1.78	1.78	-	-	-	-
MDCP (P 21 %)	-	-	-	-	1.80	1.80	1.80	1.80
Limestone	1.42	1.42	1.40	1.40	1.31	1.30	1.29	1.29
Vitamin and mineral premix	0.60	0.60	0.60	0.60	0.78	0.78	0.78	0.78
L-lysine hydrochloride 78 %	0.24	0.24	0.23	0.23	0.21	0.21	0.21	0.19
DL-methionine 99 %	0.17	0.17	0.17	0.17	0.08	0.08	0.08	0.08
L-threonine 99 %	0.15	0.15	0.15	0.15	-	-	-	-
L-tryptophan 99 %	0.04	0.04	0.04	0.04	-	-	-	-
Salt	0.27	0.19	0.11	0.02	0.42	0.34	0.25	0.17
Zinc oxide	0.20	0.20	0.20	0.20	-	-	-	-
Copper sulfate	-	-	-	-	0.08	0.08	0.08	0.08
Antibiotic	0.40	0.40	0.40	0.40	0.24	0.24	0.24	0.24
Calculated composition								
ME (kcal/kg)	3350.00	3350.00	3350.00	3350.00	3250.00	3250.00	3250.00	3250.00
Crude protein (%)	21.05	21.05	21.05	21.05	20.00	20.00	20.00	20.00
Ash (%)	5.98	6.02	6.06	6.09	5.57	5.59	5.62	5.64
Crude fat (%)	5.75	5.72	5.68	5.64	6.44	6.22	5.99	5.77
Crude fiber (%)	2.25	2.24	2.23	2.22	2.90	2.85	2.80	2.75
Calcium (%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Total P (%)	0.68	0.67	0.67	0.67	0.71	0.70	0.70	0.70
Available P (%)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Salt (%)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45

แผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ในการเก็บข้อมูลสมรรถภาพการผลิตและอัตราการตาย วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลสมรรถภาพการผลิตด้วยวิธี Analysis of Covariance (ANCOVA) โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้นเป็น Covariance และค่าทางเคมีในเลือดของสุกรอนุบาลด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองโดยใช้ Polynomial orthogonal contrast ที่ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ด้วยโปรแกรม SAS® University Edition

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรอลดิบ

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรอลดิบที่มีเมทานอลต่ำ พบว่ามีปริมาณกลีเซอรอล 84.6 % ปริมาณเมทานอลน้อยกว่า 0.01 % มีน้ำประมาณ 0.6 % เกลือ 5.7 % เถ้า 1.42 % ค่าความเป็นกรดด่างที่ 5.8 ซึ่งมีความเป็นกรดเล็กน้อย ค่าเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็น 10.4 % มีความหนืดประมาณ 760 centipoises และมีค่าพลังงานรวมประมาณ 3,954.12 กิโลแคลอรี่/กก. (Table 2) (จากการทดลองเพื่อหาค่าพลังงานรวมของกลีเซอรอลที่ทำให้บริสุทธิ์จากบริษัท วีระสุวรรณ จำกัด พบว่ามีค่าเท่ากับ 4,057 กิโลแคลอรี่/กก.) ในการผลิตไบโอดีเซลมีการใช้เทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทำให้เมทานอลถูกกำจัดออกไปจนทำให้อยู่ในระดับต่ำกว่า 0.01 % ซึ่งเป็นกลีเซอรอลดิบที่มีปริมาณเมทานอลต่ำ โดยกลีเซอรอลดิบที่มีเมทานอลระดับดังกล่าวนี้จัดว่าเป็นระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพสัตว์ (Hu et al., 2012) การใช้กลีเซอรอลดิบจากแหล่งผลิตนี้ในอาหารจึงปลอดภัยต่อสุกรอนุบาล

Table 2 Chemical composition of crude glycerol used in the experiment.

Composition	%wt
Glycerol	84.6
Methanol	0.01
Moisture	0.6
NaCl	5.7
Ash	1.42
Fatty acid methyl esters	10.4
pH	5.8
Color	Dark brown
Viscosity (centipoises)	759.8
Gross energy (kcal/kg)	3,954.12

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลองเมื่อใช้กลีเซอรอลดิบที่มีเมทานอลต่ำระดับ 0, 2.5, 5 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสูตรอาหารทั้ง 4 สูตรมีความชื้น โปรตีนรวม เถ้า ไขมันรวม เยื่อใยรวม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และพลังงานรวมที่ใกล้เคียงกันสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณ (Table 3)

Table 3 Nutrient composition of dietary used in the experiment.

Item	Dietary crude glycerol (%)							
	4-6 weeks				7-9 weeks			
	0	2.5	5	7.5	0	2.5	5	7.5
Moisture (%)	9.20	9.60	10.10	10.75	10.15	10.40	10.75	11.15
GE (kcal/kg)	4558.40	4598.02	4579.43	4580.47	4549.02	4519.28	4516.98	4523.54
Crude protein (%)	21.24	21.72	21.14	21.22	20.64	20.79	21.08	21.20
Ash (%)	6.55	6.50	6.55	6.65	6.15	6.15	6.20	6.25
Crude fat (%)	6.02	6.08	5.97	6.01	6.19	6.02	5.90	5.75
Crude fiber (%)	2.58	2.64	2.41	2.48	3.14	3.01	3.00	3.10
Calcium (%)	1.22	1.16	1.23	1.17	1.05	1.03	0.98	0.96
Total P (%)	0.71	0.73	0.73	0.73	0.74	0.72	0.72	0.72

สมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล

จากการศึกษาการใช้กลีเซอรอลดิบที่มีเมทานอลต่ำเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่ระดับ 0, 2.5, 5 และ 7.5 % ในอาหารสุกรอนุบาล ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต (Table 4) พบว่าน้ำหนักสุดท้าย ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่ได้รับต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก และอัตราการตายของแต่ละกลุ่มทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในช่วงอายุ 4-6, 7-9 และ 4-9 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามในสัปดาห์ที่ 4-9 พบว่าปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่ได้รับต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากสุกรอนุบาลที่ 7-9 สัปดาห์ มีปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวันลดลงเมื่อใช้กลีเซอรอลดิบที่ระดับ 5 และ 7.5 % ในสูตรอาหาร ส่งผลให้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่ได้รับต่อวันลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับระดับ 0 และ 2.5 % เนื่องจากในการการทดลองครั้งนี้พบว่าเมื่อใช้กลีเซอรอลดิบในระดับที่สูงมากกว่า 5 % ในสูตรอาหาร ทำให้ความน่ากินของอาหารลดลงซึ่งทำให้เห็นผลเชิงลบในด้านปริมาณอาหารที่สุกรกิน ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร เนื่องจากเกิดการจับตัวกันของอาหารโดยมีกลีเซอรอลดิบเป็นตัวยึดเกาะทำให้อาหารเกิดความแข็งขึ้น สอดคล้องกับCarvalho et al. (2012) พบว่าการใช้กลีเซอรอลดิบในระดับที่สูงมากกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ อาจทำให้ความน่ากินของอาหารลดลง การเก็บอาหารที่ผสมกลีเซอรอลดิบนานกว่า 24 ชม. ส่งผลให้อาหารแห้งและเกาะตัวกัน (Hansen et al., 2009) ทำให้สุกรอนุบาลมีปริมาณการกินที่ลดลงตามระดับของกลีเซรอลดิบที่เพิ่ม

มากขึ้น ถึงแม้ว่าสุกรอนุบาลจะได้รับอาหารต่อวันน้อยกว่าอาหารสูตรปกติ (L, P = 0.0093) แต่สามารถเจริญเติบโตได้เท่ากันโดยที่มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักต่ำกว่าอาหารสูตรปกติ (L, P = 0.0364) และพบว่าปริมาณเกลือ (5.7 %) ที่ปนอยู่ในกลีเซอรอลดิบที่นำมาทดลองไม่มีผลต่อปริมาณอาหารที่กินลดลงตามระดับของกลีเซอรอลดิบที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในการคำนวณสูตรอาหารได้ทำการกำหนดค่าเกลือในสูตรอาหารให้มีปริมาณที่เหมาะสมแล้วก่อนทำการผสมกลีเซอรอลดิบ

จากการศึกษาข้อมูลสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกรอนุบาลของ Lammers et al. (2007) เมื่อสุกรได้รับกลีเซอรอลดิบในระดับสูงถึง 10 % ในอาหาร พบว่าไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตในสุกรอนุบาล นอกจากนี้ Carvalho et al. (2012) พบว่าการให้กลีเซอรอลดิบในระดับที่ต่างกัน (0, 3, 6, 9 และ 12 %) จากกลีเซอรอลดิบที่มาจากวัตถุดิบต่างชนิดกัน ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) และสามารถใช้กลีเซอรอลดิบใน

Table 4 Effect of using crude glycerol with low methanol on growth performance of nursery pigs

Parameter	Level of crude glycerol (%)				Pool SE	P-value		
	0	2.5	5	7.5		L	Q	C
Initial weight (kg)	6.403	6.411	6.399	6.404	0.1943	0.9983	0.9963	0.9867
4-6 weeks								
Final weight (kg)	16.0	16.0	16.1	15.6	0.3031	0.1837	0.2293	0.5296
Average daily feed intake (g/day)	609.4	626.9	631.0	597.9	13.0012	0.7959	0.3413	0.8342
Energy intake (kcal/day)	2041.4	2100.2	2113.8	2003.0	43.5541	0.7958	0.3413	0.8343
Average daily gain (g/day)	436.6	437.3	439.1	418.4	6.0164	0.1822	0.2280	0.528
Feed conversion ratio	1.396	1.434	1.437	1.429	0.0293	0.7116	0.7519	0.8656
Mortality (%)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	-	-	-
7-9 weeks								
Final weight (kg)	29.7	29.6	29.6	28.6	0.4523	0.3704	0.7634	0.9251
Average daily feed intake (g/day)	1122.6	1098.6	1016.6	1009.8	18.7816	0.0064	0.5753	0.2425
Energy intake (kcal/day)	3648.5	3570.5	3303.8	3282.0	61.0402	0.0064	0.5753	0.2425
Average daily gain (g/day)	684.2	680.7	675.9	652.0	10.5918	0.3741	0.7618	0.9192
Feed conversion ratio	1.641	1.614	1.504	1.549	0.0277	0.1370	0.5053	0.3574
Mortality (%)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	-	-	-
4-9 weeks								
Final weight (kg)	29.7	29.6	29.6	28.6	0.4523	0.3704	0.7634	0.9251
Average daily feed intake (g/day)	853.8	851.6	814.6	794.1	11.5767	0.0093	0.5868	0.5039
Energy intake (kcal/day)	2845.0	2835.4	2708.8	2642.5	38.5906	0.0083	0.6101	0.4834
Average daily gain (g/day)	554.5	553.2	551.9	529.6	6.7102	0.0364	0.1791	0.5208
Feed conversion ratio	1.540	1.539	1.476	1.499	0.0168	0.2553	0.7355	0.3430
Mortality (%)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	-	-	-

[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

อาหารสุกรอนุบาลได้ถึง 10 % โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล Groesbeck et al. (2008) ได้ทำการศึกษาผลของอาหารอัดเม็ดที่ผสมกลีเซอรอลดิบในสูตรอาหารของสุกรอนุบาล พบว่าสมรรถภาพการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อใช้กลีเซอรอลดิบที่ระดับ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 % ถึงแม้ว่าปริมาณการกินของสุกรอนุบาลจะลดลงตามปริมาณกลีเซอรอลดิบที่เพิ่มมากขึ้นแต่ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของสุกร เนื่องจากกลีเซอรอลสามารถเปลี่ยนกลับเป็นกลูโคสในกระบวนการกลูโคนีโอจีนีซีส หรือถูกนำเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซีสและวัฏจักรเครบส์เพื่อเป็นพลังงานได้โดยตรงมากขึ้น (Mourot et al.,1994)

ค่าทางเคมีในเลือด

จากการศึกษาค่าทางเคมีในเลือดของสุกรอนุบาลที่อายุ 4 (ก่อนได้รับอาหารทดลอง), 6 และ 9 สัปดาห์ ที่ได้รับกลีเซอรอลดิบระดับต่างๆ กันในอาหาร พบว่าปริมาณกลูโคสและกลีเซอรอลในกระแสเลือดหลังจากสุกรได้รับอาหาร 3 ชม. มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง ($P > 0.05$) (Table 5) สอดคล้องกับ Hansen et al. (2009) ที่รายงานว่าปริมาณกลีเซอรอลในเลือดสุกรระยะอนุบาลถึงระยะรุ่นไม่แตกต่างกันเมื่อใช้อาหารผสมกลีเซอรอลกึ่งบริสุทธิ์ที่ระดับ 0, 4, 8, 12 และ 16 % แต่จะแตกต่างกันในสุกรระยะขุน ซึ่ง Schieck et al. (2010) ที่ทำการศึกษาการใช้กลีเซอรอลดิบในอาหารแม่สุกร พบว่าปริมาณกลีเซอรอลในเลือดของแม่สุกรที่ได้รับกลีเซอรอลดิบที่ระดับ 9 % สูงกว่าแม่สุกรในกลุ่มอื่น (0, 3. และ 6 %) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งกลีเซอรอลที่ได้รับจากอาหารในระดับที่เพิ่มมากขึ้นสามารถเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลในกระแสเลือดได้ (Kijora and Kupsch, 1996) แต่สุกรที่มีอายุน้อยกว่า (อายุน้อยกว่า 19 สัปดาห์) สามารถดูดซึมกลีเซอรอลและนำไปใช้เพื่อสร้างพลังงานได้ดีกว่าสุกรที่มีอายุมาก (อายุมากกว่า 19 สัปดาห์) เนื่องจากมีเอนไซม์กลีเซอรอลไคเนส (glycerol kinase) ที่เพียงพอต่อการเปลี่ยนกลีเซอรอลเป็นไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟสทำให้ระดับกลีเซอรอลในกระแสเลือดไม่ต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นจากปริมาณกลีเซอรอลในพลาสม่าที่ไม่แตกต่างกันเนื่องกลีเซอรอลถูกนำไปใช้เป็นพลังงานในร่างกายสุกรแล้ว (Mourot et al.,1994) แต่ในสุกรอายุมากการเสริมกลีเซอรอลดิบในปริมาณที่มากเกินไปทำให้ปริมาณกลีเซอรอลไคเนส (glycerol

Table 5 Effect of using crude glycerol with low methanol on blood chemical of nursery pigs

Parameter	Level of crude glycerol (%)				Pool	P-value[1]		
	0	2.5	5	7.5	SE	L	Q	C
Glycerol (µmol/L)								
9 weeks	76.06	76.63	82.54	89.46	2.3349	0.0854	0.5646	0.8526
Glucose (mmol/L)								
4 weeks (Baseline)	4.90	4.86	4.85	5.00	0.1289	0.8317	0.7541	0.9190
6 weeks	6.40	6.18	6.34	6.29	0.1002	0.8263	0.6203	0.4696
9 weeks	6.15	5.66	5.85	5.89	0.0976	0.3999	0.0982	0.2388

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

kinase) ที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อการเปลี่ยนกลีเซอรอลเป็นไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟสซึ่งทำให้สุกรที่อายุมากไม่สามารถนำกลีเซอรอลไปใช้สร้างพลังงานโดยตรงในวิถีไกลโคไลซีสหรือนำกลับไปสังเคราะห์กลูโคสผ่านวิถีโคนีโอจีนีซีสได้อย่างเต็มที่ (Kijora et al., 1995)

จากการศึกษาปริมาณกลูโคสในเลือดสุกรอนุบาลที่อายุ 4, 6 และ 9 สัปดาห์ หลังจากให้อาหารทดลอง 3 ชม. พบว่าผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาการใช้กลีเซอรอลดิบในอาหารสุกรอนุบาลของ Carvalho et al. (2012) ที่พบว่าเมื่อทำการให้อาหารที่ผสมกลีเซอรอลดิบที่ระดับ 0, 3, 6, 9 และ 12 % ส่งผลให้ปริมาณกลูโคสในเลือดมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับ Hansen et al. (2009) ที่รายงานว่าปริมาณกลูโคสในเลือดสุกรอนุบาลไม่แตกต่างกันเมื่อใช้อาหารผสมกลีเซอรอลกึ่งบริสุทธิ์ที่ระดับ 0, 4, 8, 12 และ 16 % รวมไปถึงในสุกรขุน อาจเป็นผลมาจากกลีเซอรอลถูกดูดซึมเพื่อใช้เป็นพลังงานในวิถีไกลโคไลซีสก่อนการเปลี่ยนกลีเซอรอลเป็นกลูโคสในวิถี

กลูโคนีโอจีนีซีส ส่งผลให้การใช้กลีเซอรอลดิบเป็นแหล่งพลังงานมากขึ้นไม่ได้ทำให้ระดับกลูโคสในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น (Hansen et al., 2009) และเนื่องจากในการเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นแหล่งพลังงานในร่างกายสัตว์จะมีกลไกเพื่อควบคุมการเปลี่ยนกลูโคสเป็นไพรูเวทเมื่อเซลล์ต้องการพลังงานเท่านั้น ซึ่งเกิดขึ้นในวิถีไกลโคไลซีส และมีเอนไซม์ที่มีสมบัติอัลโลสเตริกเป็นจุดควบคุม 3 ชนิด คือ เฮกโซไคเนส (hexokinase) ฟอสโฟฟรุกโตไคเนส (phosphofructokinase) และ ไพรูเวท ไคเนส (pyruvate kinase) ส่งผลให้อัตราเร็วในการนำกลูโคสเข้าสู่เซลล์และการสลายกลูโคสในวิถีไกลโคไลซีสถูกควบคุมให้พอเหมาะกับการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ ซึ่งเป็นกลไกที่ทำให้ระดับกลูโคสในกระแสเลือดอยู่ในระดับคงที่เมื่อสัตว์มีสภาพร่างกายปกติ (พจน์ และคณะ, 2543)

สรุปผลการศึกษา

กลีเซอรอลดิบที่มีเมทานอลต่ำสามารถใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทางเลือกในสุกรอนุบาลได้ที่ระดับ 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าการใช้กลีเซรอลดิบที่ระดับมากกว่า 5 % ทำให้ปริมาณการกินต่อตัวต่อวันของสุกรอนุบาลลดลงส่งผลให้การเจริญเติบโตต่อวันลดลง แต่ไม่มีผลกระทบเชิงลบต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวในสุกรระยะอนุบาล (4-9 สัปดาห์) เนื่องจากสุกรอนุบาลสามารถใช้กลีเซอรอลดิบเป็นแหล่งพลังงานได้โดยตรงหรือสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นกลูโคสผ่านกระบวนการกลูโคนีโอจีนีซีสเพื่อเก็บไว้เป็นพลังงานสำรองได้ การใช้กลีเซอรอลดิบในสูตรอาหารสุกรอนุบาลสามารถดูดซึมกลีเซอรอลไปใช้สร้างพลังงานโดยผ่านกระบวนการไกลโคไลซีสได้ทันทีซึ่งไม่ต้องเปลี่ยนเป็นกลูโคสทำให้ระดับที่ต่างกันของกลีเซอรอลดิบไม่มีผลต่อการดูดซึมและปริมาณกลีเซอรอล และกลูโคสในกระแสเลือดสุกรอนุบาล

เอกสารอ้างอิง

พจน์ ศรีบุญลือ, โสพิศ วงศ์คำ และ พัชรี บุญศิริ. 2543. ตำราชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

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

Brambilla, S.and Hill, F. W. 1966. Comparison of neutral fat and free fatty acids in high

lipid low carbohydrates diets for the growing chicken. J .Nutr. 88:84-92.

Carvalho, P. L. O., I. Moreira, E. N. Martins, L. M. Piano, J. B. Toledo, and C. L. C. Filho. 2012. Crude glycerine in diets for piglets. R. Bras. Zootec. 41: 1654-1661.

Groesbeck, C. N., L. J. McKinney, J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, R. D. Goodband, S.S. Dritz, J. L. Nelssen, A. W. Duttlinger, A. C. Fahrenholz, and K. C. Behnke. 2008. Effect of crude glycerol on pellet mill production and nursery pig growth performance. J. Anim. Sci. 86: 2228-2236.

Hansen, C. F., A. Herenandez, B. P. Mullan, K. Moore, M. Trezona-Murry, R. H. King, and J. R. Pluske. 2009. A chemical analysis of samples of crude glycerol from the production of biodiesel in Australia, and the effects of feeding crude glycerol to growing-finishing pigs on performance, plasma metabolites and meat quality at slaughter. Anim. Prod. Sci. 49: 154-161.

Kerr, B. J., M. Honeyman, P. Lammers, and S. Hoyer. 2007. Feeding bioenergy coproducts to swine. Iowa State University Animal Industry Report 2007.

Kerr, B. J., T. E. Weber, W. A. Dozier III, and M. T. Kidd. 2009. Digestible and metabolizable energy content of crude glycerin originating from different sources in nursery pigs. J. Anim. Sci. 87: 4042-4049.

Kijora, C. and R. D. Kupsch. 1996. Evaluation of technical glycerols from “Biodiesel” production as a feed component in fattening pigs. Fett/Lipid. 98: 240-245.

Kijora, C., H. Bergner, R. D. Kupsch, and L. Hageman. 1995. Glycerol as feed component in diets of fattening pigs. Arch. Anim. Nutr. 47: 345-360.

Lammers, P. J., M. Honeyman, B. Kerr, and T. E. Weber. 2007. Growth and performance of nursery pigs fed crude glycerol. Iowa State University Animal Industry Report 2007.

Lammers, P. J., M. Honeyman, K. Bregendahl, B. J. Kerr, T. E. Weber, W. Dozier, and M. Kidd. 2007. Energy value of crude glycerol fed to pigs. Iowa State University Animal Industry Report 2007.

Lammers, P. J., B. J. Kerr, T. E. Weber, W. A. Dozier III, M. T. Kidd, K. Bregendahl, and M. S. Honeyman. 2008. Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. J. Anim. Sci. 86: 602-608.

Lin, E. C. C. 1977. Glycerol utilization and its regulation in mammals. Annu. Rev. Biochem. 46: 765-795.

Mourot, J., A. Aumaitre, A. Mounier, P. Peiniau, and A. C. Fracois. 1994. Nutritional and physiological effects of dietary glycerol in the growing pig. Consequences on fatty tissues and post mortem muscular parameters. Livest. Prod. Sci. 38: 237–244.

Schieck, S., L. Johnston, B. Kerr, S. Baidoo, and J. Shurson. 2010. Use of crude glycerol, a biodiesel co-product, in diets for lactating sows. Final report to Minnesota Pork Board 2009.

Sharma Y. C., B. Singh, and S. N. Upadhyay. 2008. Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. Fuel.87: 2355–2373.

Sterk, A., P. Schlegel, A. J. Mul, M. Ubbink-Blanksma, and E. M. A. M. Bruininx. 2009. Effect of sweeteners on individual feed intake characteristics and performance in group-housed weanling pigs. J. Anim. Sci. 86: 2990-2997.

Zijlstra, R. T., K. Menjivar, E. Lawrence, and E. Beltranena. 2009. The effect of feeding crude glycerol on growth performance and nutrient digestibility in weaned pigs. Can. J. Anim. Sci. 89: 85-89.