



## ผลของการเสริมไขมันไหลผ่านที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 ในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตและองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันของโคระยะให้นม

ลลิตา กุลธนปริดา<sup>1,\*</sup> และศิริรัตน์ บัวผัน<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

**บทคัดย่อ:** การเสริมไขมันไหลผ่านที่เป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า 3 เป็นแนวทางในการเพิ่มคุณภาพน้ำมันโค และส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมไขมันไหลผ่านที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 ต่อปริมาณและองค์ประกอบของไขมัน กรดไขมันในน้ำมันและสารเมแทบอลิต์ในเลือดของโคนมระยะให้นม โดยใช้โคนมลูกผสมที่มีระดับสายเลือดโฮลสไตน์ฟรีเซียน > 87.5% จำนวน 8 ตัว จำนวนวันให้นมเฉลี่ย  $62.50 \pm 26.11$  วัน วิเคราะห์ข้อมูลแบบเปรียบเทียบ 2 กลุ่มประชากรที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Paired t-test) โดยในระยะที่ 1 หรือระยะก่อนทำการเสริมไขมัน (PRE) โคได้รับอาหารพื้นฐานประกอบด้วยอาหารข้นที่มีโปรตีน 16% ร่วมกับการเสริมกากนมถั่วเหลือง และอาหารหยาบ (เปลือกและซังข้าวโพดหวานหมัก และหญ้าเนเปียร์) ส่วนระยะที่ 2 (POST) โคได้รับอาหารพื้นฐานเช่นเดียวกับระยะที่ 1 ร่วมกับการเสริมไขมันไหลผ่านที่ระดับ 200 กรัม/ตัว/วัน ระยะเวลาในการทดลอง 8 สัปดาห์ โดยมีระยะปรับตัวก่อนเริ่มการทดลอง 14 วัน พบว่าปริมาณการกินได้ ปริมาณน้ำมันและองค์ประกอบไขมันของไขมันที่ได้รับอาหารระยะ PRE และ POST ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) อย่างไรก็ตาม เมื่อเสริมไขมันไหลผ่านพบวาระดับกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้น ( $P<0.01$ ) ในขณะที่ความเข้มข้นของ NEFA และไตรกลีเซอไรด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) นอกจากนี้ การเสริมไขมันไหลผ่าน ทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมไขมันไหลผ่านที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 ให้ผลเชิงบวกต่อสมรรถนะของพลังงาน และองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันของโคนม

**คำสำคัญ:** โคนม ไขมันไหลผ่าน ปริมาณไขมัน กรดไขมันโอเมก้า 3

\*ผู้รับผิดชอบบทความ

สัตวแพทยมหาวิทยาลัย. 2565. 17(2): 225-236.

E-mail address: [sirirat.b@ku.th](mailto:sirirat.b@ku.th)

## Effect of Dietary Supplements of Bypass Fat containing Omega-3 Fatty Acids on Productive Performance and Milk Fatty Acid Profile of Lactating Cows

Lalita Guntanapreeda<sup>1,#</sup> and Sirirat Buaphan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,  
Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

**Abstract:** Bypass fat supplementation which is the source of omega-3 fatty acids in dairy cows is a great way to improve the nutritional value for consumers. The aim of the experiment was to determine the effect of bypass fat containing omega-3 fatty acids supplementation on milk yield, compositions, milk fatty acid profiles and blood metabolites of lactating dairy cows. Eight crossbred cows (>87.5% Holstein Friesian), averaging  $62.50 \pm 26.11$  days in milk were analyzed using the paired t-test. The first period (CON) cows were fed a basal diet based on concentrate containing 16% of crude protein, soybean milk residue and roughage source (sweet corn husk and cob silage and Napier grass). The second period cows were fed the same diets of CON and supplemented with 200 g/h/d of bypass fat (BF). The experiment was conducted for 8 weeks with 14 days for adaptation. Supplementation of bypass fat had no negative effect on dry matter intake and milk yield ( $P>0.05$ ). Milk compositions were not affected by BF ( $P<0.05$ ). However, blood glucose concentration was increased in BF ( $P<0.01$ ), but there were decreased in NEFA and triglyceride concentration ( $P<0.05$ ). In addition, concentration of milk omega-3 fatty acids and unsaturated fatty acids were increased by BF supplementation ( $P>0.05$ ). This study indicates that supplementation of bypass fat containing omega 3 fatty acids can positively impact on energy balance and milk fatty acid profiles of lactating cows.

**Keywords:** Dairy cow, Bypass fat, Milk yield, Omega 3 fatty

#Corresponding author

J. Mahanakorn Vet. Med. 2022 17(2): 225-236.

E-mail address: [sirirat.b@ku.th](mailto:sirirat.b@ku.th)

### บทนำ

การเสริมไขมันในอาหารโคนมระยะแรกของการให้นมเป็นทางเลือกที่กำลังได้รับความสนใจ เนื่องจากไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับแม่โค เมื่อถูกย่อยและถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กจะให้พลังงาน 2.25 เท่าของ

คาร์โบไฮเดรต ลดปัญหาการขาดพลังงานในแม่โคหลังคลอด ทำให้คะแนนร่างกายโคไม่ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงของการให้น้ำนมระยะต้น ส่งผลให้โคมีความสมบูรณ์พันธุ์ มีการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์เร็วขึ้น ทำให้แม่โคเป็นสัดและผสมติดในช่วงเวลาที่เหมาะสม

(Grummer and Carroll, 1991) แหล่งของไขมันโดยทั่วไปที่มักนำมาเสริมในอาหารโคนม ได้แก่ เมล็ดพืช น้ำมัน เช่น เมล็ดฝ้าย ถั่วเหลืองอบไขมันเต็ม ไขมันจากสัตว์ น้ำมันปาล์ม และไขมันในรูปแบบต่าง ๆ ที่ถูกพัฒนาให้ลดการเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนในกระเพาะหมัก (biohydrogenation) ปัจจุบัน การเสริมแหล่งไขมันในอาหารยังมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค เช่น กรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 ที่ช่วยป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ ป้องกันการเกิดมะเร็ง ป้องกันโรคอัลไซเมอร์ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มพัฒนาการของทารกได้อีกด้วย จากรายงานของ Baker et al. (2016) ระบุว่าแฟล็กซีตมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ชนิด alpha-linolenic acid (ALA) อยู่มากกว่า 50% ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด เมื่อเสริมเอ็กซ์ทราุดแฟล็กซีตซึ่งมี ALA ในปริมาณ 402.5 กรัม/วัน ในอาหารโคนมระยะเปลี่ยนผ่าน พบว่าสัดส่วนของ ALA ในน้ำนมเพิ่มขึ้น 5.1 เท่า (Zachut et al., 2010) สอดคล้องกับ Petit et al. (2004) ที่ทำการเสริมแฟล็กซีตเต็มเมล็ดที่ระดับ 9.7% พบว่า ALA ในไขมันนมเพิ่มขึ้น 1.8 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม การเสริมไขมันจากแหล่งที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 จึงเป็นแนวทางในการเพิ่มคุณค่าของน้ำนมโคนในด้านที่ส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม การเสริมแหล่งไขมันจำนวนมากอาจส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเยื่อใย ทำให้การย่อยเยื่อใยของอาหารหยابลดลง และจะส่งผลเสียต่อการให้ผลผลิตของโคนม (Palmquist and Jenkins, 2017) ปัจจุบันจึงมีนวัตกรรมการผลิตไขมันไหลผ่าน ซึ่งเป็นไขมันในรูปแบบที่ป้องกันไม่ให้ออกหมักย่อยในกระเพาะหมัก แต่ไหลผ่านไปย่อยที่ลำไส้เล็ก เพื่อให้สัตว์ดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง (Naik, 2013) โดยในการศึกษาของ Moallem et al. (2020) ทำการเสริมเอ็กซ์ทราุดแฟล็กซีตที่ระดับ 50 กรัม/กิโลกรัมของอาหาร ในโคนมหลังคลอด ซึ่งการผ่านความร้อนสูงจากการเอ็กซ์ทราุดช่วยปกป้องกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเมล็ดพืชจากปฏิกิริยา biohydrogenation ใน

กระเพาะหมัก จึงจัดเป็นไขมันไหลผ่าน พบว่าทำให้สัดส่วนของกรดไขมันโอเมก้า 3 ในน้ำนมเพิ่มขึ้น 3.9 เท่า การเสริมไขมันในรูปแบบไขมันไหลผ่านจึงเป็นอีกแนวทางที่สามารถช่วยเพิ่มพลังงานในอาหารโดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริมไขมันไหลผ่านที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 ในโคระยะให้นม ต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม และสารเมแทบอลิไทต์ในเลือดของโคนม

## อุปกรณ์และวิธีการ

### สัตว์ทดลองและอาหารทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้ใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียนที่มีระดับสายเลือดมากกว่า 87.5% จำนวน 8 ตัว น้ำหนักเริ่มต้นทดลองเฉลี่ย  $437.49 \pm 24.28$  กิโลกรัม และจำนวนวันให้น้ำนมเฉลี่ย  $62.50 \pm 26.11$  วัน การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ในระยะที่ 1 (control, CON) เป็นช่วงก่อนการเสริมไขมันไหลผ่าน และระยะที่ 2 จะทำการเสริมไขมันไหลผ่าน (bypass fat, BF) โดยโคจะได้รับเสริมไขมันไหลผ่านที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่ระดับ 200 กรัม/ตัว/วัน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า ผลิตจากน้ำมันแฟล็กซีต (flaxseed oil) ที่เคลือบด้วย hydrogenated palm stearin distillates ลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน มีไขมัน 81.7% ประกอบไปด้วยกรดปาล์มติก (C16:0) 39% กรดสเตียริก (C18:0) 35% กรดลิโนเลนิก (C18:3) 10% กรดโอเลอิก (C18:1) 5% กรดลิโนเลอิก (C18:2) 3.3% กรดไมริสติก (C14:0) 1% และกรดลอริก (C12:0) 0.5% มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) 6,335 kcal/kg โคทั้งสองระยะได้รับอาหารพื้นฐานเหมือนกัน ได้แก่ อาหารข้นที่มีโปรตีน 16% และโภชนาที่ย่อยได้รวม (total digestible nutrient, TDN) 70% ร่วมกับกากนมถั่วเหลือง และอาหารหยاب (เปลือกและซังข้าวโพดหวานหมัก และหญ้าเนเปียร์ที่มีอายุการตัด

50 วัน) โดยสัดส่วนของเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมัก และหญ้าเนเปียร์เท่ากับ 75:25 ตามลำดับ สัดส่วนอาหาร หยาดต่ออาหารข้น (roughage: concentrate ratio, R:C ratio) ที่โคได้รับมีสัดส่วนเท่ากับ 45:55

#### การเลี้ยงโคทดลองและการจัดการ

โคถูกเลี้ยงในโรงเรือนแบบเปิด คอกพักโคนขนาด 5 x 10 ตารางเมตร มีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา ให้อาหาร วันละ 2 ครั้ง เวลา 5.30 และ 15.30 น. โคได้รับอาหาร ข้นวันละ 6 กิโลกรัม เสริมด้วยกากนมถั่วเหลือง 6 กิโลกรัม/วัน (ในรูปสด) ได้รับหญ้าเนเปียร์สด 7.5 กิโลกรัม/วัน และเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมัก 22 กิโลกรัม/วัน ทำการรีดนมโคทดลองวันละ 2 ครั้ง เวลา 06.30 และ 16.30 น. ด้วยเครื่องรีดนมแบบ bucket type โคทุกตัวได้รับการทำวัคซีนปากเท้าเปื่อย (Foot and mouth disease, FMD) แบบไทป์รวม (type A, O และ Asia I) และทำการถ่ายพยาธิ ระยะเวลาปรับตัวโค ก่อนเริ่มการทดลอง 14 วัน และระยะเวลาในการทำการ ทดลองอีก 8 สัปดาห์ โดยแบ่งเป็นระยะที่ 1 (สัปดาห์ที่ 1-4) ซึ่งไม่ได้ทำการเสริมไขมัน และระยะที่ 2 (สัปดาห์ที่ 5-8) ซึ่งจะทำการเสริมไขมัน

#### การบันทึกข้อมูล การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ทางเคมี

บันทึกปริมาณการกินได้ของอาหารในแต่ละวัน โดยทำการชั่งน้ำหนักอาหารข้นและอาหารหยาดที่เหลือ ของแต่ละวันในเช้าวันถัดไป เพื่อหาปริมาณการกินได้ต่อ วัน ทำการชั่งน้ำหนักโคก่อนการทดลองและสิ้นสุดการ ทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวระหว่าง การทดลอง และทำการบันทึกปริมาณน้ำนมทุกวันตลอด การทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารข้นและอาหารหยาด เพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis) ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเถ้า (AOAC, 2019) ปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) และปริมาณ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (acid

detergent fiber, ADF) ตามวิธีของ Van Soest et al. (1991) วิเคราะห์หาปริมาณพลังงานรวมด้วยเครื่อง Bomb calorimeter รุ่น Parr 1261 (Melville et al., 2014) เก็บตัวอย่างน้ำนมสัปดาห์ละ 1 ครั้งตลอด ระยะเวลาในการทดลอง (สัปดาห์ที่ 1-8) ในมื่อเช้าและ บ่ายของการรีดนม มื่อละ 60 มิลลิลิตร รวมกันเป็น 120 มิลลิลิตร และเติมสาร Bronopol (2-Bromo-2-nitro-1,3-propanediol) 0.02% ป้องกันการเน่าเสียของ น้ำนม เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนมโดยใช้ เครื่อง MilkoScan™ FT+ และเก็บน้ำนมปริมาณ 300 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน ในน้ำนมด้วยวิธี gas chromatography โดยทำการสกัด ไขมันตามวิธีของ Hara and Radin (1978) และเตรียม Fatty acid methyl esters (FAME) ตามวิธีของ Ostrowska et al. (2000) ทำการเก็บตัวอย่างเลือดโค แต่ละตัวในสัปดาห์ที่ 1 (ระยะที่ 1) และสัปดาห์ที่ 8 (ระยะที่ 2) ของการทดลอง โดยการเก็บตัวอย่างเลือดที่ เส้นเลือดโคนหาง (coccygeal vein) ก่อนให้อาหารมื่อ เช้า ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดเก็บเลือดที่ไม่มีสาร ป้องกันการแข็งตัวของเลือด ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีเพื่อให้เกิด การแยกตัวของซีรัมและนำตัวอย่างเลือดมาปั่นแยก พลาสมาภายใน 12 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์สารเมแทบอลิไตในเลือด ได้แก่ Blood urea nitrogen (BUN) ด้วย IL Test™ Urea kit (Instrumentation Laboratory Company – Lexington) วิเคราะห์ Blood glucose (BG) ด้วย Erba Glucose Reagent (Collateral Medical Pvt Ltd, Inc., India) วิเคราะห์ Non-esterified fatty acid (NEFA) ตามวิธี enzymatic colorimetric method โดยใช้ Randox NEFA assay และวิเคราะห์ Beta-Hydroxybutyric acid (BHBA) ตาม วิธี Randox D-3 Hydroxybutyrate (Ranbut) assay (Randox Laboratories Ltd., UK) หลังจากเกิดปฏิกิริยา enzymatic colorimetric reaction จะอ่านผลด้วย เครื่อง eppendorf Biospectrometer® (Eppendorf

Co., Ltd., Germany) และวิเคราะห์ cholesterol, triglyceride, LDL และ HDL โดยวิธี enzymatic colorimetric method

#### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทั้งหมดมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มการทดลองด้วยวิธี Paired t-test โดยนำลำดับท้องจำนวนวันที่ให้น้ำนม และปริมาณน้ำนมเริ่มต้นมาวิเคราะห์ร่วม (covariate adjustment) พิจารณาความมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $P < 0.05$  ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Free Statistic Software, SAS® on Demand for Academics Dashboard (SAS, 2014)

#### ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

##### องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองแสดงในตารางที่ 1 ในการศึกษาพบว่าระดับโปรตีนของอาหารชั้นเท่ากับ 16.29% ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอกับความต้องการสำหรับโคให้นมระยะต้นที่มีน้ำหนักตัว 454 กิโลกรัม (small breed cows) และมีผลผลิตน้ำนม 15

กิโลกรัม/วัน (NRC, 2001) ระดับโปรตีนในกากนมถั่วเหลืองเท่ากับ 35.97% สูงกว่าระดับของกากนมถั่วเหลืองในการศึกษาเรื่องคุณค่าทางโภชนาของกากนมถั่วเหลืองเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ (นวิญญา และดรณี, 2562) ซึ่งอยู่ที่ 29.63% ซึ่งระดับโปรตีนที่แตกต่างกันอาจเกิดขึ้นได้จากคุณภาพของถั่วเหลืองมีระดับโปรตีนที่แตกต่างกัน ส่วนของอาหารหยาบในการศึกษานี้ประกอบด้วยเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมัก และหญ้าเนเปียร์ในสัดส่วน 75:25 มีระดับโปรตีนในอาหารหยาบรวมเท่ากับ 5.90% และเยื่อใยในรูปผนังเซลล์เท่ากับ 43.89% ส่วนหญ้าเนเปียร์มีระดับโปรตีนและไขมันที่ 10.14% และ 2.08% ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับที่ใกล้เคียงกับคุณค่าทางโภชนาในหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่มีอายุการตัดประมาณ 45-50 วัน (เฉลา และคณะ, 2553)

##### การกินได้และน้ำหนักตัวของโค

การเสริมไขมันไหลผ่านที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 (BF) ที่ระดับ 200 กรัม/ตัว/วัน พบว่าปริมาณการกินได้ในรูปวัตถุแห้ง และน้ำหนักตัวก่อนและหลังการเสริมไขมัน (ตารางที่ 2) มีค่าใกล้เคียงกัน ( $P > 0.05$ ) โดยทั่วไปการเสริมอาหารประเภทไขมันมักจะทำให้ค่าการกินได้ใน

**Table 1** Chemical composition of the experimental diets.

|                                                       | Concentrate |                 | Roughage                       |              |
|-------------------------------------------------------|-------------|-----------------|--------------------------------|--------------|
|                                                       | concentrate | soymilk residue | sweet corn husk and cob silage | Napier grass |
| Dry matter, %                                         | 92.11       | 23.43           | 18.27                          | 18.21        |
| Crude protein, % DM basis                             | 16.29       | 35.97           | 4.48                           | 10.14        |
| Ether extract, % DM basis                             | 3.68        | 22.37           | 1.62                           | 2.08         |
| Acid detergent fiber (ADF), % DM basis                | 20.63       | 6.37            | 28.45                          | 36.75        |
| Neutral detergent fiber (NDF), % DM basis             | 25.75       | 13.69           | 39.05                          | 58.38        |
| Non-fiber carbohydrate <sup>1</sup> (NFC), % DM basis | 46.19       | 24.14           | 47.55                          | 18.83        |
| Ash, % DM basis                                       | 8.09        | 3.83            | 7.30                           | 9.57         |
| Gross energy, kcal/kg                                 | 4347.50     | 5998.78         | 4294.79                        | 4257.62      |

<sup>1</sup>NFC = 100 – NDF – CP – ether extract – ash (Mertens, 1988)

รูปแห้งรวมลดลงประมาณ 0.875 กก./วัน (Rabiee et al., 2012) โดยเฉพาะการเสริมไขมันไม่อิ่มตัวในรูปที่ไม่ถูกปกป้องจากการหมักย่อยในกระเพาะหมัก ซึ่งได้แก่ กรดไขมันโอเมก้า 3 หรือกรดไขมันโอเมก้า 6 (Resende et al., 2015) กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะไปยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ลดการย่อยได้ของเยื่อใย NDF ส่งผลให้การกินได้ในรูปวัตถุแห้งของโคลดลง แต่ในการศึกษานี้พบว่า การเสริมไขมันไม่อิ่มตัวไม่ส่งผลต่อการกินได้ในรูปวัตถุแห้ง อาจเนื่องมาจากไขมันที่เสริมเป็นไขมันซึ่งผลิตจากน้ำมันพาสตีที่ผ่านกระบวนการปกป้องจากการหมักย่อยของจุลินทรีย์โดยวิธีการห่อหุ้มด้วยกรดไขมันอิ่มตัวจากไขปาล์ม จึงไม่ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์และการหมักย่อยของเยื่อใยในกระเพาะหมัก สอดคล้องกับการศึกษาของ Cortes et al. (2010) ในโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ที่อยู่ในระยะแรกของการให้นม ได้รับการเสริมไขมันในรูปเกลือแคลเซียม (calcium salt) ของน้ำมันพาสตี 1.9% หรือพาสตีทั้งเมล็ด 2.3% ร่วมกับแคลเซียมซอลต์ของน้ำมันพาสตี 0.8% พบว่าโคนมมีปริมาณการกินได้ในรูปวัตถุแห้ง น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (body weight change) ไม่

แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) เช่นเดียวกับการศึกษาของ González et al. (2020) ซึ่งทดลองในโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ที่อยู่ในระยะแรกของการให้นม ได้รับการเสริมไขมันในรูปเกลือแคลเซียมของน้ำมันลินซีดที่ระดับ 700 กรัม/ตัว/วัน พบว่าปริมาณการกินได้ในรูปวัตถุแห้งรวมไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ( $P > 0.05$ )

#### ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม

การให้ผลผลิตของโคนม (ตารางที่ 3) พบว่าปริมาณน้ำนม ปริมาณน้ำนมที่ปรับพลังงาน (ECM) ปริมาณน้ำนมที่ปรับไขมันนม (3.5% FCM และ 4% FCM) ของทั้ง 2 ระยะการทดลองมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ( $P>0.05$ ) แสดงว่าการเสริมไขมันไม่อิ่มตัวไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำนม อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำนมมากที่สุดคือการกินได้ในรูปวัตถุแห้ง (Bargo et al., 2003) ซึ่งในการศึกษานี้พบว่า การกินได้ในรูปวัตถุแห้งก่อนและหลังการเสริมไขมันมีปริมาณใกล้เคียงกัน โคจึงให้ผลผลิตน้ำนมไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ องค์ประกอบของน้ำนมในระยะก่อนและหลังการเสริมไขมันมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) ผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ González et al. (2020) ที่ทำการเสริมไขมันในรูปเกลือแคลเซียม (calcium salt)

**Table 2** Effect of dietary supplements of bypass fat containing omega-3 fatty acids on dry matter intake and body weight of lactating cows.

| Item                          | CON    | BF <sup>1</sup> | SEM   | P-value |
|-------------------------------|--------|-----------------|-------|---------|
| Total DMI <sup>2</sup> , kg/d | 11.30  | 11.31           | 0.519 | 0.544   |
| Concentrate                   | 6.28   | 6.49            | 0.516 | 0.793   |
| Soy milk residue              | 1.29   | 1.30            | 0.098 | 0.979   |
| Roughage                      | 4.91   | 4.95            | 0.045 | 0.255   |
| DMI, % body weight            | 2.58   | 2.66            | 0.123 | 0.904   |
| Body Weight, kg               |        |                 |       |         |
| Initial                       | 437.49 | 430.50          | 8.295 | 0.561   |
| Final                         | 430.50 | 424.50          | 7.991 | 0.635   |
| Change                        | 7.49   | 6.00            | 0.680 | 0.144   |

<sup>1</sup>BF, bypass fat containing omega-3 fatty acids. <sup>2</sup>DMI, dry matter intake.

ของน้ำมันแฟล็กซีดที่ระดับ 700 กรัม/วัน ในโคพันธุ์โฮลสไตน์ให้ผลระยะต้น เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม ตรงข้ามกับการศึกษาของ Mustafa et al. (2003) ซึ่งทำการเสริม micronized flaxseed 7% ในโคพันธุ์โฮลสไตน์ที่ให้ผลระยะต้น พบว่าปริมาณไขมันนมลดลง ( $P < 0.05$ ) ผลที่แตกต่างกันของปริมาณไขมันนมมีความสัมพันธ์กับระดับการปกป้องของไขมันจากปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนในกระเพาะหมัก (biohydrogenation) และเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระดับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันนม นั่นคือ micronized flaxseed ไม่สามารถปกป้องไขมันจากปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนได้ดี อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาพบว่าปริมาณไขมันนมไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าไขมันไหลผ่านในการศึกษานี้สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนในกระเพาะหมักได้ หรืออาจเนื่องจากระดับที่เสริมเป็นระดับที่ต่ำ โดยในการศึกษานี้เสริมไขมันไหลผ่านที่ระดับ

200 กรัม/ตัว/วัน คิดเป็น 1.7% ในรูปวัตถุแห้ง จึงอาจไม่ส่งผลต่อปริมาณไขมันนม โดยการเสริมไขมันไหลผ่านที่ระดับ 3-5% จะส่งผลต่อผลผลิตน้ำนมหรือองค์ประกอบของน้ำนมได้ดีที่สุด และไขมันรวมในอาหารไม่ควรเกิน 6-7% (Palmquist and Jenkins, 1980)

#### องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม

ความเข้มข้นของกรดไขมันในน้ำนมของโคนมทั้ง 2 ระยะ (ตารางที่ 4) ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid; SFA) กรดไขมันไม่อิ่มตัวรวม (unsaturated fatty acid; UFA) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated fatty acid; MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid; PUFA) มีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Kim et al. (2020) ซึ่งทำในโคพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียนที่ให้ผลระยะต้น โดยทำการเสริมน้ำมันแฟล็กซีดที่ถูกเคลือบ (rumen-protected microencapsulated flaxseed oil) ที่ระดับ 2% พบว่า

**Table 3** Effect of dietary supplements of bypass fat containing omega-3 fatty acids on milk production and composition of lactating cows.

| Item                         | CON   | BF <sup>1</sup> | SEM   | P-value |
|------------------------------|-------|-----------------|-------|---------|
| Milk yield, kg/d             | 15.20 | 14.26           | 0.567 | 0.294   |
| 3.5% FCM <sup>2</sup> , kg/d | 14.01 | 14.22           | 0.838 | 0.866   |
| 4% FCM <sup>3</sup> , kg/d   | 13.09 | 13.16           | 0.729 | 0.954   |
| ECM <sup>4</sup> , kg        | 14.19 | 14.04           | 0.708 | 0.898   |
| Milk composition, %          |       |                 |       |         |
| Fat                          | 3.02  | 3.58            | 0.224 | 0.122   |
| Protein                      | 2.90  | 2.88            | 0.056 | 0.881   |
| Lactose                      | 4.92  | 4.94            | 0.074 | 0.894   |
| Solid not fat                | 8.58  | 8.65            | 0.035 | 0.245   |
| Total solid                  | 11.54 | 12.10           | 0.215 | 0.109   |

<sup>1</sup>BF, bypass fat containing omega-3 fatty acids. <sup>2</sup>3.5% fat-corrected milk (3.5% FCM) =  $[0.35 \times \text{milk yield (kg/d)}] + [18.57 \times \text{milk fat yield (kg/d)}]$  (Parekh, 1986). <sup>3</sup>4% fat-corrected milk (4% FCM) =  $[0.40 \times \text{milk yield (kg/d)}] + [15 \times \text{milk fat yield (kg/d)}]$  (17) <sup>4</sup>ECM, energy corrected milk;  $[0.327 \times \text{milk yield (kg/d)}] + [12.95 \times \text{fat yield (kg/d)}] + [7.2 \times \text{protein yield (kg/d)}]$ .

**Table 4** Effect of dietary supplements of bypass fat containing omega-3 fatty acids on milk fatty acid profile (g/100 of fatty acids) of lactating cows.

| Item                            | CON   | BF <sup>1</sup> | SEM   | P-value |
|---------------------------------|-------|-----------------|-------|---------|
| Caprylic acid (C8:0)            | 1.51  | 1.24            | 0.310 | 0.569   |
| Capric acid (C10:0)             | 1.86  | 1.99            | 0.175 | 0.626   |
| Lauric acid (C12:0)             | 3.26  | 4.00            | 0.286 | 0.132   |
| Myristic acid (C14:0)           | 13.27 | 13.82           | 0.419 | 0.403   |
| Myristoleic acid (C14:1)        | 0.45  | 0.46            | 0.142 | 0.999   |
| Pentadecanoic acid (C15:0)      | 0.94  | 1.28            | 0.269 | 0.422   |
| Palmitic acid (C16:0)           | 47.52 | 44.96           | 1.391 | 0.257   |
| Palmitoleic acid (C16:1)        | 1.28  | 1.76            | 0.321 | 0.345   |
| Stearic acid (C18:0)            | 10.92 | 10.53           | 1.397 | 0.855   |
| trans-9-Elaidic acid (C18:1n9t) | 1.10  | 1.51            | 0.404 | 0.518   |
| cis-9-Oleic acid (C18:1n9c)     | 14.84 | 15.57           | 0.653 | 0.474   |
| Linoleic acid (C18:2n6c)        | 1.70  | 1.34            | 0.351 | 0.503   |
| alpha-Linolenic acid (C18:3n3)  | 0.03  | 0.53            | 0.317 | 0.299   |
| Arachidic acid (C20:0)          | 0.03  | 0.24            | 0.200 | 0.506   |
| Σn3, n6, n9                     | 17.72 | 18.90           | 0.507 | 0.167   |
| SFA <sup>2</sup>                | 79.31 | 78.06           | 1.151 | 0.484   |
| UFA <sup>3</sup>                | 19.45 | 21.12           | 0.804 | 0.210   |
| MUFA <sup>4</sup>               | 17.67 | 19.29           | 0.623 | 0.132   |
| PUFA <sup>5</sup>               | 1.77  | 1.82            | 0.429 | 0.939   |

<sup>1</sup>BF, bypass fat containing omega-3 fatty acids. <sup>2</sup>SFA, Saturated fatty acid. <sup>3</sup>UFA, Unsaturated fatty acid.

<sup>4</sup>MUFA, Monounsaturated fatty acid. <sup>5</sup>PUFA, Polyunsaturated fatty acid.

ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 รวมเพิ่มขึ้น (9.51 และ 17.77 มิลลิกรัม/100 กรัมของไขมัน ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมไขมันแฟล็กซีด ตามลำดับ) สัดส่วนของกรดไขมัน SFA ยังลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) บ่งชี้ว่าการเสริมไขมันแฟล็กซีดที่ถูกเคลือบแบบ microencapsulated ที่ระดับ 2% สามารถเพิ่มกรดไขมันโอเมก้า 3 ในน้ำมันได้โดยไม่ส่งผลเสียต่อผลผลิตน้ำมันของโคนม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Côrtes et al. (2010) ซึ่งทำการศึกษาในโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียนที่ให้นมระยะต้น โดยทำการเสริมไขมันในรูปแบบเกลือแคลเซียม (calcium salt) ของไขมันแฟล็กซีดที่ระดับ

1.9% พบว่ากรดไขมันโอเมก้า 3 ชนิด ALA มีปริมาณเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่เสริม calcium salt ของไขมันแฟล็กซีดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (1.03 เทียบกับ 0.59% ตามลำดับ) สัดส่วนของกรดไขมัน SFA มีปริมาณลดลงและกรดไขมัน MUFA มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ การเสริมไขมันไหลผ่านที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่ระดับ 200 กรัม/ตัว/วัน คิดเป็นการเสริมไขมันไหลผ่านที่ระดับ 1.7% ของอาหารในรูปแห้ง พบว่ากรดไขมันชนิด C18:3n-3 เพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) เช่นเดียวกับความเข้มข้นของกรดไขมัน UFA, MUFA



และ PUFA ที่พบเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมไขมันไหลผ่าน (P>0.05) อย่างไรก็ตามความแตกต่างของค่าเฉลี่ยไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

#### สารเมแทบอลิต์ในกระแสเลือด

ในส่วนของสารเมแทบอลิต์ในกระแสเลือด (ตารางที่ 5) พบว่า ค่า BUN และ BHBA ในระยะที่ 1 และระยะที่ 2 (เสริมไขมัน) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ระดับกลูโคสในกระแสเลือดของโคนมเมื่อเสริมไขมันมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 65.55 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ส่วนความเข้มข้นของ NEFA พบว่ามีค่าลดลงเมื่อเสริมไขมัน P<0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ โดยปกติโคนมในช่วงเริ่มต้นของการให้ผลผลิตน้ำนมจะประสบปัญหาเกี่ยวกับการได้รับพลังงานจากอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย แม้ว่าจะมีการให้อาหารอย่างเต็มที่ เนื่องจากในช่วงให้นมระยะต้นจะมีการนำกลูโคสไปใช้ในการสร้างน้ำนม ในขณะที่เดียวกันโคก็มีอาการกินได้ทีลดลง จึงมีผลทำให้โคนมมีน้ำหนักตัวลดลงและมีสมดุลพลังงานเป็นลบ (negative

energy balance) (บุญล้อม, 2541) โดยปัจจัยที่บ่งชี้ภาวะสมดุลเชิงลบ ได้แก่ ระดับกลูโคสในกระแสเลือดที่ลดลง รวมถึงระดับ NEFA และ BHBA ที่เพิ่มขึ้น (Churakov et al., 2021) ในการศึกษาพบว่า ระดับกลูโคสเพิ่มขึ้น ส่วนระดับ NEFA ในกระแสเลือดลดลงเมื่อเสริมไขมัน บ่งชี้ว่าการเสริมไขมันสามารถช่วยบรรเทาภาวะสมดุลพลังงานเชิงลบในโคระยะให้นมได้ ระดับกลูโคสในกระแสเลือดที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมไขมันสอดคล้องกับรายงานของ Abulaiti et al. (2022) ที่ศึกษาในโคนมพันธุ์โฮลสไตน์โดยเสริมแฟล็กซีดที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดที่ระดับ 4.5% ในรูปวัตถุแห้ง ตั้งแต่ช่วงแรกคลอดจนถึง 40 วันหลังคลอด พบว่าระดับกลูโคสในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น (51 และ 57 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมแฟล็กซีดเอ็กซ์ทรูด ตามลำดับ) ในขณะที่ระดับของ BHBA, NEFA และ BUN ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ การศึกษาในครั้งนี้พบว่า ไขมันในกระแสเลือด ได้แก่ VLDL, LDL, HDL และ คอเลสเตอรอลในระยะที่ 1 และระยะที่ 2 หลังการเสริม

**Table 5** Effect of dietary supplements of bypass fat containing omega-3 fatty acids on blood metabolites of lactating cows.

| Item                       | CON    | BF <sup>1</sup> | SEM   | P-value |
|----------------------------|--------|-----------------|-------|---------|
| Glucose, mg/dL             | 52.08  | 65.55           | 2.446 | 0.002   |
| BUN <sup>2</sup> , mg/dL   | 6.027  | 4.381           | 0.566 | 0.093   |
| BHBA <sup>3</sup> , mmol/L | 0.543  | 0.714           | 0.093 | 0.222   |
| NEFA <sup>4</sup> , mmol/L | 0.482  | 0.249           | 0.056 | 0.013   |
| VLDL <sup>5</sup> , mg/dL  | 3.49   | 3.00            | 0.228 | 0.194   |
| LDL <sup>6</sup> , mg/dL   | 10.84  | 9.16            | 1.041 | 0.314   |
| HDL <sup>7</sup> , mg/dL   | 97.01  | 89.99           | 3.669 | 0.242   |
| Cholesterol, mg/dL         | 168.78 | 164.72          | 9.248 | 0.773   |
| Triglyceride, mg/dL        | 18.35  | 14.15           | 0.812 | 0.016   |

<sup>1</sup> BF, bypass fat containing omega-3 fatty acids. <sup>2</sup> BUN, blood urea nitrogen. <sup>3</sup> BHBA, beta-hydroxybutyric acid. <sup>4</sup> NEFA, non-esterified fatty acid. <sup>5</sup> VLDL, very low-density lipoprotein. <sup>6</sup> LDL, low-density lipoprotein. <sup>7</sup> HDL, high-density lipoprotein.

ไขมันมีค่าใกล้เคียงกัน ( $P>0.05$ ) ยกเว้นระดับไตรกลีเซอไรด์ที่พบว่าเมื่อเสริมไขมันมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ; ตารางที่ 5) ซึ่งระดับไตรกลีเซอไรด์ที่ลดลงเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่า NEFA ที่ลดลงหลังจากการเสริมไขมัน อาจเนื่องจากการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับของ NEFA ในกระแสเลือด (Grummer, 1993) ซึ่งในการศึกษานี้พบว่าค่า NEFA ลดลงเมื่อเสริมไขมัน โดย NEFA สามารถถูก re-esterified เพื่อสร้างเป็นไตรกลีเซอไรด์ และนำไปเก็บใน lipid droplet หรือส่งเข้าสู่กระแสเลือดโดยเป็นส่วนประกอบอยู่ภายใน VLDL (Kawano and Cohen, 2013)

### สรุป

การเสริมไขมันไหลผ่านที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่ระดับ 200 กรัม/ตัว/วัน ในอาหารโคระยะให้นม ไม่ส่งผลต่อการกินได้ในรูปแห้ง การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว และปริมาณน้ำนมของโค ส่วนกรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ระดับกลูโคสในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น ส่วนระดับ NEFA และไตรกลีเซอไรด์ลดลง บ่งชี้ถึงการบรรเทาภาวะสมดุลพลังงานเชิงลบซึ่งมักเกิดในโคระยะให้นมหลังคลอด นอกจากนี้ การเสริมไขมันไหลผ่านในการศึกษานี้ ช่วยเพิ่มกรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำนมของโคได้ จึงเป็นอีกทางเลือกที่ช่วยเพิ่มกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค

### เอกสารอ้างอิง

เฉลา พัทธสินสุข จริยา บุญจรชชะ และจิรพัฒน์ วงศ์พัฒน์. 2553. การรวบรวมและจัดทำข้อมูลด้านคุณค่าทางโภชนาการของพืชอาหารสัตว์. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2553. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 77 หน้า

นวิญญา พิมพ์พา และดร.ณิ ศรีชนะ. 2020. คุณค่าทางโภชนาการของกากนมถั่วเหลืองหมักโดย *Aspergillus niger* เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์. Thai Journal of Science and Technology 9(3): 290-297. doi: 10.14456/tjst.2020.19

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์. หน้า 116-143. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Abulaiti, A., Z. Naseer, Z. Ahmed, G. Hua, and L. Yang. 2022. Dietary provision of N-carbamoylglutamate to Holstein cows: A strategy to enhance the productive and reproductive efficiency during summer. Livestock Science: 104905.

Baker, E. J., E. A. Miles, G. C. Burdge, P. Yaqoob, and P. C. Calder. 2016. Metabolism and functional effects of plant-derived omega-3 fatty acids in humans. Progress in lipid research 64: 30-56.

Bargo, F., L. Muller, E. Kolver, and J. Delahoy. 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. Journal of dairy science 86(1): 1-42.

Churakov, M., J. Karlsson, A. Edvardsson Rasmussen, and K. Holtenius. 2021. Milk fatty acids as indicators of negative energy balance of dairy cows in early lactation. Animal 15(7): 100253. doi: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100253>

Côrtés, C., D. da Silva-Kazama, R. Kazama, N. Gagnon, C. Benchaar, G. Santos, L. Zeoula, and H. Petit. 2010. Milk composition, milk

- fatty acid profile, digestion, and ruminal fermentation in dairy cows fed whole flaxseed and calcium salts of flaxseed oil. *Journal of Dairy Science* 93(7): 3146-3157.
- González, Y. M., J. Iorio, M. F. Olmeda, D. Curletto, D. Scandolo, M. G. Maciel, A. Cuatrin, R. A. Palladino, C. Pérez, and E. E. Salado. 2020. Feeding Calcium Salts of Linseed Oil on Productive Performance and Milk Fatty Acid Profile in Grazing Dairy Cows. *Open Journal of Animal Sciences* 10(4): 761-781.
- Grummer, R., and D. Carroll. 1991. Effects of dietary fat on metabolic disorders and reproductive performance of dairy cattle. *Journal of Animal Science* 69(9): 3838-3852.
- Grummer, R. R. 1993. Etiology of lipid-related metabolic disorders in periparturient dairy cows. *Journal of dairy science* 76(12): 3882-3896.
- Hara, A., and N. S. Radin. 1978. Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. *Analytical biochemistry* 90(1): 420-426.
- Kawano, Y., and D. E. Cohen. 2013. Mechanisms of hepatic triglyceride accumulation in non-alcoholic fatty liver disease. *Journal of gastroenterology* 48(4): 434-441.
- Kim, T.-B., J.-S. Lee, S.-Y. Cho, and H.-G. Lee. 2020. In vitro and in vivo studies of rumen-protected microencapsulated supplement comprising linseed oil, vitamin E, Rosemary extract, and hydrogenated palm oil on rumen fermentation, physiological profile, milk yield, and milk composition in dairy cows. *Animals* 10(9): 1631.
- Melville, J., D. Gygi, E. Zhou, and M. Jager. 2014. Bomb calorimetry and heat of combustion. UC Berkeley College of Chemistry
- Mertens, D. 1988. Balancing carbohydrates in dairy rations. In: *Large Herd Dairy Management Conference*. p 150-161.
- Moallem, U., H. Lehrer, L. Livshits, and M. Zachut. 2020. The effects of omega-3  $\alpha$ -linolenic acid from flaxseed oil supplemented to high-yielding dairy cows on production, health, and fertility. *Livestock Science* 242:104302.
- Mustafa, A., P. Chouinard, and D. Christensen. 2003. Effects of feeding micronised flaxseed on yield and composition of milk from Holstein cows. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83(9): 920-926.
- Naik, P. K. 2013. Bypass fat in dairy ration-a review. *Animal nutrition and feed technology* 13(1): 147-163.
- National Research Council. 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle: 2001*. National Academies Press.
- Ostrowska, E., F. R. Dunshea, M. Muralitharan, and R. F. Cross. 2000. Comparison of silver-ion high-performance liquid chromatographic quantification of free and methylated conjugated linoleic acids. *Lipids* 35(10): 1147-1153.

- Palmquist, D., and T. Jenkins. 1980. Fat in lactation rations. *Journal of dairy science* 63(1): 1-14.
- Palmquist, D., and T. Jenkins. 2017. A 100-Year Review: Fat feeding of dairy cows. *Journal of dairy science* 100(12): 10061-10077.
- Petit, H., C. Gerniquet, and D. Lebel. 2004. Effect of feeding whole, unprocessed sunflower seeds and flaxseed on milk production, milk composition, and prostaglandin secretion in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87(11): 3889-3898.
- Rabiee, A., K. Breinhild, W. Scott, H. Golder, E. Block, and I. Lean. 2012. Effect of fat additions to diets of dairy cattle on milk production and components: A meta-analysis and meta-regression. *Journal of dairy science* 95(6): 3225-3247.
- Resende, T., J. Kraft, K. Soder, A. Pereira, D. Woitschach, R. Reis, and A. F. Brito. 2015. Incremental amounts of ground flaxseed decrease milk yield but increase n-3 fatty acids and conjugated linoleic acids in dairy cows fed high-forage diets<sup>1</sup>. *Journal of Dairy Science* 98(7): 4785-4799.
- Van Soest, P. v., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science* 74(10): 3583-3597.
- Zachut, M., A. Arieli, H. Lehrer, L. Livshitz, S. Yakoby, and U. Moallem. 2010. Effects of increased supplementation of n-3 fatty acids to transition dairy cows on performance and fatty acid profile in plasma, adipose tissue, and milk fat. *Journal of dairy science* 93(12): 5877-5889.

