การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในน้ำนมจากการเสริม calcium salt of palm oil fatty acid ในโคให้นม

นายธนวัฒน์ ผลเกิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

CHANGE IN MILK FATTY ACID PROFILE IN RESPONSE TO CALCIUM SALT OF PALM OIL FATTY ACID IN LACTATING DAIRY COW

Tanawat Phonkert

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Animal Production Technology

Suranaree University of Technology

Academic Year 2017

การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในน้ำนมจากการเสริม calcium salt of palm oil fatty acid ในโคให้นม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. น.สพ. ดร.บัญชร ลิขิตเดชาโรจน์)
ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. น.สพ. ดร.ภคนิจ คุปพิทยานันท์)
กรรมการ

(รศ. ดร.อมรรัตน์ โมพี)
กรรมการ

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(ศ. ดร.หนึ่ง เตียอำรุง)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ธนวัฒน์ ผลเกิด : การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในน้ำนมจากการเสริม calcium salt of palm oil fatty acid ในโคให้นม (Change in milk fatty acid profile in response to calcium salt of palm oil fatty acid in lactating dairy cow) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 70 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนมของโครีดนม ตลอดจนปริมาณกรดไขมันในน้ำนม และการศึกษาเกี่ยวกับการหมักย่อยในกระเพาะหมัก และการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันภายในกระเพาะหมัก การศึกษานี้ประกอบด้วย 2 การทดลอง ดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนมของโครีดนม ใช้โครีดนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน (87.5%) จำนวน 24 ตัว (ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ยต่อวัน 15.4 ± 3.75 กิโลกรัม; จำนวนวันให้นมเฉลี่ย 93 ± 27 วัน; น้ำหนักตัวเฉลี่ย 369 ± 40 กิโลกรัม) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มบล็อคสมบูรณ์ (Randomized complete block design; RCBD) โคแต่ละตัวได้รับอาหาร ที เอ็ม อาร์ 15.4% โปรตีน กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหาร ที เอ็ม อาร์ โดยไม่มีการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหาร ที เอ็ม อาร์ เสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 150 กรัม/วัน และ กลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหาร ที เอ็ม อาร์ เสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วัน ใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด 40 วัน โดย 10 วันแรกเป็นระยะปรับตัว ผลการศึกษาพบว่าการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบนม ผลผลิตองค์ประกอบของน้ำนม และการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ($P>0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมลดลง ($P<0.05$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) กรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก (VFA) และองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมักในระยะเวลาต่างๆ หลังการให้อาหาร ใช้โคเจาะกระเพาะ (fistulated non-lactating dairy cows) โดยคัดเลือกโคน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน (400±25 kg) จำนวน 3 ตัว ใช้แผนการทดลองแบบ 3 x 3 Latin square design โคแต่ละตัวได้รับอาหาร ที เอ็ม อาร์ 15.4% โปรตีน กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหาร ที เอ็ม อาร์ โดยไม่มีการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหาร ที เอ็ม อาร์ เสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 150 กรัม/วัน และ กลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหาร ที เอ็ม อาร์ เสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วัน ระยะเวลาในการทดลอง 63 วัน โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงการทดลองๆ ละ 21 วัน โดย 7 วันแรกเป็นการปรับตัว ผลการศึกษาพบว่าการเสริมกรดไขมัน

ไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) และองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก (P>0.05) แต่การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วัน ส่งผลให้ระดับของ Acetate เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 3 และ 6 หลังการให้อาหาร (P<0.05) และ การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วัน ส่งผลให้ระดับของ Propionate ลดลงในชั่วโมงที่ 3 และ 6 หลังการให้อาหาร(P<0.05). นอกจากนี้ยังพบว่า กรดไขมัน C6:0 C8:0 C16:0 C16:1 C18:1t C18:2 C18:3 และ *c9,t11* CLA ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กรดไขมัน C10:0 ถึง C14:0 ลดลง โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 กรัม/วัน มีสัดส่วนของกรดไขมัน C18:0 ต่ำที่สุด ในขณะที่โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 กรัม/วัน มีสัดส่วนของกรดไขมัน C18:1 สูงที่สุด การเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 กรัม/วัน มีผลทำให้ SFA และ *De novo* FA ลดลงแต่ทำให้ MUFA และ Preformed FAs เพิ่มขึ้นในขณะที่ PUFA ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

TANAWAT PHONKERT : CHANGE IN MILK FATTY ACID PROFILE IN RESPONSE TO CALCIUM SALT OF PALM OIL FATTY ACID IN LACTATING DAIRY COW. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WISITIPORN SUKSOMBAT, Ph.D., 70 PP.

CALCIUM SALT/PALM OIL/MILK FATTY ACID/MILK COMPOSITION/DAIRY COW

This thesis studied the effects of bypass fatty acid from palm oil supplementation on milk yield, milk composition and fatty acid in milk, and on ruminal fermentation and change in fatty acids in the rumen. This study comprised 2 experiments as follows:

Experiment I studied the effects of bypass fatty acid from palm oil supplementation on milk yield, milk composition and fatty acid in milk. Twenty-four Holstein Friesian crossbred (87.5% HF) lactating dairy cows, averaging 15.4 ± 3.75 kg of milk, 93 ± 27 day in milk and 369 ± 40 kg body weight, were randomly assigned into 3 experimental groups. The experimental design was Randomized Complete Block Design (RCBD). All cows received 15.4% CP total mixed rations (TMR). Group I received TMR without bypass fatty acid from palm oil supplementation. Group II received TMR and 150 g/d bypass fatty acid from palm oil and Group III received TMR and 300 g/d bypass fatty acid from palm oil. The experiment lasted 40 days with the first 10 days for an adaptation period. The results revealed that supplementation of bypass fatty acid from palm oil had no effect on milk yield, milk composition, milk composition yield and live weight change (P>0.05). However,

supplementation of bypass fatty acid from palm oil reduced protein content in milk ($P<0.05$).

Experiment II studied the effects of bypass fatty acid from palm oil supplementation on changes in pH, ammonia nitrogen (NH_3-N), volatile fatty acids (VFA) and fatty acid composition in the rumen at various hours after feeding. Three fistulatednon-lactating dairy cows were selected from cows having similar weight (400±25 kg). The experimental design was a 3 x 3 Latin square design. All cows received 15.4% CP total mixed rations (TMR). Group I received TMR without bypass fatty acid from palm oil supplementation. Group II received TMR and 150 g/d bypass fatty acid from palm oil and Group III received TMR and 300 g/d bypass fatty acid from palm oil. The experiment lasted 63 days, divided into 3 periods of 21 days in each period, and the first 7 days in each period was for adaptation. The results found that supplementation of bypass fatty acid from palm oil had no effect on pH, NH_3-N and fatty acid contents in the rumen ($P>0.05$). However, supplementation of 300 g/d bypass fatty acid from palm oil increased acetate but reduced propionate at 3 and 6 h after feeding ($P<0.05$). In addition, the results also found that C6:0, C8:0, C16:0, C16:1, C18:1t, C18:2, C18:3 and *c9,t11*CLA were not significantly different whereas C10:0 - C14:0 were decreased. Cows that received 150 g/d Ca-POFA had the lowest C18:0 while cows that received 300 g/d Ca-POFA had the highest C18:1. The addition of 300 g/d Ca-POFA resulted in reduced SFA and*De novo* FA, but resulted in increased MUFA and Preformed FAs whereas PUFA were not significantly different.

School of Animal Production Technology Student's Signature T. Phonkert

Academic Year 2017 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัยต่างๆ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาส และทุนการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ให้คำแนะนำและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการ ด้านการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ การตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์และสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ตลอดจนอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ต่างๆ จนเกิดความรู้และปัญญา

ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 และ 10 รวมทั้ง พี่ๆ บุคลากร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมืออุปกรณ์และอำนวยความสะดวกต่างๆ รวมถึงคำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมาจนทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษา

ธนวัฒน์ ผลเกิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ADF	=	Acid detergent fiber
ADICP	=	Acid detergent insoluble crude protein
ADIN	=	Acid detergent insoluble N
ADL	=	Acid detergent lignin
C12:0	=	Lauric acid
C14:0	=	Myristic acid
C16:0	=	Palmitic acid
C16:1	=	Palmitoleic acid
C18:0	=	Stearic acid
C18:1n9	=	Oleic aicd
C18:2n6	=	Linoleic acid
C18:3n3	=	α- Linoleic acid
CLA	=	Conjugated linoleic acid
HDL	=	High density lipoprotein
LDL	=	Low density lipoprotein
MUFA	=	Monounsaturated fatty acids
NDF	=	Neutral detergent fiber
NDICP	=	Neutral detergent insoluble crude protein
NDIN	=	Neutral detergent insoluble N
PUFA	=	Polyunsaturated fatty acids
SFA	=	Saturated fatty acids

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฏ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย 2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.7 เอกสารอ้างอิง 3
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 By pass fat 4
2.2 ระดับการเสริม Bypass fat 7
2.3 ความน่ากิน Palatability 8
2.4 รูปแบบทางกายภาพ Physical form 8
2.5 ผลต่อการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการหมักย่อยในกระเพาะหมัก 8
2.6 ผลของการเสริม Calcium salt of palm oil fatty acid ต่อผลผลิตน้ำนม 11
2.7 ผลต่อการกินได้วัตถุแห้ง (Effects on DMI) 12

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม 20
2.10 เอกสารอ้างอิง 23
3 ผลของการใช้ Calcium salt of palm oil fatty acid ต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมของโคนม 27
3.1 บทคัดย่อ 27
3.2 คำนำ 27
3.3 วัตถุประสงค์ 28
3.4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 28
3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 31
3.6 สถานที่ทำการทดลอง 31
3.7 ระยะเวลาในการทดลอง 32
3.8 ผลการทดลอง 32
3.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร 32
3.8.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม 34
3.8.3 ปริมาณการกินได้ของกรดไขมันในโคนม 35
3.8.4 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม 35
3.8.5 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง 36
3.8.6 องค์ประกอบของกรดไขในน้ำนม (% of total fatty acid) 37
3.9 วิจารณ์ผลการทดลอง 37
3.9.1 การกินได้ 37
3.9.2 ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม 39
3.9.3 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและสถานะพลังงาน 40
3.9.4 องค์ประกอบของกรดไขในน้ำนม 41
3.10 สรุปผลการทดลอง 44
3.11 รายการอ้างอิง 44

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 การศึกษาผลของการใช้ calcium salt of palm oil fatty acid ในอาหารโคผสมครบส่วนต่อนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก 48
4.1 บทคัดย่อ 48
4.2 คำนำ 48
4.3 วัตถุประสงค์ 49
4.4 อุปกรณ์และวิธีการ 49
4.4.1 การจัดการโคเจาะกระเพาะสำหรับทดลองและการให้อาหาร 49
4.4.2 การเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ตัวอย่าง 50
4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ 53
4.6 สถานที่ทำการทดลอง 53
4.7 ระยะเวลาการทำทดลอง 53
4.8 ผลการทดลอง 53
4.8.1 การกินได้วัตถุแห้ง โปรตีน และไขมัน 53
4.8.2 ปริมาณการกินได้ของกรดไขมันในโคเจาะกระเพาะ 55
4.8.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก 55
4.8.4 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ของของเหลวในกระเพาะหมัก 55
4.8.5 ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก 56
4.8.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก 59
4.8.7 การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของ TMR 59
4.9 วิจารณ์ผลการทดลอง 60
4.9.1 การกินได้วัตถุแห้ง 60
4.9.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก 60
4.9.3 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ของของเหลวในกระเพาะหมัก 61
4.9.4 ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก 61

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.9.5 องค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก 62
4.10 สรุปผลการทดลอง 63
4.11 รายการอ้างอิง 63
5 สรุปและข้อเสนอแนะ 65
5.1 สรุป 65
5.2 ข้อเสนอแนะ 65
ภาคผนวก 67
ประวัติผู้เขียน 70

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ของไขมัน SFA และ UFA ของเมล็ดพืชน้ำมันต่างๆ 5
2.2 ผลต่อการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการหมักย่อยในกระเพาะหมัก.....9
2.3 แสดงผลของการเสริม palmitic acid ในอาหารโคนมต่อ DMI, milk production และ milk composition.....10
2.4 แสดงผลของการเสริม palmitic acid ต่อกรดไขมันในน้ำนม.....11
3.1 แสดงองค์ประกอบของอาหาร TMR 32
3.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR และ Ca-POFA 32
3.3 คุณค่าทางพลังงานในอาหาร TMR, Ca-POFA และ Effective degradability ของ TMR 33
3.4 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและ Ca-POFA (g/100 g FA).....34
3.5 แสดงปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้รับ TMR 34
3.6 แสดงการกินได้ของกรดไขมันในโคนม (กรัมต่อวัน) 35
3.7 แสดงองค์ประกอบและผลผลิตขององค์ประกอบในน้ำนม 36
3.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวของโคนม.....37
3.9 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม (% of total fatty acid) 38
4.1 แผนการทดลองของโค 50
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR และ Ca-POFA 54
4.3 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายและเปอร์เซ็นต์การไหลผ่านของ Ca-POFA ในกระเพาะหมัก 54
4.4 ปริมาณการกินได้ของโคเจาะกระเพาะที่ได้รับ TMR 55
4.5 การกินได้ของกรดไขมันในโคเจาะกระเพาะ (กรัมต่อวัน).....56
4.6 ผลการเสริม Ca-POFA ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH3-N) ภายในกระเพาะหมักและกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก (VFA) ที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร.....57
4.7 ผลการเสริม Ca-POFA ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมักในระยะเวลาต่างๆ (g/100 g FA) 58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.8 การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหาร TMR 59
4.9 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหาร TMR 59

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 แสดงวิถีการสังเคราะห์กลูโคสจากไพรูเวท 15
2.2 การสังเคราะห์กรดไขมันในน้ำนม 18

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บทบาทของไขมันไหลผ่านในอาหารโคนมที่ให้ผลผลิตสูงมีความสำคัญอย่างมากในการเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานในอาหาร ไขมันไหลผ่านคือไขมันจากอาหารที่ไม่ถูก lipolysis และ Bio hydrogenationในกระเพาะหมักโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แต่จะถูกย่อยในกระเพาะส่วนล่าง (Chalupa et al., 1986) หรือที่รู้จักกันในชื่อ bypass fat หรือ rumen protected fat หรือ inert fat ในบรรดาไขมันไหลผ่านรูปแบบต่างๆ calcium salts of long chain fatty acids (Ca-LCFA) จะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักน้อยกว่า (Elmeddah et al., 1991) แต่จะถูกย่อยในลำไส้มากที่สุดที่สุด (Dairy Technical Service Staff, 2002) และยังเป็นแหล่งเสริมของแคลเซียมอีกด้วย(Naik et al., 2007a; 2007b) ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างง่ายๆ ต้นทุนต่ำ ในการเตรียม bypass fat โดยใช้กรดไขมันจากพืช อาหารของโคที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูงควรมีไขมันอยู่ 4.6% ซึ่งควรมีไขมันจากอาหารตามธรรมชาติ เมล็ดพืชน้ำมัน และ bypass fat ในสัดส่วนที่เท่ากัน การเสริม bypass fat ไม่มีผลกระทบในทางลบต่อกระบวนการหมักย่อยในกระเพาะหมัก การกินได้อาหาร การย่อยได้โภชนะ และค่าชีวเคมีของเลือด ของโคนม ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นพร้อมๆ กับการฟื้นตัวของน้ำหนักตัว และ body condition score และระบบสืบพันธุ์ภายหลังจากคลอดของโคนม (Kadegowda et al., 2008)

ทั้งนี้จึงได้มีความสนใจในเรื่องการนำ palm oil fatty acid มาทำให้อยู่ในรูปของ Calcium salt of palm oil fatty acid เพื่อให้เกิดการไหลผ่านไปยังกระเพาะส่วนล่างมากขึ้นและร่างกายสัตว์สามารถดูดซึมกรดไขมันที่เพิ่มขึ้นได้และอาจส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ ไขมันในน้ำนมที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก กรดไขมันในน้ำนมส่วนใหญ่คือ palmitic acid ซึ่งมีมากถึง 40% ของกรดไขมันน้ำนมซึ่งมีมากใน palm oil การเพิ่มการไหลผ่านจึงอาจสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ ไขมันในน้ำนมได้จากการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันในน้ำนมอีกทั้งการใช้ Calcium salt of palm oil fatty acid สามารถเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานในอาหารส่งผลให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ การใช้ Calcium salt of palm oil fatty acid ต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนมของโคนม

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้ Calcium salt of palm oil fatty acid ต่อผลผลิตน้ำนมของโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian)

2. เพื่อศึกษาผลของการใช้ Calcium salt of palm oil fatty acid ต่อองค์ประกอบน้ำนมและองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำนม

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. การเสริม Calcium salt of palm oil fatty acid สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมสูงขึ้น

2. การเสริม Calcium salt of palm oil fatty acid สามารถเพิ่มสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนม

3. การเสริม Calcium salt of palm oil fatty acid ที่ระดับ 150 กรัมต่อวัน ไม่มีความแตกต่างกันกับการเสริมที่ระดับ 300 กรัมต่อวัน

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Calcium salt, Palm oil, milk fatty acid, milk composition, dairy cattle

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการเสริม Calcium salt of palm oil fatty acid ระดับ 150 g/d และ 300 g/d สำหรับเลี้ยงโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) ที่มีน้ำนมเฉลี่ย 13-15 กิโลกรัมและได้รับอาหารแบบ TMR เพื่อศึกษาผลผลิตน้ำนมองค์ประกอบของน้ำนมและกรดไขมันในน้ำนม

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม ที่ได้รับอาหารข้นที่มีการใช้ Calcium salt of palm oil fatty acid

2. ทราบถึงปริมาณที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดการใช้ Calcium salt of palm oil fatty acid ร่วมกับอาหารข้นของโคนม

3. ทราบถึงระดับของการเสริม Calcium salt of palm oil fatty acidในระดับเหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด

4. สามารถนำ Calcium salt of palm oil fatty acid มาใช้ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมได้

1.7 เอกสารอ้างอิง

Chalupa, W. (1986). Ruminal fermentation in vivo as influenced by long-chain fatty acids. **Journal of Dairy Science**. 69: 1293-1301.

Dairy Technical Service Staff. (2002). Enertia PFA calcium salts of palm fatty acids (PFA), Rumen BypassFat, The Official Answer Guide**. ADM Animal Health and Nutrition**, 1000 N. 30th Quincy, IL62301: 877-236-2460.

Elmeddah, Y., Doreau, M., and Michalet-Doreau, B. (1991). Interaction of lipid supply and carbohydrates in the diet of sheep with digestibility and ruminal digestion. **The Journal of Agricultural Science**. 116: 437-445.

Kadegowda, A. K. G., Piperova, L. S., Delmonte, P., and Erdman, R. A. (2008). Abomasal infusion of butterfat increases milk fat in lactatingdairy cows. **Journal of Dairy Science**. 91:2370-2379.

Naik, P. K., Saijpaul, S., and Rani, N. (2007). Preparation of rumenprotected fat and its effect on nutrient utilization in buffaloes.Indian. **Journal of Animal Nutrition**. 24(4): 212-15.

Naik, P. K., Saijpaul, S., and Rani. N., (2007). Evaluation of rumen protected fat prepared by fusion method. **Animal Nutrition and Feed Technology.** 7: 95-101.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Calcium salts of long chain fatty acids (Ca-LCFA) เป็นสบู่ที่ไม่ละลาย ผลิตโดยปฏิกิริยาของ carboxyl group ของ long chain fatty acids (LCFA) และ calcium salts (Ca++) ความสามารถในการป้องกันการละลายของ Calcium soaps ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก (rumen pH) และชนิดของกรดไขมัน เมื่อ rumen pH มากกว่า 5.5, Ca-LCFA จะไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก การแตกตัวจะมีนัยสำคัญ เมื่อ pH ลดลงถึง 6.0 (Chalupa et al., 1986) ในสภาวะที่ pH ในกระเพาะจริงเป็นกรด กรดไขมันใน Ca-LCFA จะแตกตัว และดูดซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพในลำไส้เล็ก ในบรรดา bypass fat รูปแบบต่างๆ Ca-LCFA จะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักน้อยกว่า (Elmeddah et al., 1991) แต่มีการย่อยได้ในกระเพาะส่วนล่างสูงที่สุด (Dairy Technical Service Staff, 2002) และยังเป็นแหล่งที่ให้แคลเซียมอีกด้วย (Naik et al., 2007a; 2007b)

2.1 By pass fat

ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ calcium soaps หรือ salts จะขึ้นทะเบียนในชื่อ (calcium salts of long chain fatty acids; Ca-LCFA) โดยปกติแล้ว Ca-LCFA จะผลิตจากกรดไขมันที่กลั่นจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม เพราะมีการผลิตกรดไขมันเหล่านี้ในปริมาณมากที่สุดในโลก เท่าที่ผ่านมา Ca-LCFA จากปาล์ม จะมีคุณภาพสูงที่สุด และเป็นที่รู้จักกันว่าเป็น bypass fat ที่ใช้ในโคนม การเสริมไขมันในอาหารโคนมที่ให้ผลผลิตสูงเป็นเรื่องปกติในฝูงโคนมที่ให้ผลผลิตสูง ความต้องการพลังงานของโคนมจะเกินกว่าการกินได้พลังงาน ในช่วง 80-100 วัน หลังคลอด การสูญเสียน้ำหนักตัวอย่างมากจะนำไปสู่อาการ ketosis การสะสมไขมันในตับ ลดความสมบูรณ์พันธุ์ และผลผลิตน้ำนมลดลง การเสริม rumen protected fat เป็นการเพิ่มความเข้มข้นพลังงาน โดยไม่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงจลศาสน์ของเยื่อใยและคาร์โบไฮเดรทในอาหาร ได้มีการรวบรวมเอกสารการใช้ไขมันชนิดต่างๆ ร่วมกับอาหารที่มีพืชอาหารสัตว์ต่างๆ เป็นอาหารหยาบหลัก ไว้อย่างกว้างขวาง โดย Smith and Harris (1992)

จากข้างต้นพบว่าปัญหาเกิดจากสัตว์ได้รับพลังงานไม่เพียงพอจากการได้รับพลังงานจากอาหารไม่เพียงพอส่งผลกระทบต่อการให้ผลผลิต จึงสามารถเพิ่มพลังงานในอาหารเพื่อให้สัตว์ได้รับพลังงานมาใช้เพื่อลดการสลายพลังงานในร่างกายได้โดยการเสริมน้ำมันปาล์มเพื่อเป็นแหล่ง

พลังงานในอาหารอีกทั้งการเสริมน้ำมันปาล์ม ยังสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมได้เนื่องจากในน้ำมันปาล์มมีกรดไขมัน palmitic acid อยู่สูงซึ่งมีผลต่อการสะสมไขมันในน้ำนมและยังสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์ glucose ที่ตับส่งผลให้ปริมาณน้ำนมสูงขึ้นอีกด้วย

2.1.1 ไขมันไหลผ่านตามธรรมชาติ (Natural bypass fat)

เมล็ดพืชน้ำมันทั้งเมล็ด เมื่อให้โคนมได้รับโดยไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป ยกเว้นการทำให้แห้ง มีคุณสมบัติไหลผ่านตามธรรมชาติ เพราะมีเปลือกหุ้มเมล็ดที่หนา ซึ่งป้องกันกรดไขมันที่อยู่ภายในจากการ lipolysis และ Bio hydrogenation ในกระเพาะหมัก (Ekeren et al., 1992) อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการบดเคี้ยวของสัตว์ มีการทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดแตก ซึ่งส่งผลต่อความเฉื่อยในกระเพาะหมักไม่ค่อยดี เมล็ดพืชน้ำมันที่สำคัญที่ปกติใช้ในอาหารโคนม ได้แก่ เมล็ดฝ้าย เมล็ดถั่วเหลืองอบ เมล็ดทานตะวัน และเมล็ดคาโนลา นอกจากนี้ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีองค์ประกอบของ กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids; SFA) มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักน้อยกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีองค์ประกอบของ กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids; UFA) และมีผลกระทบเชิงลบของการเสริมไขมันน้อยที่สุด เพราะจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับประจุโลหะ (metal ions) เป็นเกลือที่ไม่ละลาย (insoluble salts) ในกระเพาะหมัก (Jenkins and Palmquist, 1982) และจะไม่ถูก Bio hydrogenation ในกระเพาะหมัก (Chalupa et al., 1986) เปอร์เซ็นต์ของไขมัน SFA และ UFA ของเมล็ดพืชน้ำมันต่างๆ ได้ให้ไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ของไขมัน SFA และ UFA ของเมล็ดพืชน้ำมันต่างๆ

Oil seeds	%Fat	%SFA	%UFA
Cotton	20.0	26	74
Soybean	18.8	15	85
Sunflower	44.4	12	88
Palm	-	51	49
Canola	40.2	6	94

ที่มา : NebGuide(2004)

2.1.2 Bypass fat ที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการทางเคมี (Chemically prepared bypass fat)

Rumen bypass หรือ “protected fat” เป็น dry fats ที่ผ่านกระบวนการผลิตเพื่อให้สามารถผสมได้ง่ายในอาหารสัตว์ และ dry fats โดยปกติจะมีจุดหลอมเหลวสูง ส่วนใหญ่จะไม่ละลายที่อุณหภูมิภายในกระเพาะหมัก แต่อย่างไรก็ตาม dry fats ไม่สามารถป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมักได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น dry fats จึงมีผลกระทบต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมัก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เล็กน้อย ในปัจจุบันกรรมวิธีการผลิต dry fats เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์มีเพียง 3 วิธี แต่กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับโคที่มีความต้องการน้อยที่สุด คือ partial hydrogenated tallow ซึ่งมักไม่ค่อยได้ใช้ในอาหารโค

กรรมวิธีหนึ่งในการผลิต bypass fat ที่ได้รับการยอมรับคือ การ hydrolyze กรดไขมันจาก tallow ทำการ hydrogenate กรดไขมันบางส่วน หลังจากนั้น ทำให้เป็นเม็ด ใน spray-chilling tower อย่างไรก็ตาม กรรมวิธีในการผลิต bypass fat ที่มีประสิทธิภาพและมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ ทำปฏิกิริยากรดไขมันจากพืชด้วย calcium hydroxide เพื่อทำให้อยู่ในรูปของ insoluble calcium soaps

Bypass fat ที่ผลิตด้วยกรรมวิธีทางเคมี โดยปกติรวมถึง crystalline หรือ prilled fatty acids, formaldehyde treated protein encapsulated fatty acids, fatty acyl amides และ calcium salts of long chain fatty acids (Ca-LCFA)

2.1.3 Crystalline หรือ prilled fatty acids

Crystalline หรือ prilled fatty acids สามารถผลิตได้โดยการหลอมเหลวและสเปรย์กรดไขมันภายใต้ความดันในสภาวะบรรยากาศที่เย็น เพื่อให้จุดหลอมเหลวของกรดไขมันเพิ่มขึ้นและไม่หลอมละลายที่อุณหภูมิภายในกระเพาะหมัก ดังนั้นจะต้านทานต่อการ hydrolysis ในกระเพาะหมัก และเชื่อมติดกับเซลล์จุลินทรีย์ หรืออนุภาคอาหาร (Chalupa et al., 1986)

2.1.4 Formaldehyde treated protein encapsulated fatty acids

Formaldehyde treated protein encapsulated fatty acids เป็นวิธีการที่มีผลป้องกันไขมันจากอาหารจากการ hydrolysis ในกระเพาะหมัก (Sutton et al., 1983) ได้มีการใช้ casein-formaldehyde coated fat ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Bines et al., 1978) สามรถบดเมล็ดพืชน้ำมันและผสมกับ formaldehyde (1.2 g/100 g protein) ในถุงพลาสติก หรือ ไซโล และหมักไว้ประมาณ 1 สัปดาห์

2.1.5 Fatty acyl amides

สามารถผลิต Fatty acyl amides และใช้เป็นแหล่งของไขมันไหลผ่าน Butylsoyamide เป็น fatty acyl amide ประกอบด้วยพันธะ amide ระหว่าง soy fatty acids และ butylamine ซึ่งสามารถเพิ่ม linoleic acid ในไขมันนม (Jenkins, 1998) การเปลี่ยน oleic acid เป็น fatty acyl amide (oleamide) สามารถเพิ่มความเข้มข้นของ mono-unsaturated fatty acids (MUFA) ในน้ำนม เมื่อเสริมในโคนม (Jenkins, 1999) amide ของ soybean fatty acid มีประสิทธิภาพในการเพิ่มการไหลผ่านของ oleic acid สู่กระเพาะส่วนล่าง (Lundy et al., 2004) fatty acyl amide ของ complete diet ที่ผสม sardine oil มีประสิทธิภาพในการป้องกันไขมันจากการย่อยสลายในกระเพาะหมัก และเพิ่ม apparent และ true DM degradability (Ambasankar and Balakrishnan, 2011)

2.1.6 Calcium salts of long chain fatty acids (Ca-LCFA)

Calcium salts of long chain fatty acids (Ca-LCFA) เป็นสบู่ที่ไม่ละลาย ผลิตโดยปฏิกิริยาของ carboxyl group ของ long chain fatty acids (LCFA) และ calcium salts (Ca^{++}) ความสามารถในการป้องกันการละลายของ Calcium soaps ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก (rumen pH) และชนิดของกรดไขมัน เมื่อ rumen pH มากกว่า 5.5, Ca-LCFA จะไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก เมื่อค่าแตกตัวคงที่ (dissociation constant; pKa) ของ Ca-LCFA อยู่ระหว่าง 4 ถึง 5 การแตกตัวจะมีนัยสำคัญ เมื่อ pH ลดลงถึง 6.0 (Chalupa et al., 1986) ในสภาวะที่ pH ในกระเพาะจริงเป็นกรด กรดไขมันใน Ca-LCFA จะแตกตัว และดูดซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพในลำไส้เล็ก ในบรรดา bypass fat รูปแบบต่างๆ Ca-LCFA จะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักน้อยกว่า (Elmeddah et al., 1991) แต่มีการย่อยได้ในกระเพาะส่วนล่างสูงที่สุด (Dairy Technical Service Staff, 2002) และยังเป็นแหล่งที่ให้แคลเซียมอีกด้วย (Naik et al., 2007a; 2007b)

ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ calcium soaps หรือ salts จะขึ้นทะเบียนในชื่อ (calcium salts of long chain fatty acids; Ca-LCFA) โดยปกติแล้ว Ca-LCFA จะผลิตจากกรดไขมันที่กลั่นจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม เพราะมีการผลิตกรดไขมันเหล่านี้ในปริมาณมากที่สุดในโลกเท่าที่ผ่านมา Ca-LCFA จากปาล์ม จะมีคุณภาพสูงที่สุด และเป็นที่รู้จักกันว่าเป็น bypass fat ที่ใช้ในโคนม การเสริมไขมันในอาหารโคนมที่ให้ผลผลิตสูงเป็นเรื่องปกติในฝูงโคนมที่ให้ผลผลิตสูง ความต้องการพลังงานของโคนมจะเกินกว่าการกินได้พลังงาน ในช่วง 80-100 วัน หลังคลอด การสูญเสียน้ำหนักตัวอย่างมากจะนำไปสู่อาการ ketosis การสะสมไขมันในตับ ลดความสมบูรณ์พันธุ์ และผลผลิตน้ำนมลดลง การเสริม rumen protected fat เป็นการเพิ่มความเข้มข้นพลังงาน โดยไม่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงจลศาสน์ของเยื่อใยและคาร์โบไฮเดรทในอาหาร ได้มีการรวบรวมเอกสารการใช้ไขมันชนิดต่างๆ ร่วมกับอาหารที่มีพืชอาหารสัตว์ต่างๆ เป็นอาหารหยาบหลัก ไว้อย่างกว้างขวาง โดย Smith and Harris (1992)

2.2 ระดับการเสริม Bypass fat

ตามคำแนะนำของ NRC (2001) อาหารของโคนม (ส่วนผสมของอาหารข้นและอาหารหยาบ) จะมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 3% และไขมันในอาหารทั้งหมดไม่ควรเกินกว่า 6-7% ของวัตถุแห้ง Palmquist and Jenkins (1980) สรุปว่า การเสริมไขมัน 3-5% ของวัตถุแห้งอาหารทั้งหมด มีผลในการเพิ่มผลผลิตน้ำนม ในขณะที่เมื่อเสริมไขมันเกินกว่า 6% ของวัตถุแห้งอาหารทั้งหมด ทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง (Jenkins and Palmquist, 1984) ถึงแม้ว่าสามารถเสริม bypass fat ในอาหารโคนมได้ในปริมาณที่สูง (West and Hill, 1990) การเสริม bypass fat ที่ระดับ 9% ของวัตถุแห้งอาหารทั้งหมด ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อโครีดนม (Schauff and Clark, 1992) Palmquist(1991)

แนะนำว่า 3% แรกของไขมันของการกินได้วัตถุแห้งของโคนมควรได้จากแหล่งของเมล็ดพืชน้ำมัน และส่วนที่เกินอีก 3% ควรได้จาก bypass fat มีข้อแนะนำว่าอาหารของโคที่ให้ผลผลิตสูงควรมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ 4-6% ซึ่งควรประกอบด้วยไขมันที่ได้จากอาหารธรรมชาติ เมล็ดพืชน้ำมัน และ bypass fat ในสัดส่วนที่เท่าๆ กัน (Sharma, 2004)

2.3 ความน่ากิน Palatability

ชนิดของ bypass fat ที่แตกต่างกันอาจมีความแตกต่างเล็กน้อยในด้านความน่ากิน Calcium salts of palm oil จะมีกลิ่นฉุน และมีรสขาดขมเล็กน้อย ซึ่งโคนมสามารถรับรู้กลิ่นได้เมื่อเริ่มผสมลงในอาหารใหม่ๆ ดังนั้น สัตว์ที่ยังไม่เคยได้รับไขมันนี้ ต้องการระยะเวลาในการปรับตัวกับไขมัน นอกจากนี้ เมื่อให้โคได้รับ calcium salts of palm oil โคต้องได้รับการดูแลเป็นพิเศษ เพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ไขมันนั้นผสมเข้ากันอย่างดีกับอาหาร เพื่อไม่ให้การกินได้อาหารลดลง

2.4 รูปแบบทางกายภาพ Physical form

ชนิดของ bypass fat ส่วนใหญ่ สะดวกในการขนส่ง และผสมกับอาหารโคนม Calcium salts of palm oil จะได้รับความนิยมในช่วงอากาศร้อนมากๆ เพราะความสามารถในการไหลผ่าน และ prilled fats สามารถลดลงในช่วงที่มีอากาศอบอุ่น ขนาดของอนุภาคก็เป็นคุณสมบัติหนึ่งในการเลือกซื้อ bypass fat ขึ้นอยู่กับการใช้ ขนาดอนุภาคที่ละเอียดเพิ่มคุณภาพในการผสมไขมันกับแร่ธาตุผสม แต่อาจลดอัตราการไหล หรือมีฝุ่นมากเกินไปในโรงงานอาหารสัตว์ หรือในเครื่องผสมอาหาร ยกตัวอย่างเช่น calcium salts of palm fatty acids จะมีฝุ่นมากกว่า แต่มีการไหลที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ prilled fatty acid ในอาหารพื้นฐานทั่วๆ ไป จะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ระหว่าง 2.5-3.0% ที่ได้จากพืชอาหารสัตว์และอาหารข้น โคนมสามารถให้นมได้ 25-30 kg of 4%FCM จากการได้รับพืชอาหารสัตว์และอาหารข้นคุณภาพสูง ส่วนโคนมที่ให้นมมากกว่า 25 kg ควรเสริม bypass fat ที่ระดับ 0.45-0.70 kg/d หรือที่ 4.5-5.0% total fat ใน ration dry matter ไขมันในรูป bypass fat จะถูกย่อยได้น้อยในกระเพาะหมัก และไม่มีผลกระทบต่อการย่อยได้เยื่อใยในกระเพาะหมัก

2.5 ผลต่อการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการหมักย่อยในกระเพาะหมัก

เมื่อมีการเสริม bypass fat เพิ่มขึ้น จะทำให้ in vitro DMD ลดลง (Table 2) อย่างไรก็ตาม TVFA, TN, TCA-N, NPN และ NH3-N จะไม่ถูกกระทบ (Tangendjaja et al., 1993)

การเสริม bypass fat ไม่มีผลในเชิงลบต่อกระบวนการหมักย่อยในกระเพาะหมักของโคนม แม้จะเสริมที่ระดับ 5 ถึง 15% (Chalupa et al., 1985; 1986) ของวัตถุแห้งอาหาร เมื่อเสริม Ca-LCFA โดยเฉพาะ Ca-salts ที่มี UFA อยู่สูง ควรเสริม buffer เพื่อรักษาระดับของ ruminal pH และ เพื่อให้มี

การแตกตัวของ Ca-salt ในกระเพาะหมักน้อยที่สุด (Chalupa et al., 1986) เมื่อระดับการเสริม Ca-LCFA ในอาหารเพิ่มขึ้น ruminal pH และ ความเข้มข้นของ TVFA ใน ruminal fluid ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ molar percentage ของ acetate และ acetate: propionate ratio เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง (Schauff and Clark, 1992)

ตารางที่ 2.2 ผลต่อการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการหมักย่อยในกระเพาะหมัก

Parameters	*In vitro* fermentation		Rumen fermentation	
	(-) bypass fat	(+) bypass fat	(-) bypass fat	(+) bypass fat
IVDMD (%)	53.0	54.0	-	-
pH	-	-	6.90	6.77
TVFA (meq/dl)	3.23^{b}	4.77^{a}	7.13^{b}	8.08^{a}
TN (mg/dl)	15.40	17.73	82.04	83.21
TCA-N (mg/dl)	7.93	8.87	32.57^{b}	38.22^{a}
NPN (mg/dl)	7.47	8.87	49.47	44.99
NH_3-N (mg/dl)	3.41	4.85	10.03	9.80
TBC (x 10^{11}/ml)	-	-	5.80	6.90
TPC (x 10^{4}/ml)	-	-	2.12	2.31

IVDMD = in vitro dry matter digestibility; TVFA = total volatile fatty acids; TN = total nitrogen; TCA-N = ; NPN = non protein nitrogen; NH_3-N = ammonia nitrogen; TBC = total bacteria count; TPC = total plate count ^{a,b} ที่กำกับในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$).

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลการให้กรดไขมันที่มี palmitic acid อยู่สูงต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม ได้มีรายงานว่าสามารถเพิ่มไขมันในน้ำนมได้ Piantoni et al. (2013) เนื่องจากองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนมนั้นคือ palmitic acid เมื่อทำการเสริมไขมันที่มี palmitic acid อยู่สูงจึงทำให้มีการสะสม palmitic acid น้ำนมมากขึ้นและส่งผลให้ไขมันนำน้ำนมสูงขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเสริมไขมันในรูปของเหลวอาจส่งผลต่อการหมักย่อยเยื่อใยในกระเพาะหมักและเกิดการ Bio hydrogenation ของไขมันได้จึงได้มีการศึกษาเพิ่มเติมในการทำ palmitic acid ให้อยู่ในรูปไหนผ่าน หรือ calcium salt of palm oil fatty acid อาจสามารถเพิ่มการสะสม palmitic acid ในน้ำนมได้

ตารางที่ 2.3 แสดงผลของการเสริม palmitic acid ในอาหารโคนมต่อ DMI, milk production และ milk composition

Reference	Treatment	DMI(Kg/d)	Milk yield (Kg/d)	Milk fat (%)	Milk protein (%)
Rico et al. (2014a)	Control	28.3[a]	41.5	3.14	3.14
	Palmitic acid	26.4[b]	42.0	3.22	3.17
Rico et al. (2014b)	Control	25.3[a]	28.8	3.86	3.19
	Palmitic acid	23.0[b]	29.0	3.92	3.14
Piantoni et al. (2013)	Control	27.8	44.9[b]	3.29[b]	3.11
	Palmitic acid	27.8	46.0[a]	3.40[a]	3.09
Lock et al. (2013)	Control	24.7[a]	32.0	3.88[b]	3.33[a]
	Palmitic acid	23.3[b]	32.0	4.16[a]	3.28[b]
Mosley et al. (2007)	Control	23.3[b]	30.9[b]	3.44[b]	2.98
	Palmitic acid	26.4[a]	34.0[a]	3.93[a]	2.97

หมายเหตุ : [a,b] ที่กำกับในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$).

จากการวิเคราะห์ตารางในการทดลองของ Rico et al. (2014),พบว่าการเสริม Palmitic acid ในอาหารโคนมส่งผลให้การกินได้ของโคลดลง ($P<0.05$) แต่อย่างไรก็ตามการเสริม Palmitic acid นั้นไม่ส่งผลต่อ ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมทั้งนี้เนื่องจาก พลังงานในอาหารที่เสริม Palmitic acid นั้นมีสูงและอาจเพียงพอต่อความต้องการในการให้ผลผลิตอีกทั้งการการเสริมไขมันจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการเพาะหมักทำให้การกินได้ลดลง (Longuski et al., 2009) เช่นเดียวกับการทดลองของ Rico et al. (2014),[2] แต่ในทางกลับกันการทดลองของ (Piantoni et al, 2013) การเสริม Palmitic acid ไม่ส่งผลต่อการกินได้แต่ส่งผลให้ ผลผลิตน้ำนมและไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) เช่นเดียวกับการทดลองของ (Mosley et al. 2007) ทั้งนี้เนื่องจากการกินได้ที่เท่าเดิมแต่พลังงานที่ได้รับสูงขึ้นจึงส่งผลให้ผลผลิตน้ำนมสูงขึ้นด้วยเช่นเดียวกับไขมันในน้ำนมที่เพิ่มขึ้นจากผลการทดลองของ (Lock et al, 2013) นั้นมีความขัดแย้งกันโดยที่การเสริม palmitic acid ในอาหารนั้นส่งผลให้การกินได้และโปรตีนในน้ำนมลดลงแต่ไขมันในน้ำนมสูงขึ้น ($P<0.05$) โดยปริมาณของไขมันในน้ำนมที่สูงขึ้นนั้นอาจเกิดจากสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมที่เพิ่มขึ้นดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2.4 แสดงผลของการเสริม palmitic acid ต่อกรดไขมันในน้ำนม

Reference	Treatment	Fatty acid in milk (g/100)					
		C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C16	C18
Rico et al. (2014a)	Control					27.42[b]	36.01
	Palmitic acid					35.18[a]	30.45
Rico et al. (2014b)	Control					26.88[b]	36.60
	Palmitic acid					34.36[a]	32.63
Piantoni et al. (2013)	Control	33.0[b]	1.66[b]	8.77[a]	17.1[a]		
	Palmitic acid	37.6[a]	1.80[a]	7.77[b]	16.4[b]		
Lock et al. (2013)	Control	35.2[b]	1.25[b]	8.67[a]	19.0[a]		
	Palmitic acid	41.8[a]	1.49[a]	7.41[b]	18.0[b]		
Mosley et al. (2007)	Control	30.70[b]	2.24[b]	9.12a	21.22[a]		
	Palmitic acid	39.14[a]	2.86[a]	6.83b	19.30[b]		

หมายเหตุ : [a,b] ที่กำกับในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P< 0.05).

จากตารางที่ 3 Piantoni et al. (2013) พบว่าผลของการเสริม palmitic acid ในอาหารโคนมส่งผลให้มีกรดไขมันชนิด C16:0,C16:1 เพิ่มขึ้น(P<0.05) และกรดไขมันชนิด C18:0,C18:1 ลดลง (P<0.05) เช่นเดียวกับการทดลองของ Lock et al. (2013) และในทางเดียวกันการทดลองของ Rico et al. (2014) มีระดับของ C16 เพิ่มขึ้น (P<0.05)

2.6 ผลของการเสริม Calcium salt of palm oil fatty acid ต่อผลผลิตน้ำนม

การเสริม bypass fat ให้กับโคนม มีรายงานว่าสามารถเพิ่ม fat corrected milk yield, milk และ milk fat percentage โดยไม่มีผลกระทบต่อการย่อยได้โภชนะอื่นๆ อย่างไรก็ตาม มีบางรายงานที่ไม่เพิ่มผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม เมื่อเสริม bypass fat ถึงแม้ว่ามีการเสริม bypass fat ในหลายๆ การทดลอง มีเพียงไม่กี่การทดลองที่เปรียบเทียบการเสริม Ca-LCFA และ FFA ยกตัวอย่างเช่น Grummer (1988) และ Harvatine and Allen (2002) สังเกตพบมีการเพิ่มผลผลิตน้ำนมอย่างมีนัยสำคัญ ค่าสังเกตต่อไปนี้สามารถพบได้ในการทดลอง

ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น 3-8% (1.0-2.5 kg) ต่อการเสริม bypass fat 0.45 kg ถ้าพลังงานทั้งหมดที่โคได้รับจากการกิน bypass fat 0.45 kg ถูกเปลี่ยนเป็นผลผลิตน้ำนม ประมาณว่าจะต้องให้ผลผลิต

น้ำนม 2.5-3.0 kg การเปลี่ยน metabolisable energy ไปเป็น milk energy สูงสุด เมื่อเสริมไขมันในอาหาร เปรียบเทียบกับการให้ พืชอาหารสัตว์ และอาหารข้น หรือการเคลื่อนย้ายไขมันที่สะสมในร่างกาย

รักษาระดับขององค์ประกอบไขมันในน้ำนม (ในช่วง negative energy balance) หรือเพิ่มขึ้น 0.2-0.3 % การเสริมไขมันจะเพิ่มระดับการไหลเวียนของไขมันในเลือด ประมาณ 40-50% ของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันนมทั้งหมด

สามารถเพิ่มความสมบูรณ์พันธุ์ เพราะว่าโคกลับสู่สภาวะสมดุลพลังงานเป็นบวกได้เร็วกว่า ซึ่งจะมีผลต่อ follicle size, ovum fertility และระดับการไหลเวียนของ blood progesterone นักวิจัยรายงาน first service conception เพิ่มขึ้น 20% และ calving intervals สั้นลง เมื่อเสริมไขมัน ถ้าขาดพลังงานสุทธิ (net energy) เพียงวันละ 1 Mcal ในช่วง 20 วันแรกของระยะให้นม จะเพิ่มระยะ first ovulation 2.7 วัน

โคอาจสูญเสียน้ำหนักตัวได้มากกว่า 120 kg ในช่วงต้นระยะให้นม ถ้าโคยังคงให้นมสูง เป็นไปไม่ได้เลยที่จะเพิ่มน้ำหนักตัวให้กลับมาเท่าเดิมก่อนที่จะถึงระยะให้นมถัดไป ซึ่งจะมีผลต่อผลผลิตน้ำนมและความสมบูรณ์พันธุ์ในอนาคต

คีโตสิสยังคงเป็นความเสี่ยงทางเมแทบอลิกที่สำคัญในช่วงต้นระยะให้นม โคนมที่สูญเสียน้ำหนักตัวจากที่สะสมไว้มากกว่า 1.0 kg จะกินได้อาหารต่ำ และเพิ่มความเสี่ยงของการเกิด fatty liver ดังนั้นสถานะพลังงานสามารถปรับปรุงได้จากการเสริมไขมันโดยไม่เสี่ยงต่อการได้รับแป้งมากเกินไปและกินเยื่อใยน้อย

2.7 ผลต่อการกินได้วัตถุแห้ง (Effects on DMI)

มีการศึกษาหลายๆ การศึกษาที่ทดสอบความแตกต่างโดยตรงระหว่าง FFA และ Ca-LCFA ต่อ DMI, fatty acid digestibility, และ BW changes จากข้อมูลชี้ให้เห็นว่า มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยของการย่อยได้ FA ที่ได้รับจาก Ca-LCFA หรือ FFA ความแตกต่างที่เด่นชัดที่สุดระหว่าง bypass fat ทั้ง 2 ชนิด คือ ผลต่อ DMI ในการศึกษา 2 การศึกษา Harvatine and Allen (2002, 2003) พบว่า DMI ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ Chilliard (1993) รวบรวมเอกสารการใช้ bypass fat และ saturated fats ในอาหารโคนม ข้อมูลจากการรวบรวมเอกสารนี้สอดคล้องกับข้อมูลปัจจุบันว่า DMI ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ Allen (2000) รวบรวมเอกสารหลากหลายถึงผลของการเสริมไขมันต่อ DMI สมการ regression ที่ได้จาก 24 การทดลอง เมื่อทำการเสริม Ca-LCFA เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ชี้ให้เห็นว่า ทุกๆ 1% ของ Ca-LCFA ที่เสริมมากกว่ากลุ่มควบคุม จะลด DMI ลง 2.5% ผลของการพบนี้ได้กล่าวไว้ใน NRC requirements (2001) Allen (2000) รายงานว่า ใน 11 จาก 24 การทดลอง Ca-LCFA ลด DMI อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ 22 การทดลอง จาก 24 การทดลอง มีค่าตัวเลข DMI ที่

น้อยกว่า เมื่อเสริม Ca-LCFA ในอาหาร Allen (2000) ยังชี้ให้เห็นว่า ถึงแม้การใช้ประโยชน์ของพลังงานจากไขมันที่ถูกย่อยมีประสิทธิภาพมากกว่าคาร์โบไฮเดรทที่ถูกย่อย การเสริมไขมันในอาหารอาจไม่เพิ่ม net energy intake เสมอไป โดยเฉพาะเมื่อ DMI ลดลง มีหลักฐานชัดเจนว่า Ca-LCFA ในอาหาร ถึงแม้เสริมที่ระดับต่ำ 0.23 kg/d ที่มักปฏิบัติกันในปัจจุบันในฝูงโครีดนมทางการค้า มีผลทำให้ DMI ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ Allen (2000) ตั้งข้อสังเกตไว้ว่า hydrogenated fat ที่เปรียบเทียบจาก 21 การทดลอง ไม่ส่งผลทำให้ DMI ลดลง เนื่องจาก FA ใน bypass fat ที่เสริม การลดลงของ DMI จากการเสริม Ca-LCFA ในอาหารของโครีดนม ยังเป็นปัญหาอยู่ ถ้านักโภชนศาสตร์สัตว์ หรือ เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม ตัดสินใจที่จะใช้ Ca-LCFA 0.23 kg/d หรือ 1.085 Mcal NEL ทดแทนข้าวโพด 0.23 kg/d หรือ 0.45 Mcal NEL ความแตกต่างควรเป็น 1.085-0.45 หรือ 0.635 Mcalอย่างไรก็ตาม เมื่อ DMI ลดลง 2.5% ผลกระทบสุทธิ คือ การลดลงของ NEL intake ทั้งหมดต่อวัน สมมุติให้โคกินอาหาร 22.7 kg/d DM และอาหารมี NEL 1.72 Mcal/kg DM การกินได้ NEL ทั้งหมดต่อวันเท่ากับ 39 Mcal ถ้า DMI ลดลง 2.5% หรือ 0.98 Mcal แต่โคจะได้รับ NEL จาก Ca-LCFA เท่ากับ 0.635 Mcal ทำให้ยังขาดอยู่ 0.34 Mcal ซึ่งสอดคล้องกับ Chilliard's (1993) รวบรวมเอกสารไว้ว่า เมื่อเสริม Ca-LCFA ในอาหาร การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวลดลง

2.8 กระบวนการสังเคราะห์น้ำนม

สารตั้งต้นที่เป็นองค์ประกอบน้ำนมทุกชนิดมาจากเลือดถูกนำเข้าสู่ของเหลวระหว่างเซลล์ (extracellular fluid) ซึ่งอยู่ระหว่าง เส้นเลือดฝอย (capillaries) และ เนื้อเยื่อเซลล์เต้านม (epithelial cell) โดยผ่านทาง basolateral membrane ของเนื้อเยื่อเซลล์เต้านม ดังนั้นด้านในของเซลล์จะมีสารตั้งต้นอยู่ 5 อย่าง ที่จะเข้าไปในโพรงของอัลวีโอลัย คือ amino acid, sugar, salt, milk fat, protein เช่น immunoglobulins โดยกรดอะมิโน สำหรับสังเคราะห์เป็นโปรตีนในน้ำนม กลูโคสสำหรับสังเคราะห์น้ำตาลในนม กรดไขมันและกลีเซอรอลสำหรับสังเคราะห์เป็นไขมันในน้ำนม เป็นต้น

2.8.1 การสังเคราะห์แล็กโทส

แล็กโทส (Lactose synthesis) เป็นน้ำตาลสองโมเลกุลที่พบในน้ำนมเกิดจาก 1 โมเลกุลของ glucose รวมกับ 1 โมเลกุล galactose มาต่อกันด้วยพันธะ 1,4β-galactoside สังเคราะห์ขึ้นจากสารตั้งต้นในเลือดคือ glucose เป็นการสังเคราะห์ภายในเซลล์เกิดใน golgi apparatus การสังเคราะห์นี้ต้องอาศัยปริมาณ glucose จากเลือดถึง 80% โดยมีน้ำย่อยที่อยู่ในรูป galactosyltransferase จะมาเป็นตัวย้าย galactosyl group ไปยังน้ำตาล glucose ทำให้ได้เป็น lactose อัตราการสังเคราะห์ขึ้นกับโปรตีนเฉพาะชื่อ α-lactalbumin ที่เป็นองค์ประกอบของ lactose synthase ซึ่งผลิตมาจาก Endoplasmic recticulum และถูกส่งมาที่ golgi body apparatus เนื่องจากการผลิต lactose ต้องอาศัย Mn+ และมี α-lactalbumin คอยกระตุ้นให้ปฏิกิริยาทำงานได้ ไม่เช่นนั้นการรวมตัวของ glucose กับ

galactose จะเกิดได้ช้า ปริมาณ Lactose ที่สังเคราะห์ได้ จะมีการเคลื่อนที่ผ่านเซลล์เข้าไปใน ภายในกระเปาะนม (alveolus) โดยกระบวนการ Osmotic pressure จากที่มีความเข้มข้นสูงในเซลล์ไปยังที่มีความเข้มข้นต่ำภายในกระเปาะนม ดังนั้นอัตราการสังเคราะห์ Lactose จะมีความสัมพันธ์กับเอนไซน์ lactose synthase และจะมีโครงสร้างของ α-lactalbumin (ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน) ประกอบอยู่ การปล่อยให้แม่โคขาดสารอาหารประเภทโปรตีนจึงจะมีผลการสังเคราะห์ Lactose ด้วย นอกเหนือจากการขาดพลังงาน ซึ่งมีส่วนโดยตรงต่อปริมาณ glucose ในเลือด ขณะเดียวกันการปล่อยให้แม่โคขาดน้ำกินก็มีส่วนทำให้การสร้าง Lactose ช้า เพราะต้องมีน้ำจากเซลล์ มาช่วยปรับสมดุลระหว่างเซลล์และภายใน alveolus เป็นผลให้มีการดึงน้ำเข้าสู่เซลล์เข้ามาในกอลไจ เพื่อรักษาแรงดันออสโมติก และมาเป็นส่วนประกอบของน้ำนม ขณะที่โคป่วยเต้านมอักเสบปริมาณของแล็กโทสในนมจะลดลงเพราะบางส่วนซึมกลับออกจาก alveolus เข้าไปยังเลือด โดยผ่านรอยต่อระหว่างเซลล์ในกระบวนการ Osmotic pressure ทำให้มีการปรับสมดุลกับในเลือด นอกจากนั้นก็เกิดจากการสังเคราะห์แล็กโทสลดลงโดยการเมื่อโคป่วยเต้านมอักเสบ

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าเมื่อระดับของ glucose ในเลือดเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการสังเคราะห์ lactose ทำให้ปริมาณน้ำนมสูงขึ้น (Nocek et al., 1991) อีกทั้งการเสริมน้ำมันปาล์มสามารถเพิ่มการเพิ่มระดับของ glucose ในเลือดได้โดยการกระตุ้นกระบวนการ gluconeogenesis ในตับโดยมี palmitic acid ที่มีในน้ำมันปาล์มเป็นตัวกระตุ้นการเกิดกระบวนการ (Blumenthal et al., 1983) โดยการสังเคราะห์ glucose ด้วยกระบวนการ gluconeogenesis มีดังนี้

2.8.2 กลูโคนีโอจินิซิส (Gluconeogenesis)

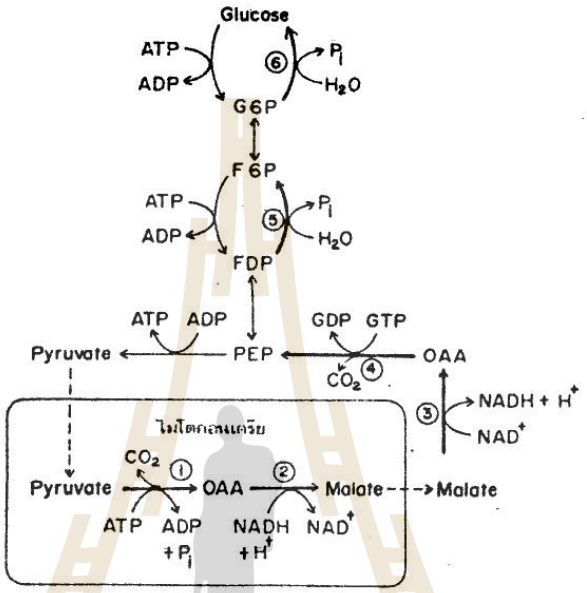
กลูโคนีโอจินิซิส คือกระบวนการสังเคราะห์กลูโคสจากสารที่ไม่ใช้คาร์โบไฮเดรต เช่น สังเคราะห์กลูโคสจากกรดแลคติค ไพรูเวท กลีเซอรอล หรือ จากตัวกลางต่างๆ ในวัฏจักรเครบส์ และ ไกลโคไลซิส เป็นต้น

การสังเคราะห์กลูโคสจากไพรูเวทการสังเคราะห์กลูโคสจากไพรูเวทเกิดขึ้นโดยการทบทวนปฏิกิริยาต่างๆของไกลโคไลซิส ยกเว้น ในบางปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยาไม่ทวนกลับ เซลจะต้องมีเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาที่ไม่ทวนกลับ เหล่านั้นอีกส่วนหนึ่ง

จากภาพ สามารถแบ่งปฏิกิริยาต่างๆ ออกเป็นสามตอน คือ

1) ปฏิกิริยาการเปลี่ยนไพรูเวทเป็นฟอสโฟอีนอลไพรูเวท (pyruvate PEP) ซึ่งต้องใช้เอนไซม์ถึงสี่ตัวปฏิกิริยาที่ 1 เอนไซม์ Pyruvate carboxylase จะเร่งปฏิกิริยาการรวมตัวของไพรูเวทกับ CO_2 ได้ Oxloacetate ซึ่งต้องใช้ ATP และไบโอติน (Biotin) เป็นโคเอนไซม์แล้ว Oxaloacetare จะถูกรีดิวซ์ NADH กลายเป็นมาเลท (Malate) โดยมีเอนไซม์ NAD+ - Malata dehydrogenase เป็นตัวเร่ง (ปฏิกิริยาที่ 2) เอนไซม์ทั้งสองนี้อยู่ในโมคอนเดรีย ดังนั้นไพรูเวทจากไซโตพลาสมจะซึมผ่านเข้าไมโตคอนเดรียก่อน แล้วมาเลทที่เกิดขึ้นจะผ่านออกจากไมโตคอนเดรียแล้วถูกออกซิไดซ์

กลับไปเป็น Oxaloacetate (ปฏิกิริยาที่ 3) โดยเอนไซม์ -Malate dehydrogenase ในโซโตพลาสม ต่อจากนั้น Oxaloacetate จะเสียคาร์บอนไดออกไซด์และพอสโฟริเลทโดย GTP ให้กลายเป็น PEP ในปฏิกิริยาที่ 4 โดยเอนไซม์ Phosphoenolpyruvatecarboxykinase



ภาพที่ 2.1 แสดงวิถีการสังเคราะห์กลูโคสจากไพรูเวท

2) ปฏิกิริยาการเปลี่ยนฟอสโฟอีนอลไพรูเวทเป็น Fructose-6-phosphate (PEP F6P) PEP ที่เกิดขึ้นจะสามารถทวนปฏิริยาต่างๆ ของไกลโคไลซิสจนได้ FDP จากนั้น FDP จะถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ Fructose-1, 6–diphosphatase กลายเป็น F6P เนื่องจากปฏิกิริยาของ phosphorfructo-kinase เป็นปฏิกิริยาไม่ทวนกลับ

3) ปฏิกิริยาการเปลี่ยน Fructose-6-phosphate ไปเป็นกลูโคส (F6P Glucose) F6P จะเปลี่ยนเป็น G6P ในปฏิริยาของ phosphoglucoisomeraseแล้วถูกไฮโดรไลซ์ให้เป็นกลูโคส ในปฏิกิริยาของ Glucose-6-phosphatase (ปฏิกิริยาที่ 6)

จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า Palmitic acid ที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มนั้นไม่เพียงแค่กระตุ้นการเพิ่มการสังเคราะห์กลูโคสในตับแต่ยังสามารถเพิ่มปริมาณไขมันในน้ำนมได้เนื่องจาก palmitic acid นั้นเป็นองค์ประกอบหลักของไขมันในน้ำนม อีกทั้งแหล่งของกรดไขมันที่ใช้ในการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนมนั้นมาจากทั้งอาหารและการสังเคราะห์ภายในตัวสัตว์โดยแหล่งของงกรดไขมันมีดังนี้

2.8.3 แหล่งของกรดไขมัน

ไขมันในน้ำนมถูกสังเคราะห์ในเนื้อเยื่อเซลล์ของเต้านม (mammary epithelial cells) ซึ่งได้กรดไขมันมาจาก 2 แหล่ง คือ ได้จากการสลายลิพิดที่อยู่ในเลือด (blood lipid) และสร้างขึ้นใหม่โดยเซลล์ของเต้านม (de novo synthesis)

1. Blood lipid : ประมาณ 40-60% ของไขมันที่มาจากเลือดได้มาจาก very low density lipoprotein (VLDL) ซึ่งสังเคราะห์จากล้าไส้เล็กและตับ โดย VLDL ประกอบด้วยลิพิด 90-95% (55-65% เป็นไทรกลีเซอไรด์) เป็นส่วนแกนหลัก และอีก 5-10% เป็นโปรตีนที่อยู่รอบๆ ผิว นอกจากนี้ยังได้มาจาก chylomicrons ซึ่งเป็นกรดไขมันย่อยจากลำไส้เล็กแล้วจับรวมตัวกัน ก็เป็นแหล่งของกรดไขมันสำหรับเซลล์เต้านมได้

ไทรกลีเซอไรด์ที่ได้จาก VLDL จะถูกย่อยที่เนื้อเยื่อของเซลล์เต้านม โดยเอนไซม์ lipoprotein lipase (LPL) ซึ่งสามารถย่อยได้ กรดไขมัน 1 ตัว, 2 ตัว หรือทั้ง 3 ตัวออกจากกลีเซอรอลได้ ผลที่ได้คือ กรดไขมันอิสระ และ diacylglycerides, monoacylglycerides หรือกลีเซอรอล ตามลำดับ ผลิตผลทั้งหมดนี้เนื้อเยื่อของเซลล์เต้านมสามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์ไทรกลีเซอไรด์ใหม่ได้ โดยปริมาณกรดไขมันที่ได้จาก VLDL และ chylomicrons นี้จะขึ้นอยู่กับลิพิดในอาหาร และไขมันที่สลาย (mobilized) จากไขมันที่สะสมในร่างกาย ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของอาหาร จะมีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนมโดยตรง ซึ่งถ้าให้อาหารที่มีไขมันสูง จะทำให้น้ำนมมีไขมันสูงไปด้วย ซึ่งต่างจากสัตว์กระเพาะรวม

2. De novo fatty acid synthesis : เนื้อเยื่อเซลล์เต้านมจะสังเคราะห์กรดไขมันสายสั้นและปานกลางได้ จากสารตั้งต้นที่ดูดซึมมาจากเลือด การสังเคราะห์นี้เกิดขึ้นในไซโทพลาสซึมของเนื้อเยื่อเซลล์เต้านม ในสัตว์กระเพาะรวมนั้น แหล่งของคาร์บอนสำหรับสังเคราะห์กรดไขมันได้จาก acetate เป็นหลัก และ β–hydroxybutyrate (BHBA) บ้างเล็กน้อย ส่วนในสัตว์กระเพาะเดี่ยวกลูโคสเป็นแหล่งของคาร์บอนในการสังเคราะห์กรดไขมัน และต้องสารพลังงานสูง (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate, $NADPH_2$) มาเป็นตัวรีดิวซ์ สำหรับถ่ายเทอิเล็กตรอน มีเอนไซม์ 2 ชนิดเกี่ยวข้อง คือ acetyl-CoA carboxylase สำหรับจำกัดการสังเคราะห์กรดไขมัน และเอนไซม์ที่กระตุ้นการต่อความยาวของกรดไขมัน คือ fatty acid synthetase

หลังจากนั้นกรดไขมันที่สังเคราะห์จำนวน 3 โมเลกุล จะรวมตัวกับกลีเซอรอลที่สร้างมาจากกลูโคส เกิดเป็นโมเลกุลไขมันขนาดต่างๆ จากนั้นจะเกิดมีเยื่อหุ้มบางๆ หุ้มล้อมรอบไขมันเกิดเป็นเม็ดไขมัน (Fat globule) และถูกขับออกมาเก็บไว้ในช่องว่างของอัลวีโอลัย

2.8.4 การสร้างไขมันในน้ำนม

ไขมันน้ำนมเรามักเรียกเฉพาะว่า milk fat หรือ butter fat ซึ่งไขมันนมนี้จะมีลักษณะเฉพาะคือเป็นไตรกลีเซอไรด์ผสม (mix triglycerides หรือ triacylglycerols หรือ tri-

acylglycerides) มีในสัดส่วน 97-98% ของไขมันทั้งหมดในนม ที่เหลือจะเป็น lipid ที่อยู่ในรูป phospholipids (2-3%)

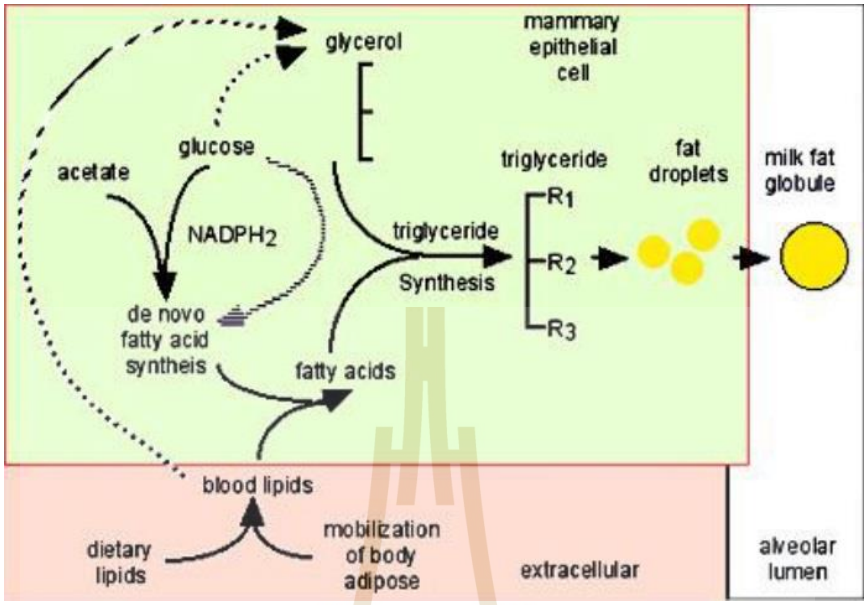
ไขมันน้ำนมมีคุณสมบัติดังนี้

1. มี short-chain fatty acid (C4-C14) มากกว่า Long-chain fatty acid (C16-C20) กว่าครึ่งหนึ่ง จึงทำให้ ไขมันนมมีความหอม ที่เรียกว่า “หอมมันเนย”

2. เกิดจากการรวมตัวกันของ fatty acid กับ glycerol ทำให้เป็น triglyceride.

การสังเคราะห์ไขมันนมในสัตว์สัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องจะผลิต fatty acids โดยใช้ glucose เป็นสารตั้งต้นผ่านขบวนการ glycolysis ได้เป็นสารตัวกลาง acetyl CoA และ oxaloacetate แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะไม่สามารถใช้ acetyl CoA ที่มาจาก glucose ใน mitochondria ได้ ดังนั้นสารตั้งต้นจึงมาจาก 2 แหล่งคือ หนึ่งจากแหล่งอาหารที่โคกินเข้าไป แล้วย่อยสลายสารอาหารดังกล่าวให้กลายเป็น volatile fatty acid (VFA) ที่สำคัญ 2 ชนิดคือ acetic และ .-hydroxy-butyric acids (BHBA) โดย BHBA จะนำมาใช้สังเคราะห์ fatty acids สายสั้นๆ ใน secretory cell โดยใช้ผ่าน acetyl CoA ส่วน acetic acids จะนำมาใช้สร้าง short-chain fatty acids (C4-C14) แหล่งที่สองเป็นไขมันโดยตรงที่มาจากอาหารหรือมาจากจุลินทรีย์สร้างขึ้นซึ่งจะได้รับการดูดซึมที่ลำไส้ในรูป triglyceride และพบในกระแสเลือดในรูป chylomicron และ low-density lipoprotein จากนั้นจะถูก hydrolyze ที่ผนังเส้นเลือดฝอยกลายเป็น fatty acids, glycerol, monoacylglycerol นอกจากนั้นร่างกายโคสามารถสลายเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) เผาผลาญให้ได้เป็น free fatty acid สมทบในกระแสเลือดได้ด้วย Secretory cell จะใช้ fatty acids เหล่านี้มาสังเคราะห์เป็น long-chain fatty acids ในน้ำนม (มากกว่า C14 เช่น C16 (palmitic), C18 (stearic, oleic, linoleic acids)

การสังเคราะห์ของ fatty acids และ glycerol อาจจะเกิดใน mitochondria แต่ส่วนใหญ่จะเกิดใน cytoplasm แล้วกลายเป็น triglyceride ที่ rough endoplasmic recticulum(RER) จากการรวมตัวของ fatty acid 3 โมเลกุลกับ glycerol 1 โมเลกุล ต่อจากนั้น triglyceride จะรวมกันเป็นอณูเล็กที่เรียกว่า fat globule ซึ่งเป็นลักษณะของเม็ดไขมันที่ถูกหุ้มด้วยเยื่อบางๆ เม็ดไขมันเหล่านี้จะเคลื่อนตัวต่อไปยังผิวเซลล์และหลุดออกจากเซลล์เข้าไปในช่องของกระเปาะถุงเก็บนม (alveolus) (ภาพที่ 9.5 และ 9.6) เชื่อว่ากว่าครึ่งหนึ่งของไขมันน้ำนมเป็นชนิด long-chain fatty acids ซึ่งสร้างมาจากสารตั้งต้นในเลือด และจะพบในรูป C18 มากที่สุด พบ C16 ประมาณหนึ่งในสามของไขมันน้ำนมทั้งหมด ปริมาณไขมันน้ำนมในโคที่ให้นมน้อยมีแนวโน้มเข้มข้นกว่าโคที่ให้น้ำนมมาก ในขณะที่โคป่วยเป็นโรคเต้านมอักเสบ การสร้างน้ำนมจะลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงของไขมันไม่แน่นอน



ภาพที่ 2.2 การสังเคราะห์กรดไขมันในน้ำนม

ที่มา : http://classes.aces.uiuc.edu/AnSci308/Milkcompsynth/overviewfatx.jpg

จากข้างต้น ถึงแม้ว่าการเติมไขมันในอาหารสามารถเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานได้ แต่ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่จำกัดการใช้ในปริมาณมากๆ (Palmquist, 1994) ไขมันในอาหารจะถูก hydrolysis ในกระเพาะหมักสูงมาก (85-95%) ซึ่งจะทำให้การย่อยได้เยื่อใยลดลง (Devendra and Lewis, 1974) และส่งผลถึงการกินได้ที่ลดลงด้วย (Allen, 2000) และ ตามคำแนะนำของ NRC (2001) อาหารของโคนม (ส่วนผสมของอาหารข้นและอาหารหยาบ) จะมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 3% และไขมันในอาหารทั้งหมดไม่ควรเกินกว่า 6-7% ของวัตถุแห้ง Palmquist and Jenkins (1980) กล่าวคือการเสริมไขมัน 3-5% ของวัตถุแห้งอาหารทั้งหมด มีผลในการเพิ่มผลผลิตน้ำนม ในขณะที่เมื่อเสริมไขมันเกินกว่า 6% ของวัตถุแห้งอาหารทั้งหมด อาจทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง (Jenkins and Palmquist, 1984)

2.8.5 การสังเคราะห์โปรตีนนม (Milk Protein Synthesis)

น้ำนมมีโปรตีนหลายชนิด โปรตีนเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นเฉพาะในเต้านมเท่านั้น จึงไม่สามารถพบได้ในเนื้อเยื่อชนิดอื่นๆ โปรตีนนมโดยเฉพาะ เคซีน (casein) นั้น มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของลูกอ่อน นอกจากนี้ยังมีโปรตีนชนิดอื่น ได้แก่ โปรตีนที่เป็นเอนไซม์ โปรตีนที่มีบทบาทในการขนส่ง โปรตีนที่มีบทบาทในการต้านทานโรค (อิวมิวโนโกลบูลินและอื่นๆ) รวมทั้งโกรธแฟคเตอร์ เป็นต้น โปรตีนในน้ำนมที่พบมากที่สุดคือเคซีน ในน้ำนมของสัตว์ส่วนใหญ่จะมีเคซีนอยู่ประมาณ 3-4 ชนิด โดยเคซีนแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างที่เหมือนกันแต่ มีน้ำหนัก

โมเลกุลที่แตกต่างกันนอกเหนือไปจากเคซีนแล้วจะเรียกโปรตีนที่เหลือทั้งหมดว่าเวย์โปรตีน (whey protein) เวย์โปรตีนหลักในน้ำนมโคคือ β-lactoglobulinและ α-lactalbumin ซึ่งโปรตีนเหล่านี้ล้วนถูกสังเคราะห์ขึ้นที่เซลล์ผลิตน้ำนมของเต้านมเท่านั้น สารตั้งต้น (Precursors) ในการสังเคราะห์โปรตีน คือ กรดอะมิโนที่ถูกส่งมายังต่อม สร้างน้ำนมทางกระแสโลหิต ต่อมสร้างน้ำนมจะดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acids) อย่างเพียงพอต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นในน้ำนมแต่ในบางครั้งอาจดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็นเกินกว่าความต้องการ ส่วนที่เกินจะถูกนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Nonessential amino acids) และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์น้ำนมกรดอะมิโนที่จำเป็น โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีกำมะถัน (Sulphur) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยมากกว่าร้อยละ 60 จะถูกดูด ซึมโดยต่อมสร้างน้ำนมในขณะที่ไหลผ่านมาตามกระแสเลือด ถ้ากรดอะมิโนเหล่านี้มีไม่เพียงพอจะ มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนมหรือแม้กระทั่งมีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม สำหรับการดูดซึมกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นโดยต่อมสร้างน้ำนมนั้นไม่ค่อยแน่นอนในบางขณะจะดูดซึม มากกว่าความต้องการในการสังเคราะห์น้ำนม แต่ในบางโอกาสอาจขาดอย่างมาก (Holmes and Wilson, 1984) กรดอะมิโนจะถูกดูดซึมจากกระแสเลือดเขาสู่ต่อมสร้างน้ำนมโดยผ่านกลไกที่ เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ แอลฟา-กูลตานีลทรานเปปติเดส (α-glutanyltranpeptidae) และโปรตีนใน น้ำนมจะถูกสังเคราะห์โดยไรโบโซม (Ribosomes) ที่อยู่บนเอนโดพลาสมิคเรติคูลัม (Endoplasmic reticulum) (Holmes and Wilson, 1984) การใช้กรดอะมิโนในเต้านมจะขึ้นอยู่กับ 1) ระดับของกรดอะมิโนในกระแสเลือด 2) กลไกการนำกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์เต้านม 3) เมทาบอลิซึมของกรดอะมิโนภายในเซลล์ ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยนี้ต่างขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มาควบคุมอีกต่อหนึ่ง เช่น ระดับของกรดอะมิโนในเลือดจะขึ้นกับ อาหาร สรีรวิทยาของสัตว์ กลไกลการนำกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์เต้านมซึ่งอาจมีหลายกลไกและมี ความจำเพาะต่อกรดอะมิโนแต่ละชนิดในการนำกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์เต้านมและเมทาบอลิซึมของ กรดอะมิโนภายในเซลล์จะมีความซับซ้อนมากกว่าการสร้างโปรตีนนม ยกตัวอย่างเช่น การนำเข้า กรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็นแต่ละชนิดจะใช้เวลาไม่เท่ากัน หากไม่สามารถนำเข้าเซลล์ได้จะมีผลต่อ ปริมาณโปรตีนนม กรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น lys, met, phy, tyr, trp หากนำเข้า 1 หน่วยจะปรากฏ ในน้ำนม : 1 หน่วย ในขณะที่กรดอะมิโนชนิดอื่น (กลุ่ม blanched chain amino acid และ arginine) จะถูกนำเข้าเซลล์เต้านมเป็นจำนวนมากกว่าที่จะนำไปสร้างโปรตีนนม เชื่อกันว่ากรดอะมิโนที่นำเข้าเกินเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานภายในเต้านม เป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน สำหรับการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น หลังจากเข้าสู่เซลล์แล้วกรดอะมิโนจะถูกนำไปใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ 1) สร้างโปรตีนนมภายใต้กระบวณการ mRNA-directed polymerization 2) เข้าสู่ปฏิกิริยาทางเมทาบอลิซึมได้เป็น CO_2, Urea, Polyamine และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น 3) ยังคงอยู่ภายในเซลล์ในรูปของโปรตีนโครงสร้างของเซลล์และเอนไซม์ และ 4) ผ่านเซลล์ไปโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ทั้งสิ้น การ

สังเคราะห์น้ำนมอาจจะถูกจำกัดด้วยปริมาณของกรดอะมิโนบางชนิด โดยเฉพาะเมทไธโอนีน (Methionine) อย่างไรก็ตาม ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ฮีสติดีน (Histidine) ไลซีน (Lysine) และทรีโอนีน (Threonine) อาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำนมด้วย ทั้งนี้มีรายงานว่าการเสริมกรดอะมิโนให้ไหลผ่านกระเพาะหมักและให้ไปย่อยในลำไส้เล็กสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้ กลไกการทำงานของกรดอะมิโนต่อผลผลิตน้ำนมยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเป็นไปได้ว่า เป็นการเพิ่มปริมาณของกรดอะมิโนให้กับต่อมสร้างน้ำนม หรือกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นนี้อาจไปกระตุ้นการปลดปล่อยฮอร์โมนที่มีหน้าที่กระตุ้นการกลั่นสร้างน้ำนม (Holmes and Wilson, 1984)

2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม

การให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมหลังคลอด ในช่วงแรกโคจะให้ผลผลิตน้ำนมไม่สูง และจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่สูงสุด (peak of lactation) ซึ่งจะมีระยะเวลาประมาณ 3-6 สัปดาห์แต่โคที่ให้นมมากจะมีระดับสูงสุดนานกว่านี้จากนั้นปริมาณน้ำนมจะลดลงอย่างช้าๆ อัตราการลดลงของน้ำนมจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการให้นมทน (milk persistency) ของโคแต่ละตัว (ชวนิศน ดากร วรวรรณ, 2534) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพันธุกรรม และการเลียงดูการให้อาหารด้วย โดยปกติระยะเวลาการให้นมของโคประมาณ 305 วัน และมีระยะเวลาการพักการให้นม (dryperiod) ประมาณ 60 วัน องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม จะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการให้นมในทางตรงกันข้ามกับปริมาณน้ำนม คือ โคที่ให้น้ำนมลดลง แต่คุณภาพน้ำนมจะสูงขึ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์ไขมันจะเปลี่ยนแปลงมาก เปอร์เซ็นต์โปรตีนจะเปลี่ยนแปลงตามไขมัน ส่วนเปอร์เซ็นต์แล็คโตสในน้ำนมนั้นค่อนข้างคงที่ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่

2.9.1 ปัจจัยทางสสรีรวิทยา

เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำนม ซึ่งมีทั้งที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรมและไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม

2.9.1.1 ลักษณะทางพันธุกรรม โคนมในแต่ละพันธุ์นั้น จะมีลักษณะการให้ผลผลิตน้ำนมที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โคนมพันธุ์โฮลสไตล์ฟรีเชี่ยนเป็นโคที่มีการให้ผลผลิตน้ำนมในปริมาณที่สูงกว่าโคทุกสายพันธ์แต่มีข้อด้อย คือ เปอร์เซ็นต์ของของแข็งรวมในน้ำนมต่ำ โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์ไขมันนม (3.7%) โคนมพันธุ์เจอร์ซี่เป็นโคพันธุ์เล็กให้ปริมาณน้ำนมปานกลาง และเปอร์เซ็นต์ไขมันนมสูง (4.9%) ซึ่งสูงกว่าโคทุกพันธุ์ (ฉลอง วชิราภากร, 2546) สำหรับองค์ประกอบน้ำนมของโคนมที่เลี้ยงในประเทศไทยนั้น ประวีร์วิชชุลตา ณิฐิมา เฉลิมแสน และสุทธิศักดิ แก้วแกมจันทร์ (2546) พบว่าค่าเฉลี่ยของไขมัน โปรตีน น้ำตาลแล็คโตส ของแข็งพร่องไขมัน (SNF) และของแข็งรวมไขมัน (TS) คือ 3.95 3.19 4.5 8.76 และ 12.68% ตามลำดับ แต่การปรับปรุงพันธุ์โคนม

ที่ให้ผลผลิตมากๆ นั้นเป็นไปได้ช้าเพราะค่า Heritability ของการให้นมมีค่า เท่ากับ 0.3 ซึ่งเป็นค่าความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมที่ต่ำ

2.9.1.2 อายุโคสาวจะสามารถเริ่มให้น้ำนมได้เมื่ออายุประมาณ 2-3 ปี ซึ่งร่างกายยังไม่โตเต็มที่ ทั้งนี้รวมไปถึงอวัยวะอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างน้ำนมด้วย ดังนั้นปริมาณน้ำนมที่โคสาวให้จะต่ำกว่าโคที่เจริญเติบโตมากกว่า เมื่อโคให้นมครั้งต่อไปขนาดของโคใหญ่ขึ้นอวัยวะต่างๆ เจริญขึ้นโคจะให้นมมากขึ้นตามลำดับ จนกว่าจะโตเต็มที่เมืออายุประมาณ 6 ปี การให้นมของโคจะสูงสุดเมื่อมีอายุประมาณ 6-7 ปี จากนั้นปริมาณน้ำนมจะลดลงเรื่อยๆ ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมัน และของแข็งพร่องไขมัน (SNF) ในน้ำนมจะลดลง

2.9.1.3 วงรอบของการเป็นสัด และการตั้งท้องในขณะที่โคแสดงอาการการเป็นสัดจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมลดลง เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมน และปริมาณการกินได้ของโคลดลง โคที่อยู่ในระหว่างการเป็นสัด จะมีความอยากอาหารน้อย และโคมีความกระวนกระวายมาก และไม่ค่อยสนใจกินอาหาร ดังนั้น ปริมาณน้ำนมที่ได้จากโคจะลดลงจนกว่าโคจะผ่านช่วงของการเป็นสัดและกลับมากินอาหารได้ตามปกติ ปริมาณน้ำนมจึงจะเพิ่มขึ้นเท่าเดิม ในแง่ของการจัดการจึงควรคัดแยกโคที่เป็นสัดออกอยู่อีกกลุ่มหนึ่ง เพื่อลดปัญหาการรบกวนกับโคในฝูง โคที่ตั้งท้องจะมีผลทำให้ผลผลิตของน้ำนมลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงปลายของการตั้งท้อง (5 เดือนขึ้นไป) ปริมาณน้ำนมลดลงได้ถึง 20% ที่อายุการตั้งท้อง 225 วัน ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากโภชนะบางส่วนถูกนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อนและขนาดของลูกโคในท้องแม่โคจะมีผลต่อช่องว่างในท้องหรือความจุของกระเพาะแม่โค หรือจำกัดปริมาณการกินอาหาร และยังมีสาเหตุมาจาการเปลี่ยนแปลงระดับของฮอร์โมนในกระแสเลือดในแม่โคที่ตั้งท้องอยู่ในระยะปลายใกล้คลอดจะมีเอนไซม์ออกซีโทซิเนส (Oxytocinase) มากขึ้น และจะไปทำลายฮอร์โมนออกซีโทซิน โดยเป็นตัวกระตุ้นการปล่อยฮอร์โมนโปรแลคติน จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2538) โดยเฉพาะก่อนคลอดประมาณ 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นผลให้โคมีปริมาณน้ำนมที่ลดต่ำลง

2.9.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม

2.9.2.1 อุณหภูมิและความชื้น มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตน้ำนมมาก อากาศร้อนจะทำให้โคให้นมลดลงเพราะโคกินอาหารได้ลดลง อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงโคคือ 4.4-23.9 องศาเซลเซียส ถ้ามีอุณหภูมิต่ำกว่า 4.4 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนม แต่โคมีความต้องการอาหารเพิ่มขึ้น และถ้ามีอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส จะมีผลให้ปริมาณน้ำนมลดลง แต่องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจะสูงขึ้น และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 23.9 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณน้ำนมลดลงมาก แต่การลดลงของปริมาณน้ำนมมีผลทำให้ไขมนในน้ำนมสูงขึ้น ส่วนการกินน้ำ อุณหภูมิของร่างกายและอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้น

2.9.2.2 ฤดูกาล มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม โดยปกติโคจะกินอาหารได้มากเมื่อมีอากาศหนาวเย็น และจะให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น ฤดูฝนเป็นเวลาที่โคจะให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่าฤดูกาลอื่นๆ เพราะโคจะได้รับอาหารที่อุดมสมบูรณ์ ซึ่งเป็นผลทางอ้อมในการให้นม และมีอากาศเย็น ส่วนในฤดูร้อนโคจะให้นมน้อยลง

2.9.2.3 ระยะพักการให้นม (Dry period) จะทำให้สภาพของโคเมื่อคลอดลูกสมบูรณ์และทำให้ปริมาณน้ำนมที่โคผลิตได้สูงสุด โดยโคจะใช้อาหารที่สะสมไว้ในร่างกายมาสร้างเป็นองค์ประกอบของน้ำนม โคควรมีระยะพักการให้นมไม่เกิน 60 วัน ถ้าโคนมมีระยะพักนานเกินไป จะมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมทั้งหมดลดลง แต่ถ้ามีระยะพักการให้นมน้อยเกินไป ก็ทำให้ผลผลิต น้ำนมลดลงเช่นกัน Smith and Dodd (1966) พบว่าโคที่ไม่ได้มีระยะพักการให้นมจะทำให้ผลผลิต น้ำนมต่ำกว่าโคที่มีระยะพักการให้นม 56-62 เปอร์เซ็นต์

2.9.2.4 การรีดนม ปกติการรีดนมมักจะทำกันวันละ 2 ครั้ง เช้า และเย็น และระยะห่างไม่ค่อยเท่ากันคือไม่ทุก 12 ชั่วโมง โดยที่ระยะช่วงเย็นถึงเช้าจะนานกว่าระยะช่วงเช้าถึงเย็น ช่วงระยะเวลาที่ยาวกว่าจะได้ปริมาณน้ำนมสูงกว่า แต่องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจะต่ำกว่า คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันจะต่ำกว่าในช่วงระยะเวลาที่สั้นกว่า นอกจากนั้นจำนวนครั้งของการรีดนมก็มีผลต่อปริมาณน้ำนม เช่น การรีดนม 3 ครั้งต่อวัน จะได้ปริมาณน้ำนมสูงกว่าการรีด 2 ครั้งต่อวัน การรีดนมไม่หมดเต้ามีผลทำให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง เนื่องจากน้ำนมที่ค้างอยู่ในเต้าเป็นน้ำนมที่มีไขมันสูง การที่น้ำนมค้างเต้าเป็นระยะเวลาหลายวันจะทำให้ผลผลิตของน้ำนมลดลงและเปอร์เซ็นต์ไขมันเพิ่มขึ้น

2.9.2.5 อาหารและการให้อาหาร โภชนะที่ใช้ในการสร้างน้ำนมมาจาก 2 แหล่ง คือ จากอาหารที่กินและอาหารสะสมในร่างกาย ทั้งสองแหล่งจะมีผลต่อปริมาณสารอาหารที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำนม จากรูปแบบของการให้น้ำนมโคตลอดช่วงการรีดนมนั้น จะต้องมีการปรับความต้องการอาหารของโคให้สอดคล้องกับระยะของการให้ผลผลิต รวมถึงการปรับปรุงแบบการจัดการจ่ายอาหาร ชนิดอาหาร ความถี่ในการจ่ายอาหาร เพื่อให้โคนมได้รับปริมาณสิงแห้งรวมอย่างเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย เนื่องจากปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้มีผลมาจากระดับของโภชนะที่ได้รับ ถ้าได้รับโภชนะต่ำกว่าปกติจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้และน้ำตาลแล็คโตสในน้ำนมลดลงอย่างชัดเจน แต่ถ้าได้รับโภชนะสูงกว่าปกติ ปริมาณน้ำนมจะสูงขึ้นไม่มากนัก ความสำคัญของสูตรอาหารมีอิทธิพลน้อยกว่าวิธีการจัดการจ่ายอาหาร ถ้าจ่ายอาหารให้โคได้รับอย่างไม่เพียงพอจะมีผลกระทบทันทีต่อผลผลิตน้ำนม การจำกัดปริมาณการกินอาหารก็มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำนมเช่นเดียวกัน โครีดนมจะมีอัตราการกินปริมาณสิ่งแห้ง 3-4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวโค อาหารสะสมในร่างกายจะช่วยให้โค มีความทนทานต่อการให้ผลผลิต ช่วยให้อัตราการลดลงของน้ำนมต่ำกว่าร้อยละ 10 ต่อเดือน ในการให้อาหารข้นแก่โคปริมาณสูง และให้อาหารหยาบใน

ปริมาณที่ต่ำ จะมีผลทำให้ไขมันในน้ำนมนั้นลดต่ำลง ถ้าโคได้รับอาหารหยาบน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอาหารที่ได้รับทั้งหมด จะมีผลทำ ให้ไขมันในน้ำนมลดลงเหลือเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการกินอาหารโคต้องได้รับอาหารหยาบไม่น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จึงจะทำให้ปริมาณไขมันในน้ำนมไม่ลดลงซึ่งในการศึกษาของ Dhiman, Klrinmans, Tessmann, Radloff and Satter (1995) ได้ศึกษาถึงสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น พบว่าเมื่ออาหารหยาบสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของโคลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ (MacLeod and Wood, 1972)

2.10 เอกสารอ้างอิง

ฉลอง วชิราภากร. (2546). การจัดการด้านอาหารโคนมต่อผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม. ในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการโคนม พ.ศ. 2546. (หน้า 14-32). ขอนแก่น: ขอนแก่นการพิมพ์.

ชวนิศนดากร วรวรรณ. (2534). การเลี้ยงโคนม. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพาณิชย์.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2538). เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการผลิตโคนม. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Allen, M.S. (2000). Effect of diet on short term regulation of feed in take by lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. 83:1598-1624

Ambasankar, K., and Balakrishnan, V. (2011). Influence of protected sardine oil on in vitro rumen fermentation and nutrient digestibility of complete diet. **Indian Journal of Animal Sciences.** 81: 84-86.

Bell, A. W. (1995). Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. **Journal of Animal Science.** 73: 2804-2819.

Bines, J., Brumby, P., Storry, J., Fulford, R. J., and Braithwaite. G. (1978). The effect of protected lipids on nutrient intakes, blood and rumen metabolites and milk secretion in dairy cows during early lactation. **The Journal of Agricultural Science.** 91: 135-150.

Chalupa, W. (1986). Ruminal fermentation in vivo as influenced by long-chain fatty acids. **Journal of Dairy Science**. 69: 1293-1301.

Chilliard, Y. (1993). Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: a review. **Journal of Dairy Science**. 76: 3897-3931.

Devendra, C., and Lewis. D.(1974).The interaction between dietary lipids and fiber in the sheep 2. Digestibility studies. **Animal Production.** 19: 67-76.

Drackley, J. K. (1999). Biology of Dairy Cows During the Transition Period: the Final Frontier. **Journal of Dairy Science.** 82: 2259-2273.

Dhiman, T.R., Klrinmans, J., Tessmann, N. J., Radloff, H. D., and Satter. L. D. (1995). Digestion and energy balance in lactating dairy cows fed varying ratios of alfalfa silage and grain. **Journal of Dairy Science**. 78: 330.

Ekeren, P., Smith, D. R., Lunt, D., and Smith, S. (1992). Ruminalbiohydrogenation of fatty acids from high-oleate sunflower seeds. **Journal of Animal Science.** 70: 2574-2580

Elliott, J., Drackley, J., Aldrich, C., and Merchen, N. (1997). Effects of saturation and esterification of fat sources on site and extent of digestion in steers: ruminal fermentation and digestion of organic matter, fiber, and nitrogen. **Journal of Animal Science.** 75: 2803-2812.

Elliott, J., Drackley, J., Beaulieu, A., Aldrich, C., and Merchen, N. (1999). Effects of saturation and esterification of fat sources on site and extent of digestion in steers: digestion of fatty acids, triglycerides, and energy. **Journal of Animal Science**. 77: 1919-1929.

Elmeddah, Y., Doreau, M., and Michalet-Doreau, B. (1991). Interaction of lipid supply and carbohydrates in the diet of sheep with digestibility and ruminal digestion. **The Journal of Agricultural Science**. 116: 437-445.

Grummer, R. R. (1988). Influence of prilled fat and calcium salt of palm oil fatty acids on ruminal fermentation and nutrient digestibility. **Journal of Dairy Science**. 71: 117-123.

Holmes, C. W., and Wilson, G. F. (1984). **Milk Production from Pasture**. Butterworths Agricultural Books, Wellington, New Zealand. 319 p.

Jenkins, T. (1998). Fatty acid composition of milk from Holstein cows fed oleamide or canola oil. **Journal of Dairy Science**. 81: 794-800.

Jenkins, T. (1999). Lactation performance and fatty acid composition of milk from Holstein cows fed 0 to 5% oleamide. **Journal of Dairy Science**. 82: 1525-1531.

Jenkins, T., and Palmquist, D. (1982). Effect of added fat and calcium on in vitro formation of insoluble fatty acid soaps and cell wall digestibility. **Journal of Animal Science.** 55: 957-963.

Jenkins, T., and Palmquist, D. (1984). Effect of fatty acids or calcium soaps on rumen and total nutrient digestibility of dairy rations. **Journal of Dairy Science**. 67: 978-986.

Kadegowda, A. K. G., L. S. Piperova, P. Delmonte, and R. A. Erdman.2008. Abomasal infusion ofbutterfat increases milk fat in lactatingdairy cows. J. Dairy Sci. 91: 2370-2379.

Longuski, R. A., Ying, Y., and Allen, M. S. (2009). Yeast culture supplementationprevented milk fat depression by a short-term dietarychallenge with fermentable starch . **Journal of Dairy Science**. 92: 160-167.

Lock, A. L., Preseault, C. L., Rico, J. E., DeLand, K. E., and Allen, M. S. (2013). Feeding a C16:0-enriched fat supplement increased theyield of milk fat and improved conversion of feed to milk. **Journal of Dairy Science**. 96: 6650-6659.

Loften, J.R., Linn , J. G., and Drackley, J. K. 2014. Palmitic and stearic acid metabolism in lactating dairycows. **Journal of Dairy Science**. 97: 4661-4674.

Lundy, F., Block, E., Bridges, W., Bertrand, J., and Jenkins, T. (2004). Ruminalbiohydrogenation in Holstein cows fed soybean fatty acids as amides or calcium salts. **Journal of Dairy Science**. 87: 1038-1046.

McAllan, A., Knight, R., and Sutton, J. (1983). The effect of free and protected oils on the digestion of dietary carbohydrates between the mouth and duodenum of sheep. **British Journal of Nutrition**. 49: 433-440.

MacLeod, G. K., and Wood, A. S. (1972). Influence of amount and degree of saturation of dietary fat on yield and quality of milk. **Journal of Animal Science.** 55: 439.

Mosley, S. A., Mosley, E. E., Hatch, B., Szasz, J. I., Corato, A., and Zacharias, N. (2007). Effect of varying levels of fatty acids from palm oil on feed intake and milk production in holstein cows. **Journal of Dairy Science**. 90: 987-993

Naik, P. K., Saijpaul, S., and Rani, N. (2007). Preparation of rumenprotected fat and its effect on nutrient utilization in buffaloes.Indian **Journal of Animal Nutrition**. 24(4): 212-15.

Naik, P. K., Saijpaul, S., and Rani. N., (2007). Evaluation of rumen protected fat prepared by fusion method. **Animal Nutrition and Feed Technology.** 7: 95-101.

National Research Council. (2001). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 7th revised edition. National Academy of Sciences**.** Washington, DC.

Ohajuruka, O., Wu, Z., and Palmquist, D. (1991). Ruminal metabolism, fiber, and protein digestion by lactating cows fed calcium soap or animal-vegetable fat. **Journal of Dairy Science**. 74: 2601-2609.

Pattaraporn Taspong. (2014). **Ruminant Production, Lactation and Milk Secretion**. Agricultural Science. Naresaun University.

Palmquist, D., and Jenkins, T. (1980). Fat in Lactation Rations 1, 2: Review. **Journal of Dairy Science**. 63: 1-14.

Palmquist, D. L. (1994). The role of dietary fats in efficiency of ruminants. **Journal of Animal Nutrition**. 124: 1377S-1382S.

Palmquist, D. (1991). Influence of Source and Amount of Dietary Fat on Digestibility in Lactating Cows 1, 2. **Journal of Dairy Science**. 74: 1354-1360.

Piantoni, P., Lock, A. L., and Allen, M. S. (2013). Palmitic acid increasedyields of milk and milk fat and nutrient digestibility acrossproduction level of lactating cows. **Journal of Dairy Science**. 96:7143-7154.

Rico ,E.D., Ying , Y., and Harvatine. K. J., (2014). Effect of a high-palmitic acid fat supplement on milkproductionand apparent total-tract digestibility in high- and low-milk yield dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 97 :3739-3751.

Schauff, D., and Clark, J. (1992). Effects of feeding diets containing calcium salts of long-chain fatty acids to lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 75: 2990-3002.

Smith, G. H., and Dodd, F. H. (1966). Effect of milking throughout pregnancy on milk yield in the succeeding lactation. **Journal of Dairy Science**. 46: 204.

Smith, W., Harris, B., Van Horn, H., and Wilcox, C. (1993). Effects of forage type on production of dairy cows supplemented with whole cottonseed, tallow, and yeast. **Journal of Dairy Science.** 76: 205-215.

West, J., and Hill, G. (1990). Effect of a protected fat product on productivity of lactating Holstein and Jersey cows. **Journal of Dairy Science**. 73: 3200-3207.

บทที่ 3
ผลของการใช้ Calcium salt of palm oil fatty acid ต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนมของโคนม

3.1 บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของการทดลองนี้เพื่อศึกษาผลของการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนมของโครีดนม ใช้โครีดนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน (87.5%) จำนวน 24 ตัว (ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ยต่อวัน 15.4 ± 3.75 กิโลกรัม; จำนวนวันให้นมเฉลี่ย 93 ± 27 วัน; น้ำหนักตัวเฉลี่ย 369 ± 40 กิโลกรัม) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มบล็อคสมบูรณ์ (Randomized complete block design; RCBD) โคแต่ละตัวได้รับอาหาร ที่ เอ็ม อาร์ 15.4% โปรตีน กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหาร ที เอ็ม อาร์ โดยไม่มีการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหาร ที เอ็ม อาร์ เสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 150 กรัม/วัน และ กลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหาร ที เอ็ม อาร์ เสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วัน ใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด 40 วัน โดย 10 วันแรกเป็นระยะปรับตัว ผลการศึกษาพบว่าการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบนม ผลผลิตองค์ประกอบของน้ำนม และการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ($P>0.05$) แต่อย่างไรก็ตามการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมลดลง ($P<0.05$)

3.2 คำนำ

ในอดีตเมื่อเกษตรกรประสบปัญหาผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนมต่ำ ได้มีการใช้ไขมันเป็นแนวทางการแก้ปัญหา แต่เนื่องจากไขมันนั้นจะส่งผลให้การหมักย่อยในกระเพาะหมักลดลง (Devendra and Lewis., 1974) แต่ในปัจจุบันได้มีการใช้ไขมันไหลผ่านแทนการใช้ไขมันธรรมดา โดยที่บทบาทของไขมันไหลผ่านในอาหารโคนมที่ให้ผลผลิตสูง มีความสำคัญอย่างมากในการเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานในอาหาร ไขมันไหลผ่านคือไขมันจากอาหารที่ไม่ถูกไลโพไลสิส (lipolysis) และไบโอไฮโดรจีเนท (bio-hydrogenate) ในกระเพาะหมักโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แต่จะถูกย่อยในกระเพาะส่วนล่าง หรือที่รู้จักกันในชื่อ bypass fat หรือ rumen protected fat หรือ

inert fat ในบรรดาไขมันไหลผ่านรูปแบบต่างๆ calcium salts of long chain fatty acids (Ca-LCFA) จะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักน้อยกว่า แต่จะถูกย่อยในลำไส้มากที่สุด และยังเป็นแหล่งเสริมของแคลเซียมอีกด้วย ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างง่ายๆ ต้นทุนต่ำ ในการเตรียม bypass fat โดยใช้กรดไขมันจากพืช เช่น น้ำมันปาล์มและเป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันโดยเรียกว่า calcium salt of palm oil fatty acid (Ca-POFA) อีกทั้ง Ca-POFA ยังมีอัตราการใช้ประโยชน์ได้สูงเนื่องจากไขมันจะอยู่ในรูป fatty acid สัตว์สามารถดูดซึมและใช้ประโยชน์ได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการย่อยอีก อาหารของโคที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูงควรมีไขมันอยู่ 4.6% และควรมีไขมันจากอาหารตามธรรมชาติ เมล็ดพืชน้ำมัน และ bypass fat ในสัดส่วนที่เท่ากัน บางรายงานนักวิจัยพบว่าการเสริมของ Ca-POFA เพิ่มผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของไขมันนมในโคนมหลังคลอด (Kadegowda et al., 2008) ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการประเมินผลกระทบของ Ca- POFA ต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม

3.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการใช้ Calcium salt of palm oil fatty acid ต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนมของโคนม

3.4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.4.1 การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร

การจัดการสัตว์ทดลอง

ใช้โครีดนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน (>87.5%) จำนวน 24 ตัว (ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำนมต่อวัน 15.4 ± 3.75 กิโลกรัม; ค่าเฉลี่ยจำนวนวันให้นม 93 ± 27 วัน; ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว 369 ± 40 กิโลกรัม) ทำการสุ่มแบบ Stratified random balance group โดยใช้ ปริมาณน้ำนม วันให้นม น้ำหนักตัว โดยทำการ Block ด้วยจำนวนท้อง โคทุกกลุ่มจะได้รับอาหารผสมครบส่วน (total mixed ration; TMR) (Table 1) ตามความต้องการของ NRC (2001) ระยะเวลาทดลองทั้งหมด 40 วัน โดย 10 วันแรกคือระยะปรับตัวและ 30 วันหลังเป็นระยะทดลองจัดให้โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มทดลองอย่างเป็นอิสระต่อกันดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุม ได้รับอาหาร TMR (ไม่เสริม Calcium salt of palm oil fatty acid)

กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหาร TMR และ Calcium salt of palm oil fatty acid 150 กรัมต่อตัวต่อวัน

กลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหาร TMR และ Calcium salt of palm oil fatty acid 300 กรัมต่อตัวต่อวัน

อาหาร TMR มีโปรตีน 15.4% และมีส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งจะให้อาหารวันละ 2 ครั้งในเวลา 7.00 น. และ 16.00 น.และมีน้ำสะอาดให้กินอย่างเต็มที่

3.4.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

ทำการจัดกลุ่มของโคให้นมจำนวน 24 ตัว ออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง นำโคเข้าทดลองโดยได้รับอาหาร TMR ได้แก่ กลุ่มควบคุม กลุ่มได้รับการเสริม Ca-POFA 150 กรัมต่อวัน กลุ่มได้รับการเสริม Ca-POFA 300 กรัม/วัน ระหว่างการทดลองมีการเก็บข้อมูลดังนี้

3.4.2.1 การกินได้

ปริมาณการกินได้จะวัดทุกช่วงการทดลอง (5 วัน) 2 วันติดต่อกัน โดยทำการชั่งและ บันทึกน้ำหนักของอาหารก่อนโคกิน ได้แก่ อาหาร TMR รวมถึงการเก็บตัวอย่างอาหารก่อนกิน หลังจากนั้นทำการชั่งอาหารที่เหลือจากการกินของโคในวันถัดไป (07.00 น.) และสุ่มเก็บอาหาร TMRประมาณ 10% นำไปอบไล่ความชื้นในตู้อบตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 60ºC เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) ของตัวอย่างอาหาร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีแบบประมาณ (Proximate analysis) (AOAC, 1990) ซึ่ง วิเคราะห์วัตถุแห้งโดยเครื่อง Hot air oven โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) โดยเครื่อง Kjeltec auto analyzer ไขมัน (Ether extract) โดยเครื่อง Soxhlet auto analyzer เยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) โดยเครื่อง Fibertec auto analyser และเถ้า (Ash) โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550ºC เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนการวิเคราะห์เยื่อใยนั้นจะใช้วิธี Detergent analysis (Van Soest et al., 1991) ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และAcid detergent lignin, ADL โดยเครื่อง Fibertec auto-analyzer

3.4.2.2 น้ำหนักตัว

ทำการชั่งน้ำหนักตัวก่อนและหลังการทดลองของโคทั้ง 3 กลุ่มทดลอง หลังจากทำการรีดนมช่วงเช้าก่อนการให้อาหาร โดยชั่งน้ำหนักโครายตัวด้วยเครื่องชั่ง จากนั้นนำน้ำหนักโคทั้งก่อน และหลังการทดลองไปคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่อวัน (Body Weight Change, BWC)

3.4.2.3 ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ทำการจดบันทึกผลผลิตน้ำนมของโคนมทุกตัว ทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลอง และสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมดิบทุกช่วงการทดลอง โดยสุ่มเก็บช่วงละ 2 วันติดต่อกัน โดยจะแบ่งเป็น นมช่วงเย็นและช่วงเช้าในเวลา 15.00 และ 05.00 นาฬิกา ตามลำดับ เพื่อนำไปวิเคราะห์

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมได้แก่ โปรตีน ไขมัน แลคโทส ของแข็งในน้ำนมไม่รวมไขมัน และของแข็งรวมในน้ำนม โดยเครื่อง Milko Scan FT-2 (Hillerod, Denmark)

3.4.3 การศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมันในอาหารและในไขมันนม

สุ่มเก็บอาหารTMR ในแต่ละกลุ่มการทดลอง เพื่อนำไปสกัดไขมัน ซึ่งดัดแปลงตามวิธีการของ Folch, Lees, and Sloane-Stanley (1957) และ Metcalfe, Schmitz, and Pelka (1996) โดยนำตัวอย่างที่สุ่มได้ตัวอย่างละ 15 กรัม ทำการสกัดด้วย Chloroform-Methanol (2:1 v/v) ปริมาณ 90 ml จากนั้นนำไปปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenize) เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปใส่ในกรวยแยกสาร (Separatory funnel) เติมด้วย Chloroform ปริมาตร 30 ml และ 0.58% NaCl ปริมาตร 50 ml เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้จนสารละลายแยกชั้นอย่างชัดเจน จากนั้นปล่อยสารละลายที่อยู่ส่วนล่างใส่ใน Evaporation flask ทำการแยกตัวทำละลายออกจากไขมันโดยระเหยที่อุณหภูมิ 40ºC ด้วย Rotary Evaporator แล้วย้ายไปเก็บไว้ในหลอดทดลองภายใต้แก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ -20ºC จนกว่าจะทำการ Methylation

สุ่มเก็บน้ำนมดิบในวันที่ 30 ของการทดลองทั้งช่วงเช้าและช่วงเย็น จากนั้นนำมารวมกันตามสัดส่วนของปริมาณน้ำนม นำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4ºC เป็นเวลา 15 นาที ชั้นของไขมัน (Fat cake) จะแยกอยู่บนชั้นบนของน้ำนม แยกชั้นของไขมันออกมาเพื่อนำไปสกัดไขมันต่อไปตามวิธีการของ Kelly, KolverBauman, Van Amburgh, and Muller (1998) โดยนำชั้นของไขมันมาสกัดด้วย hexane-isopropanol (3:2 v/v) 18 ml/g fat cake เขย่าด้วย Vortex จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซัลเฟต 6.7% (6.7% Na_2SO_4) ปริมาตร 12 ml/ g fat cake ชั้นของ hexane จะแยกออกมาจากด้านบน ให้ทำการแยก hexane จากหลอดทดลองใส่ในหลอดทดลองที่เติมโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ทำการแยกตัวทำละลายออกจากไขมันโดยระเหยที่อุณหภูมิ 40ºC ด้วย Rotary Evaporator แล้วย้ายไปเก็บภายใต้แก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -20ºC จนกว่าจะทำการ Methylation และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมัน (Fatty acid) โดยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของ fatty acids ประกอบไปด้วยการทำ methylation ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Ostrowska, Dunshea, Muralitharan, and Cross (2000)

การทำ methylation

เติม 14% BF_3/MeOH ปริมาตร 2 ml ใส่ในหลอดทดลองที่ทำการ saponification ที่สมบูรณ์แล้วทำการเติม internal standard จำนวน 1 มิลลิลิตร (ใช้ C17 ความเข้มข้นแน่นอนที่ 2.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ใน hexane) ไล่อากาศภายในหลอดทดลองด้วยแก๊สไนโตรเจน ปิดฝาหลอดทดลองให้สนิท

ให้ความร้อนที่ 100ºC ใน water bath นาน 5 นาที ระหว่างนั้นควรเขย่าอย่างน้อย 1-2 ครั้ง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องปรกติ

เท solution ที่ได้จากการทำ methylation ลงในหลอด centrifuge ฝาเกลียวขนาด 50 มิลลิลิตร นำไป centrifuge ที่อุณหภูมิ 10ºC ที่ความเร็ว 5000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ liquid-liquid phase แยกได้ดีขึ้น

เติม hexane 3 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร และทำการเขย่าเบาๆ ทำการดูด hexane ที่อยู่ชั้นบนและ dry น้ำที่อาจติดออกมาด้วย Na_2SO_4 ต้องให้แน่ใจว่าไม่มีน้ำปน เพราะน้ำที่หลงเหลืออยู่อาจมีผลต่อ GC ซึ่งเป็น polar และ ion exchange column

เก็บตัวอย่างที่ dry น้ำออกเรียบร้อยแล้วไว้ในขวดสีชา ไล่อากาศด้วยแก๊สไนโตรเจน หลังจากนั้นนำตัวอย่าง Fatty acid methyl ether (FAME) ที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ Fatty acid โดย เครื่อง Gas Chromatography (GC)

นำตัวอย่างที่ผ่านการทำ Methylation แล้วจัดเข้าเครื่อง GC โดยที่สภาวะของเครื่อง GC ตั้งไว้ดังนี้

Column: GC column ของ Supelco 2560 ชนิด fused silica capillary column สำหรับวิเคราะห์ isomer ของกรดไขมัน มี dimension 100 m x 0.25 mm x 0.2 um film thickness

Carrier gas: Helium 18 cm/sec 1.0 ml/min. constant flow

Injection: Split 30:1, volume 1 ul, Inlet 240 °C

Temperature program: เริ่มที่ 70 นาน 4 นาที และเพิ่มขึ้น 13°C /นาที จนถึงอุณหภูมิ 175°C และคงไว้ นาน 27 นาที จากนั้นเพิ่ม 4°C /นาที จนถึงอุณหภูมิ 215°C และคงไว้ นาน 31 นาที

3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่บันทึกจากการทดลองได้แก่ การกินได้วัตถุแห้ง น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) แบบRandomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1996)

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 10 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.7 ระยะเวลาในการทดลอง

วันที่ 1 พฤษภาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2559

3.8 ผลการทดลอง

3.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

ตารางที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบของอาหาร TMR

Composition	**%**
Corn silage	60
Cassava ship	7
Rice straw	0.5
Urea	0.5
Water	0.8
Mineral	2.85
additive	0.04

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR และ Ca-POFA

Composition	**TMR**	**Ca-POFA**
Dry matter	**41.55**	**96.88**
	----------% of DM---------	
Crude protein	15.40	-
Crude fat	3.86	85.6
Ash	7.95	14.4
Neutral detergent fiber	50.30	-
Acid detergent fiber	32.43	-
Acid detergent lignin	5.56	-
NDIN	0.88	-
ADIN	0.55	-

NDF = Neutral-detergent fiber; ADF = Acid-detergent fiber; ADL = Acid-detergent lignin; NDIN = Neutraldetergent insoluble nitrogen; ADIN = Acid- detergent insoluble nitrogen

องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองจะได้รับอาหารTMR ที่มีคุณค่าทางโภชนะที่เหมือนกัน ได้แก่ 41.55% วัตถุแห้ง 15.40% โปรตีน 3.86% ไขมัน 7.95% เถ้า 50.30% NDF 32.43% ADF 5.56% ADL 0.88%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

NDIN และ 0.55% ADINส่วนองค์ประกอบทางเคมีของ Ca-POFA ที่ใช้ในการทดลอง มีค่า 96.88% วัตถุแห้ง 85.6% ไขมัน และ14.4% เถ้า

เมื่อนำค่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR และ Ca-POFA มาคำนวณหาค่าโภชนะของการย่อยได้ทั้งหมด (TDN) พลังงานย่อยได้ (DE) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) และพลังงานสุทธิ (NE) ตามสมการของ NRC (2001) จะได้ค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 กล่าวคือ มีองค์ประกอบทางเคมีเท่ากับ 60.76% TDN, 2.62 Mcal DE/kgDM, 2.14 Mcal ME/kgDM และ 1.34 Mcal NE/kgDM ส่วน Ca-POFA มีองค์ประกอบทางเคมีเท่ากับ 165.64% TDN, 6.23 McalDE/kgDM, 4.76 McalME/kgDM และ 3.80 Mcal NE/kgDM

ตารางที่ 3.3 คุณค่าทางพลังงานในอาหาร TMR,Ca-POFAและ Effective degradability ของ TMR

Composition	**TMR**	**Ca-POFA**
TDN_{1x}(%)	60.76	165.64
DE_p (Mcal/kg)	2.62	6.23
ME_p (Mcal/d)	2.14	4.76
NEL_p (Mcal/d)	1.34	3.80
dg DM	0.64	-
dg CP	0.69	-

TDN_{1X}(%)=tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF – 7, DE_P(Mcal/kgDM) = DE_{1X} x Discount DE_{1X}(Mcal/kgDM) = (tdNFC/100) x 4.2 + (tdNDF/100) x 4.2 + (tdCP/100) x 5.6 + (FA/100) x 9.4 – 0.3, Discount = [TDN_{1X} + ([0.18 x TDN_{1X}) – 10.3] x Intake)]/TDN_{1X}), ME_P(Mcal/kgDM) = [1.01 x (DE_P) – 0.45] + 0.0046 x (EE – 3) (กรณี EE>3), ME_P(Mcal/kgDM) = 1.01 x DE (Mcal/kgDM) – 0.45 (กรณีEE <3), NE_P(Mcal/kgDM) = 0.703 x ME_P – 0.19 + ([0.0097 x ME_P + 0.19)/97] x [EE – 3] (กรณี EE >3), NE_P(Mcal/kgDM) = [0.703 x ME_P(Mcal/kgDM)] – 0.19 (กรณี EE <3), *dg* CP = Effective degradability of Crude protein, *dg* DM = Effective degradability of Dry matter

ตารางที่ 3.4 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารและ Ca-POFA (g/100 g FA)

Fatty acid	TMR	Ca-POFA
C12:0	7.13	0.14
C14:0	2.98	0.27
C16:0	43.17	8.52
C18:0	2.09	2.36
C18:1n-9	28.10	49.52
C18:2n-6	16.12	39.00
C18:3n-3	0.41	0.19

TMR = Total mixed ration Ca-POFA = calcium salt of palm oil fatty acid

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้รับ TMR

Item	Control	150 g/d	300 g/d	SEM	P-value
Dry matter intake (kg/d)					
TMR	14.2	14.2	14.3	0.03	0.863
Ca-POFA	0	0.145	0.291	-	-
Total	14.2[b]	14.4[ab]	14.6[a]	0.03	0.017
Crude protein intake (g/d)					
TMR	2193	2192	2199	3.9	0.868
Net energy intake (Mcal/d)					
TMR	19.1	19.3	19.5	0.13	0.861
Ca-POFA	0	0.6	1.1	-	-
Total	19.18[c]	19.8[b]	20.6[a]	0.03	0.001

[a, b, c] หมายถึง อักษรในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P< 0.05$)

SEM = standard error of the mean; TMR = total mix ration; Ca-POFA = calcium salt of palm oil fatty acids

3.8.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้รับจากอาหาร TMR แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 พบว่าการเสริม Ca-POFA ไม่มีผลต่อการกินได้วัตถุแห้งของ TMR แต่การกินได้วัตถุแห้งรวมของโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มากกว่าโคที่ไม่ได้รับการเสริม Ca-POFA (กลุ่มควบคุม)

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) สำหรับการกินได้โปรตีนจาก TMR นั้นไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่มการทดลอง อย่างไรก็ตามการเสริม Ca-POFA ส่งผลให้การกินได้ของพลังงานสุทธิของกลุ่มทดลองที่เสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 และ 300 กรัมต่อวัน สูงกว่ากลุ่มควบคุม (P<0.01) และกลุ่มการทดลองที่เสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มีการกินได้พลังงานสุทธิสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่เสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d

3.8.3 ปริมาณการกินได้ของกรดไขมันในโคนม

ปริมาณการกินได้ของกรดไขมันในโคนมที่ได้รับจาก TMR และ Ca-POFA แสดงไว้ในตารางที่ 3.6 พบว่าการเสริม Ca-POFA ส่งผลให้การกินได้ของกรดไขมันเกือบทุกชนิด (C14:0-C18:3n-3) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.1) เมื่อเทียบจากกลุ่มควบคุม (P<0.05) และโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มีการกินได้กรดไขมัน C14:0-C18:3n-3 มากกว่าโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 3.6 แสดงการกินได้ของกรดไขมันในโคนม (กรัมต่อวัน)

Fatty acid	Control	150 g/d	300 g/d	SEM	P-value
C12:0	39.22	39.37	39.68	0.194	0.248
C14:0	16.38^{c}	16.72^{b}	17.12^{a}	0.081	0.001
C16:0	237.33^{c}	247.82^{b}	259.25^{a}	1.176	0.001
C18:0	11.48^{c}	14.41^{b}	17.39^{a}	0.057	0.001
C18:1n-9	154.47^{c}	215.99^{b}	278.12^{a}	0.766	0.001
C18:2n-6	88.63^{c}	137.10^{b}	185.93^{a}	0.439	0.001
C18:3n-3	2.23^{c}	2.47^{b}	2.710^{a}	0.011	0.001
Total	549.74^{c}	673.88^{b}	800.19^{a}	2.725	0.001

3.8.4 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน) ปริมาณไขมันนม (กรัม/วัน) ปริมาณโปรตีนนม (กรัม/วัน) ปริมาณแล็คโตส (กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน) และ ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5 เปอร์เซ็นต์ (กิโลกรัม/วัน) ของโคนมที่ได้รับจาก TMR พบว่า การเสริม Ca-POFA ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนมเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (P>0.05) อีกทั้งการเสริม Ca-POFA ไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบน้ำนมและผลผลิตขององค์ประกอบน้ำนม อย่างไรก็ตามการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 กรัมต่อวันส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมลดลง (P<0.05) แต่ไม่ส่งผลต่อผลผลิตขององค์ประกอบของโปรตีนในน้ำนม (P>0.05)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.8.5 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน) ของโคนมที่ได้รับจาก TMR พบว่าการเสริม Ca-POFA ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลอง (P>0.05) (Table 3.7) ทั้งๆ ที่การเสริม Ca-POFA มีผลทำให้การกินได้พลังงานสุทธิมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (P<0.05) และการเสริม Ca-POFA ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (P>0.05)

ตารางที่ 3.7 แสดงองค์ประกอบและผลผลิตขององค์ประกอบในน้ำนม

Parameters	Control	150 g/d	300 g/d	SEM	P-value
Milk yield, kg/d	13.4	13.7	14.3	0.572	0.541
3.5% FCM	13.1	13.6	14.4	0.552	0.271
Milk composition, %					
Fat	3.47	3.60	3.39	0.193	0.745
Protein	2.62[a]	2.54[a]	2.36[b]	0.067	0.025
Casein	1.98	1.94	1.80	0.058	0.076
Lactose	4.45	4.43	4.41	0.055	0.845
SNF	8.13	8.09	7.91	0.107	0.323
Total solid	11.62	11.69	11.40	0.291	0.782
Milk composition yield, g/d					
Fat	453	475	497	24.523	0.465
Protein	344	347	334	13.158	0.779
Casein	261	266	254	10.174	0.735
Lactose	597	605	632	26.622	0.626
SNF	1085	1106	1130	42.382	0.761
Total solid	1537	1537	1640	55.686	0.444

หมายเหตุ[a, b]หมายถึง อักษรในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P< 0.05)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวของโคนม

Item	Control	150 g/d	300 g/d	SEM	P-value
Initial weight (kg)	387	362	359	5.2	0.365
Final weight (kg)	369	342	339	5.0	0.292
LWC (g/d)	-608	-691	-658	27	0.748
NEL_R (Mcal/d)	16.4	16.5	16.7	0.3	0.965
NEL supply	19.1^{c}	19.8^{b}	20.6^{a}	0.03	0.001
Efficiency	0.85	0.83	0.80	0.01	0.123

หมายเหตุ $^{a, b, c}$ หมายถึง อักษรในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P< 0.05$)

3.8.6 องค์ประกอบของกรดไขในน้ำนม (% of total fatty acid)

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนมของโคนมแสดงดังตารางที่ 3.8 จากการศึกษาผลของการเสริม Ca-POFA ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนมพบว่า กรดไขมัน C6:0, C8:0, C16:0, C16:1, C18:1t, C18:2, C18:3 และ C9,T11 CLA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกรดไขมัน C10:0 ถึง C14:0 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ในโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d เมื่อเปรียบเทียบกับโคในกลุ่มควบคุมและโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d ในขณะที่กรดไขมัน C15:0 และ C15:1 ในน้ำนมโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ทั้งสองกลุ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับโคในกลุ่มควบคุม โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d มีสัดส่วนของกรดไขมัน C18:0 ต่ำที่สุด ในขณะที่โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มีสัดส่วนของกรดไขมัน C18:1 สูงที่สุดการเสริม Ca-POFAที่ระดับ 300 g/d มีผลทำให้ SFA ($P<0.05$) และ Denovo FAs ($P<0.01$) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทำให้ MUFA ($P<0.05$) และ Preformed FAs ($P<0.01$) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ PUFA ไม่มีความแตกต่างกัน

3.9 วิจารณ์ผลการทดลอง

3.9.1 การกินได้

การกินได้วัตถุแห้งของโคนมที่เสริม Ca-POFA มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมนั้น เกิดจากโคนมในกลุ่มมีการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 กรัมต่อวัน จึงทำให้การกินได้ของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น อีกทั้งการกินได้พลังงานสุทธิของโคนมที่เสริม Ca-POFA ที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เนื่องจาก Ca-POFA มีพลังงานสุทธิ 3.8 Mcal/kgDM ส่งผลให้การกิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.9 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม (% of total fatty acid)

Fatty acids	Control	150 g/d	300 g/d	SEM	P-value
C6:0	0.88	0.91	0.85	0.102	0.911
C8:0	0.70	0.75	0.54	0.064	0.078
C10:0	1.78[a]	1.91[a]	1.37[b]	0.109	0.006
C11:0	0.20[a]	0.18[a]	0.12[b]	0.014	0.001
C12:0	3.64[a]	3.75[a]	3.11[b]	0.129	0.005
C14:0	11.55[a]	11.49[a]	9.71[b]	0.286	0.001
C14:1	0.83[a]	0.88[a]	0.59[b]	0.063	0.009
C15:0	1.16[a]	1.01[b]	0.90[b]	0.045	0.003
C15:1	0.39[a]	0.31[b]	0.31[b]	0.013	0.001
C16:0	42.86	43.10	42.05	0.981	0.733
C16:1	1.18	1.36	1.06	0.080	0.054
C18:0	10.21[a]	9.13[b]	10.56[a]	0.371	0.035
C18:1t	2.40	2.61	2.93	0.149	0.065
C18:1c	19.68[b]	19.91[b]	23.14[a]	0.846	0.015
C18:2	1.22	1.21	1.26	0.052	0.796
C18:3	0.21	0.19	0.11	0.076	0.620
C9,T11CLA	1.10	1.29	1.38	0.149	0.411
SFA	72.99[a]	72.24[a]	69.22[b]	0.882	0.016
MUFA	24.47[b]	25.06[b]	28.03[a]	0.878	0.022
PUFA	1.43	1.41	1.37	0.064	0.799
De novoFA	21.14[a]	21.20[a]	17.51[b]	0.607	0.001
MixedFA	44.04	44.46	43.11	0.991	0.624
PreformedFA	34.82[b]	34.34[b]	39.39[a]	0.765	0.001

[a, b] หมายถึง อักษรในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$), SFA = total saturatedfattyacids, MUFA=totalmonounsaturatedfattyacids, UFA=totalpolyunsaturatedfattyacids; De novo FAs originate from mammary de novo synthesis (<16 carbons), Preformed FAs originate from extraction from plasma (>16 carbons), Mixed FAs originate from both sources (C16:0 + cis-9 C16:1)

ได้พลังงานสุทธิของโคนมในกลุ่มที่มีการเสริม Ca-POFA มากกว่าโคนมในกลุ่มควบคุม ปกติการใช้อาหารที่มีไขมันรวมสูงในสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นจะส่งผลให้การกินได้ และการย่อยได้ลดลง (Bhatt et al. 2011) แต่เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ใช้ไขมันที่อยู่ในรูป Ca-POFA ที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันอยู่สูงแต่จะไม่แตกตัวหรือย่อยสลายในกระเพาะหมัก จึงไม่ส่งผลต่อการลดการกินได้และการย่อยได้ในกระเพาะหมัก สอดคล้องกับรายงานของ Piantoni et al. (2013) ที่ทำการศึกษาการเพิ่มผลผลิตน้ำนมและไขมันในน้ำนมโดยการเสริม C16:0 พบว่าการเสริม C16:0 ไม่ส่งผลต่อการกินได้ของโครีดนม ในทำนองเดียวกัน Rico et al. (2013; 2014) ที่ทำการศึกษาผลของการเสริมไขมันที่มี C16:0 อยู่สูงต่อผลผลิตในโครีดนมพบว่า การเสริมไขมันที่มี C16:0 อยู่สูงไม่ส่งผลต่อการกินได้ในโครีดนม อย่างไรก็ตาม Ca-POFA จะมีข้อจำกัดของการแตกตัวเนื่องจาก Ca-POFA จะมีคุณสมบัติการแตกตัวได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด ทั้งนี้ Ca-POFA อาจเกิดการแตกตัวและปลดปล่อยกรดไขมันออกมาในกระเพาะหมักได้ถ้าหากในกระเพาะหมักมีสภาวะเป็นกรด (Naik et al., 2013) แต่ในการทดลองนี้ระดับความเป็นกรด เป็นด่างมีค่าระหว่าง 6.27-6.86 จึงไม่ส่งผลทำให้ Ca-POFA เกิดการแตกตัว ส่วนการกินได้ของกรดไขมันที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Ca-POFA ที่เสริม

3.9.2 ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม

การเสริม Ca-POFA ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนมสอดคล้องกับ Lock et al. (2013) ที่ทำการศึกษาผลของการเสริม C16:0 ต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนมพบว่า การเสริม C16:0 ไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนมในโครีดนม และ Rico et al. (2014) ที่ทำการศึกษาผลของการเสริมไขมันที่มี C16:0 อยู่สูงต่อผลผลิตในโครีดนมพบว่าการเสริมไขมันที่มี C16:0 อยู่สูงไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนม โดย Lock et al. (2013) ได้รายงานว่าผลของการเสริม C16:0 ไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนมเกิดจากพลังงานที่ได้รับจากการเสริม Ca-POFA จะถูกแบ่งส่วนในการใช้พลังงานโดยส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนม และพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในการสังเคราะห์น้ำนมหรือการใช้พลังงานในส่วนอื่นๆ ของร่างกาย อย่างไรก็ตาม มีรายงานการวิจัยบางรายงานได้รายงานว่าการเสริม Ca-POFA สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้ (Mosley et al., 2007; Piantoni et al., 2013) Mosley et al. (2007) ทำการเสริมกรดไขมันจากน้ำมันปาล์มที่ระดับ 500, 1000 และ 1500 กรัมต่อวัน ส่งผลให้ผลผลิตน้ำนมในโครีดนมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Piantoni et al. (2013) ทำการศึกษาการเสริม C16:0 ที่ระดับ 2% ในอาหารโคนมส่งผลให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น ผลที่ไม่สอดคล้องกันนี้อาจเกิดจากองค์ประกอบของกรดไขมันใน Ca-POFA นั้นต่างกัน อีกทั้งในบางกรณีกรดไขมันที่ได้รับเพื่อการสร้างน้ำนมนั้นอาจถูกใช้เป็นพลังงานในส่วนๆ อื่นของโคนมได้อีกด้วย (Mosley et al. 2007) และเป็นที่น่าสนใจคือการเพิ่มระดับของ C16:0 ในกระแสเลือดของโคที่ได้จากการเสริม Ca-POFA นั้นอาจลดกระบวนการสังเคราะห์น้ำนม จากการลดลงของปริมาณน้ำตาลกลูโคส โดยใน

การศึกษาพบว่าน้ำตาลกลูโคสเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์แลคโตสและเพิ่มปริมาณน้ำนมได้ (Lock et al., 2013)

การเสริม Ca-POFA ไม่มีผลต่อองค์ประกอบน้ำนมเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมสอดคล้องกับ Wang et al. (2010) ที่ได้ทำการทดลองผลของการเสริมกรดไขมันอิ่มตัวในโครีดนมระยะ mid lactation ที่ระดับ 1.5% และ 3.0% ไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบในน้ำนม อีกทั้งในการเพิ่มระดับของการเสริม Ca-POFA นั้นมีรายงานเพียงเล็กน้อยในเรื่องของการใช้เสริมในอาหาร (Rico and Harvatine, 2011) อย่างไรก็ตาม การเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 กรัมต่อวัน ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลง ($P<0.05$) สอดคล้องกับ Rico et al. (2014) ที่ได้รายงานการเสริมไขมันที่ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมลดลง ส่วนผลผลิตของโปรตีนในน้ำนมนั้นมักจะไม่เปลี่ยนแปลง (Rabiee et al., 2012) Rabiee et al. (2012) ทำการเสริมไขมันในอาหารโครีดนมต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม พบว่าการเสริมไขมันในอาหารโคนมไม่ส่งผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของโปรตีนในน้ำนม ในขณะที่ Harvatine and Allen (2006) ได้รายงานว่าโปรตีนในน้ำนมมีการเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมกรดไขมันอิ่มตัว ชี้ให้เห็นว่าการสังเคราะห์โปรตีนนั้นอาจส่งผลมาจากการเสริมกรดไขมันอิ่มตัว อย่างไรก็ตาม ยังเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาอื่นๆ ที่ชี้ให้เห็นว่าการเสริม C16:0 ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตของโปรตีนในน้ำนมและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม (Mosley et al., 2007; Warntjes et al., 2008) การเสริม Ca-POFA ไม่มีผลต่อ ผลลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม น้ำหนักตัวและ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว แต่ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมลดลง ($P< 0.05$) ถึงแม้ว่าการเสริม Ca-POFAจะไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบน้ำนม

3.9.3 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและสถานะพลังงาน

น้ำหนักตัวของโคทุกกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งก่อนและหลังการทดลอง อย่างไรก็ตามน้ำหนักตัวโคทุกกลุ่มลดลงระหว่าง 608-681 g/d และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่น้ำหนักตัวโคลดลง เป็นเพราะในช่วงต้นระยะให้นม โคมีสถานะพลังงานเป็นลบ เพราะมีการเคลื่อนย้ายไขมันที่สะสมในร่างกายมาเพื่อใช้ในการสร้างน้ำนม ทำให้น้ำหนักตัวโคลดลง เมื่อทำการประเมินความต้องการพลังงานของโคตามคำแนะนำของ NRC (2001) โคทุกกลุ่มมีความต้องการพลังงานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่โคที่เสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d ได้รับพลังงานมากกว่าโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d ได้รับพลังงานมากกว่าโคที่ไม่ได้เสริม Ca-POFA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโคทั้ง 3 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.9.4 องค์ประกอบของกรดไขในน้ำนม

ไขมันในอาหารที่เข้าสู่ลำไส้เล็กของสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่ถูกดูดซึมโดยเนื้อเยื่อในลำไส้ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดที่มีไอโอดีนและรวมอยู่ใน chylomicrons สำหรับการขนส่งไปยังเนื้อเยื่อผ่านทางเส้นเลือดโดยอยู่ในรูป lipoproteins ได้แก่ verylow-densitylipoproteins (VLDL) intermediatedensitylipoproteins (IDL) lowdensity lipoproteins (LDL) และ high density lipoproteins (HDL) หลังจากการดูดซึมของไขมันเป็น chylomicrons และการหลั่งของ VLDL โดยตับไตรกลีเซอไรด์ใน chylomicrons และ VLDL ถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วโดย lipoprotein lipase (Christie et al., 1986) การย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์นี้จะได้fatty acids ที่มีอยู่ในปริมาณสูงในการทดลองครั้งนี้โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มีการกินได้ C16:0, C18:1n-9 และ C18:2n-6 มากกว่าโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d และโคที่ไม่ได้รับการเสริม Ca-POFA และโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d มีการกินได้กรดไขมันทั้ง 3 ชนิดข้างต้นมากกว่าโคที่ไม่ได้รับการเสริม Ca-POFA โดยเฉพาะ C18:1n-9 และ C18:2n-6 นั้น โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ทั้งสองกลุ่มมีการกินได้มากกว่าโคในกลุ่มควบคุมมาก ทั้งนี้เพราะ Ca-POFA มีองค์ประกอบของ C18:1n-9 และ C18:2n-6 อยู่มาก (49.52 และ 39.00 g/100 FA ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมพบว่า โคทั้ง 3 กลุ่ม มีสัดส่วนของ C16:0, C18:1t,C18:2,C18:3, PUFAและ Mixed FAไม่แตกต่างกัน มีเพียงC18:0,C18:1, MUFA, Preformed FA เท่านั้นที่โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มีในน้ำนมมากกว่าโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d และโคในกลุ่มควบคุม และกรดไขมัน C10:0-C15:1,SFA และ De novo FA ในโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d ลดลง

จากการศึกษาการเสริม Ca-POFA ในโคให้นมพบว่าการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d ส่งผลให้กรดไขมันอิ่มสายสั้น(C10:0-C15:1)ในน้ำนมลดลง($P<0.05$) เช่นเดียวกับการทดลองของ (Enjalbert et al., 1998; Mosley et al., 2007) นั้นเกิดจากการถูกยับยั้งกระบวนการ *De novo* synthesis โดยผลของการเสริมไขมันไหลผ่านที่มีกรดไขมันสายยาวอยู่สูง (Loften et al., 2014) อีกทั้งเมื่อในกระแสเลือดมีกรดไขมันสายยาวอยู่สูงจะส่งผลให้ลดการสังเคราะห์กรดไขมันสายสั้นในต่อมน้ำผมส่งผลให้กรดไขมันสายสั้นในน้ำนมลดลง (Chilliard et al., 2000) อีกทั้ง C16:0 จะไปยับยั้งการทำงานของ acetyl-CoA carboxylase ในการสังเคราะห์ไขมัน (Wright et al., 2002),หรือการยับยั้งการทำงานของ acetyl-CoA carboxylase ในต่อมน้ำนมโดย palmitoyl-CoA จากC16:0 (Miller et al., 1970).

โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ให้น้ำนมที่มีสัดส่วนของ C14:0 ต่ำ สอดคล้องกับ Clapperton and Banks (1985) ที่แสดงให้เห็นว่าการศึกษาการใช้ประโยชน์ของไขมันในอาหารโครีดนม พบความเข้มข้นของ C14:0 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับโคที่ไม่ได้รับการ

เสริมไขมัน ทั้งนี้เป็นเพราะ *de novo* synthesis ลดลงถึง 80% เนื่องจากการเสริมแหล่งของไขมัน เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่ไม่ได้รับการเสริมไขมัน เช่นเดียวกับรายงานของ Palmquist (1993) โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA มีสัดส่วนของกรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 16 สูงกว่าโคที่ไม่ได้รับการเสริม Ca-POFA และมีสัดส่วนของกรดที่มีคาร์บอนอะตอมน้อยกว่า 16 ต่ำกว่าโคที่ไม่ได้รับการเสริม Ca-POFA เป็นเรื่องปกติในโครีดนมในช่วงต้นของระยะให้นม

ในการศึกษาในปัจจุบันพบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันนมลดลงเมื่อเพิ่ม C16:0 เนื่องจากผลผลิตไขมันไม่เปลี่ยนแปลงและผลผลิตน้ำนมทั้งหมดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับข้อสรุปของ Drackley et al. (2003) สอดคล้องกับผลการศึกษาในการเสริม Ca-POFA พบว่ากรดไขมัน C:16:0 ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม อีกทั้ง Warntjeset al. (2007) ได้กล่าวว่า C16:0 ที่เข้าสู่ duodenum สามารถดูดซึมเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอื่นๆ ในลำไส้ ถึงแม้สัดส่วนของ C16:0 จะถูกดูดซึมจากลำไส้เล็กส่วนใหญ่ แต่มีเพียงส่วนเล็กน้อยที่หลั่งออกมาในไขมันนม อีกทั้งจากการที่สัตว์ได้รับ fatty acid ในปริมาณมากส่งผลต่อกระบวนการ *de novo*synthesis เนื่องจากการใช้พลังงานจากไขมันเพื่อสร้างน้ำนมหรือใช้ในส่วนอื่นของร่างกายเพียงพอต่อความต้องการส่งผลให้ *de novo synthesis*(C10:0-C14:0) ลดลง จากการศึกษาของ Loften et ai. (2014) ที่ทำการเสริมกรดไขมัน C16:0 ในโคนมพบว่าการเปลี่ยนไขมันจากอาหารที่ให้ C16:0 เป็นไขมันนมมีตั้งแต่ 12 ถึง 50% อย่างไรก็ตามการ *de novo* synthesis อาจจะมีสัดส่วน 40 ถึง 50% ของ C16:0 ในไขมันนมและดังนั้นการเปลี่ยน C16:0 ในอาหารอาจเป็นเพียงครึ่งหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงขั้นต้นเท่านั้นในทางสรีรวิทยา ในช่วงต้นระยะให้นม โครีดนมโดยเฉพาะโคที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูง จะมีสถานะพลังงานเป็นลบ จึงต้องเคลื่อนย้าย LCFA จากที่สะสมในร่างกายในรูปของ adipose tissue ทำให้ต่อมสร้างน้ำนมนำ NEFA และ VLDL มาสังเคราะห์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น (Chilliard et al., 2000) พร้อมกันนี้ ความเข้มข้นที่สูงของ LCFA จะยับยั้ง de *novo* synthesis ของ SCFA ในต่อมน้ำนม

การศึกษาครั้งนี้พบว่า *trans*-11 C18:1 ในน้ำนมโคที่ได้รับ Ca-POFA มีความเข้มข้นไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจาก Ca-POFA มีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักน้อยเนื่องจากมีการกินได้เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของการกินได้อาหารจะปรับเปลี่ยนอัตราการไหลผ่านกระเพาะหมัก ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเผาผลาญกรดไขมันจากอาหาร ซึ่งอาจทำให้เกิดกระบวนการ bio-hydrogenation ของ unsaturated fatty acids ลดลง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากความเข้มข้นของ C18:0 ที่เป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการ bio-hydrogenation ไม่ได้แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ส่งผลให้ *cis*-9, *trans*-11 CLA ในน้ำนมของโคทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน เพราะ *trans*-11 C18:1 เป็น precursor ในการสังเคราะห์ CLA (Corl et al., 2001; Piperova et al., 2002)

การศึกษาครั้งนี้พบว่า C18:1n-9 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในน้ำนมโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ150 g/d

และโคที่ไม่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะ C18:1n-9 ที่มีอยู่สูงใน Ca-POFA ไหลผ่านไปถูกย่อยและดูดซึมในลำไส้เล็กและไปสะสมในน้ำนม

กรดไขมัน C18:2 ไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่มการทดลอง ทั้งๆ ที่ โคที่ได้รับ Ca-POFA กินได้ C18:2 มากกว่าโคในกลุ่มควบคุม เป็นไปได้ว่า Ca-POFA ส่วนหนึ่งไม่ได้ไหลผ่านไปยังกระเพาะส่วนล่าง แต่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก แล้วเกิด bio-hydrogenation ไปเป็น *trans* vaccenic acid ทำให้เหลือ C18:2 ไหลผ่านไปถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กน้อย Cortês et al. (2010) และ Wu et al. (1991) ทำการทดสอบ Ca-FA จากหลายแหล่ง และพบว่าการเสริม Ca-FA ลดความเข้มข้นของกรดไขมันระหว่าง C8:0 และ C15:0 อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของ C16:0, C18:0 และ C18:1 นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของ Ca-FA ที่เสริมในอาหาร

จากการศึกษาพบว่าการเสริม Ca-POFA 300 กรัมต่อวันส่งผลให้ *De novo* FA ลดลงเนื่อง *De novo* FA ในน้ำนมได้มาจากการสลายไขมันจากร่างกายมาสังเคราะห์เป็นกรดไขมันสายสั้นในน้ำนมแต่ถูกยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมันสายสั้นจากความเข้มข้นของ LCFA ในกระแสเลือดและ C16:0 จึ้งทำให้มีปริมานของ *De novo* FA ในน้ำนมลดลง (Loften et ai., 2014; Miller et al., 1970).

Preformed FA เป็นกรดไขมันในน้ำนมที่ได้จากกรดไขมันในกระแสเลือด ซึ่งกรดไขมันพวกนี้จะเป็นกรดไขมันสายยาวที่ได้รับจากอาหารและการสลายของไขมันในร่างกายจาก adipose tissue และส่งผ่านมาทางกระแสเลือดเป็นแหล่งของ nonesterified fatty acids (NEFA) (Bauman & Griinari, 2003; Dils, 1986) อีกทั้งไขมันจากอาหารนั้นเป็นแหล่งของ LCFA ที่สำคัญเมื่อเทียบจากแหล่งของ LCFA ที่ได้มาจาก adipose tissue (Palmquist & Mattos, 1977) ในขณะที่การดูดซึมของกรดไขมันจากพลาสม่า ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ chylomicrons ในต่อมน้ำนมจะขึ้นอยู่กับการทำงานของ lipoprotein lipase ในผนังเซลล์ของต่อมน้ำนม จากการทดลองพบว่าการเสริม Ca-POFA 300 กรัมต่อวันส่งผลให้ Preformed FA เพิ่มขึ้นเนื่องจากในโคกลุ่มนี้ได้รับกรดไขมันสูงกว่าจึงทำให้ในกระแสเลือดมีกรดไขมันอยู่สูง

โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA 300 กรัมต่อวัน มีสัดส่วนของ UFA เพิ่มขึ้น และมีสัดส่วนของ SFA ลดลง ทำให้ UFA/SFA ratio เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่ไม่ได้รับการเสริม Ca-POFA การมี UFA และ UFA/SFA ratio เพิ่มขึ้นจะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะ MUFA (C18:1n-9) จะช่วยลด LDL cholesterol และอาจเพิ่ม HDL cholesterol (Merck and Co. Inc., 2009) นอกจากนี้ยังช่วยลดความดันโลหิต (Teres, et al., 2008) และลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเต้านม (Martin-Moreno et al., 1994) อีกด้วย

3.10 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 0,150 และ 300 g/d พบว่าไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบนม ผลผลิตองค์ประกอบของน้ำนม และการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว แต่การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมลดลงจากการศึกษาผลของการเสริม Ca-POFA ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนมพบว่า กรดไขมัน C6:0, C8:0, C16:0, C16:1, C18:1t, C18:2, C18:3 และ C9,T11 CLA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกรดไขมัน C10:0 ถึง C14:0 ลดลงโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d มีสัดส่วนของกรดไขมัน C18:0 ต่ำที่สุด ในขณะที่โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มีสัดส่วนของกรดไขมัน C18:1 สูงที่สุด การเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มีผลทำให้ SFA และ *De novo* FA ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทำให้ MUFA และ Preformed FAs เพิ่มขึ้นในขณะที่ PUFA ไม่มีความแตกต่างกัน

3.11 รายการอ้างอิง

Association of Official Analytical Chemists. (1990). **Official Method of Analysis**. Washington D. C. p. 1298.

Bauman, D.E. and Griinari, J.M. (2003). Nutritional regulation of milk fat synthesis. **Annual Review of Nutrition**. 23: 203-227.

Bhatt, R. S., Soren, N. M., Triphati, M. K., and Karim, S. A. (2011). Effect of different levels of coconut oil supplementation on performance, digestibility, rumen fermentation and carcass 4traits of Malpura lambs. **Animal Feed Science Technology**. 164: 29-37.

Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., Lamberett, G. (2003). A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. **American Dairy Science Association.** 86: 1751-1770.

Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R.M. (2000). Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. **Annales de Zootechnie**. v.49: 181-205.

Clapperton, J.L.; Banks, W. (1985). Factors affecting the yield of milk and its constituents, particularly fatty acids, when dairy cows consume diets containing added fat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 36: 1205-1211.

Corl, B.A., Baumgard, L.H., Dwyer, D.A. (2001). The role of 9-desaturase in the production of cis-9, trans-11 CLA. **Journal of Nutrition Biochemical**. v.12: 622-630.

Cortes, C., Silva-Kazama, D.C., Kazama, R. (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**. v.93: 3146-3157.

Devendra, C., and Lewis, D. (1974). The interaction between dietary lipids and fiber in the sheep 2. Digestibility studies. **Animal Production**. 19: 67-76.

Dils, R.R. (1989). Comparative aspects of milk fat synthesis. **Journal of Dairy Science.** 69: 904-910.

Enjalbert, F., Nicot, M. C., Bayourthe, C., and Moncoulon, R. (1998). Duodenal infusions of palmitic, stearic or oleic acids differently affect mammary gland metabolism of fatty acids in lactating dairy cows. **Journal of Animal Nutrition**. 128:1525-1532.

Folch, J., Lees, M., and Sloane-stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids form animal tissues. **Journal of Biological Chemistry.** 226: 495-509.

Harvatine, K. J., and Allen, M. S. (2006). Effects of fatty acid supplements on milk yield and energy balance of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 89: 1092-1103.

Kadegowda, A. K. G., Piperova, L. S., Delmonte, P., and Erdman, R. A. (2008). Abomasal infusion of butterfat increases milk fat in lactatingdairy cows. **Journal of Dairy Science**. 91:2370-2379.

Kelly, M. L., KolverBauman, D. E., Van Amburgh, M.E., and Muller, L.D. (1998). Effect of intake of pasture on concentration of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows. **Journal of Dairy Science**. 81: 1630-1636.

Loften, J. R., Linn, J. G., Drackley, J. K., Jenkins, T. C., Soderholm, C. G., and Kertz, A. F. (2014). Palmitic and stearic acid metabolism in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science.** 97(8): 4661-4674.

Metcalfe, L. D., Schmitz, A. A., and Pelka, J. R. (1996). Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. **Analytical Chemistry**. 38: 514-515.

Merck and Co. Inc. (2009). **"You Can Control Your Cholesterol: A Guide to Low-Cholesterol Living**". Merck & Co. Inc. Retrieved 2009-03-14.

Martin-Moreno, M., Gorgojo, Lydia, Banegas, R., Rodriguez-Artalejo, Fernando, Fernandez-Rodriguez, C., Maisonneuve, Patrick, Boyle, Peter, e(1994). "Dietary fat, olive oil intake and breast cancer risk". **International Journal of Cancer**. 58 (6): 774-780.

Mosley, S. A., Mosley, E. E., Hatch, B., Szasz, J. I., Corato, A., and Zacharias, N. (2007). Effect of varying levels of fatty acids from palm oil on feed intake and milk production in Holstein cows. **Journal of Dairy Science.** 90: 987-993.

Miller, A. L., Geroch, M. E., and Levy. H. R., (1970). Rat mammarygland acetyl-coenzyme A carboxylase. Interaction with milk fatty acids. **Journal of Biological Chemistry.** 118:645-657.

Naik, P. K. (2013). Bypass fat in dairy ration-a review. Anim. Nutr. Feed Technol., 13, 147-163.

Lock, A. L., C. L. Preseault, J. E. Rico, K. E. DeLand, and M. S. Allen.2013. Feeding a C16:0- enriched fat supplement increased theyield of milk fat and improved conversion of feed to milk. **Journal of Dairy Science.** 96:6650-6659.

Ostrowska, E., Dunshea, F.R., Muralitharan, M., and Cross, R. F. (2000). Comparison of Siliverion high performance liquid chromatographic quantification of free and methylated conjugated linoleic acid. **Journal of Lipids.** 35:1147-1153.

Piantoni, P., Lock, A. L., and Allen, M. S. (2013). Palmitic acid increasedyields of milk and milk fat and nutrient digestibility acrossproduction level of lactating cows. **Journal of Dairy Science.** 96:7143-7154.

Piperova, L.S., Sampugna, J., and Teter, B.B. (2002). Duodenal and milk trans octadecenoic acid and conjugated linoleic acid (CLA) isomers indicate that postabsorptive synthesis is the predominant source of cis-9-containing CLA in lactating dairy cows. **Journal of Nutrition**. v.132:1235-1241, 2002.

Palmquist, D.L., and Mattos, W. (1977). Turnover of lipoproteins and transfer to milk fat of dietary (1-carbon-14) linoleic acid in lactating cows. **Journal of Dairy Science**. 61: 561-565.

Rico, E. D., Allen, M. S., and Lock. A. L., (2013). Compared with stearic acid, palmitic acid increased the yield of milk fat and improved feed efficiency across production level of cows. **Journal of Dairy Science**. 97: 1057-1066.

Rico, E.D., Ying , Y., and Harvatine, K. J. (2014). Effect of a high-palmitic acid fat supplement on milk productionand apparent total-tract digestibility in high- and low-milk yield dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 97: 3739-3751.

Rico, D. E., and Harvatine, K. J. (2011). Effect of high palmitic acid fat supplement on ruminal fermentation and milk production in high- and low-producing dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 94(E-Suppl. 1): 202.

Rabiee, A. R., Breinhild, K., Scott, W., Golder, H. M.. Block, E., and Lean, I. J. (2012). Effect of fat additions to diets of dairy cattle on milk production and components: A meta-analysis and metaregression. **Journal of Dairy Science**. 95: 3225-3247.

Teres, S., Barcelo-Coblijn, G., Benet, M., Alvarez, R., Bressani, R., Halver, J. E., Escriba, P. V. (2008). Oleic acid content is responsible for the reduction in blood pressure induced by olive oil. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. 105(37): 13811-13816.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**. 74: 3583-3597

Wu, Z., Ohajuruka, O.A., Palmquist, D.L. (1991) Ruminal synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.74n.93:025-3034.

Wang, J. P., Bu, D. P., Wang, J. Q., Huo, X. K. (2010). Effect of saturated fatty acid supplementation on production and metabolism indices in heat-stressed mid-lactation dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 93, 4121-4127.

Warntjes, J. L., Robinson, P. H., Galo, E., DePeters, E. J., and Howes, D. (2008). Effects of feeding supplemental palmitic acid (C16:0) on performance and milk fatty acid profile of lactating dairy cows under summer heat. **Animal Feed Science Technology**. 140: 241-257.

Wright, T. C., Cant, J. P., and McBride, B. W. (2002). Inhibition of fatty acid synthesis in bovine mammary homogenate by palmitic acid is not a detergent effect. **Journal of Dairy Science**. 85: 642–647.

บทที่ 4
การศึกษาผลของการใช้ calcium salt of palm oil fatty acid ในอาหารโคผสมครบส่วนต่อนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก

4.1 บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของการทดลองนี้เพื่อศึกษาผลของการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) กรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก (VFA) และองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมักในระยะเวลาต่างๆ หลังการให้อาหาร ใช้โคเจาะกระเพาะ (fistulated non-lactating dairy cows) โดยคัดเลือกโคน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน (400±25 kg) จำนวน 3 ตัว ใช้แผนการทดลองแบบ 3 x 3 Latin square design โคแต่ละตัวได้รับอาหารที เอ็มอาร์ 15.4% โปรตีน กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหารที เอ็มอาร์ โดยไม่มีการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารที เอ็มอาร์ เสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 150 กรัม/วัน และ กลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหารที เอ็มอาร์ เสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วัน ระยะเวลาในการทดลอง 63 วัน โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงการทดลองๆ ละ 21 วัน โดย 7 วันแรกเป็นการปรับตัว ผลการศึกษาพบว่าการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) และองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก ($P>0.05$) แต่การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วันส่งผลให้ระดับของ Acetate เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 3 และ 6 หลังการให้อาหาร ($P<0.05$) และ การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วันส่งผลให้ระดับของ Propionate ลดลงในชั่วโมงที่ 3 และ 6 หลังการให้อาหาร ($P<0.05$)

4.2 คำนำ

บทบาทของไขมันไหลผ่านในอาหารโคนมที่ให้ผลผลิตสูงมีความสำคัญมากในการเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานในอาหาร (NRC, 2001) ไขมันไหลผ่านในอาหารสามารถลดการเกิด lipolysis และ bio-hydrogenation ในกระเพาะหมักโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แต่ไหลผ่านไปย่อยได้ในกระเพาะส่วนล่าง เป็นที่รู้จักกันในชื่อ bypass fat หรือ rumen protected fat หรือ inert fat อีกทั้งการใช้ bypass fat จะไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการหมักย่อยในกระเพาะหมัก (Brzóska et al.,

1999) เนื่องจาก bypass fat ในรูปของ calcium salt เป็นสบู่ที่ไม่ละลาย ผลิตโดยปฏิกิริยาของ carboxyl group ของ long chain fatty acids (LCFA) และ calcium salts (Ca^{++}) ความสามารถในการป้องกันการละลายของ calcium soaps ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก (rumen pH) และชนิดของกรดไขมัน เมื่อ rumen pH มากกว่า 5.5bypass fat จะไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก การแตกตัวจะมีนัยสำคัญ เมื่อ pH ลดลงถึง 5.0 (Chalupa et al., 1986) ในสภาวะที่ pH ในกระเพาะจริงเป็นกรด กรดไขมันใน Ca-LCFA จะแตกตัว และดูดซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพในลำไส้เล็ก จึงได้มีการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักเมื่อโคนมเจาะกระเพาะได้รับการเสริม Ca-POFA และไม่ได้รับการเสริม Ca-POFA

4.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักเมื่อโคนมเจาะกระเพาะได้รับการเสริม Ca-POFA และไม่ได้รับการเสริม Ca-:POFA

4.4 อุปกรณ์และวิธีการ

4.4.1 การจัดการโคเจาะกระเพาะสำหรับทดลองและการให้อาหาร

1. โคเจาะกระเพาะ (fistulated non-lactating dairy cows) โดยคัดเลือกโคน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน (400±25 kg) จำนวน 3 ตัว

2. ใช้แผนการทดลองแบบ 3x3 Latin square design มีการจัดสิ่งทดลอง (treatment) ตามสูตรอาหารในการทดลองดังนี้

กลุ่มที่ 1 โคเจาะกระเพาะ ได้รับ TMR ตามปกติ (ไม่เสริม calcium salt of palm oil fatty acid)

กลุ่มที่ 2 โคเจาะกระเพาะ ได้รับ TMR เสริม calcium salt of palm oil fatty acid 150 กรัม/วัน

กลุ่มที่ 3 โคเจาะกระเพาะ ได้รับ TMR เสริม calcium salt of palm oil fatty acid 300 กรัม/วัน

อาหารที่ได้รับเป็นTMR ปริมาณ 20 กิโลกรัมต่อวันโดยแบ่งเป็น 2 ครั้ง ในเวลา 08.00 น. และ 16.00 น. โดยมีพื้นที่ให้โคอยู่ได้อย่างมีอิสระ น้ำดื่ม มีอ่างน้ำสะอาดและแร่ธาตุก้อนสำหรับให้โคกินตลอดเวลาระยะเวลาในการทดลอง 63 วัน โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงการทดลองๆ ละ 21 วัน โดย 7 วันแรกเป็นการปรับตัว

ตารางที่ 4.1 แผนการทดลองของโค

	Fistulated cow 1	**Fistulated cow 2**	**Fistulated cow 3**
Period 1	Control	150 g Ca-POFA	300 g Ca-POFA
Period 2	150 g Ca-POFA	300 g Ca-POFA	Control
Period 3	300 g Ca-POFA	Control	150 g Ca-POFA

4.4.2 การเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ตัวอย่าง

โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วงการทดลองๆ ละ 21 วัน และสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วง 2 วันสุดท้าย ของแต่ละช่วงการทดลอง โดยทำการบันทึกและเก็บข้อมูลต่างๆ ดังนี้

4.4.2.1 การกินได้

ปริมาณการกินได้จะวัดทุกช่วงการทดลอง 5 วันติดต่อกันโดยทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักของอาหารก่อนโคกินหลังจากนั้นทำการชั่งอาหารที่เหลือจากการกินของโคในวันถัดไป (07.00 น.) และสุ่มเก็บอาหารประมาณ 10% นำไปอบไล่ความชื้นในตู้อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60ºC เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (Dry matter : DM) ของตัวอย่างอาหาร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีแบบประมาณ (Proximate analysis) (AOAC, 1990) ซึ่งวิเคราะห์วัตถุแห้งโดยเครื่อง Hot airoven โปรตีนหยาบ (Crude protein : CP) โดยเครื่อง Kjeltec auto analyzer ไขมัน (Ether extract : EE) โดยเครื่อง Soxhlet auto-analyzer

4.4.2.2 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

สุ่มเก็บตัวอย่าง Rumen fluid โดยใช้มือล้วงเข้าไปภายในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะทำการสุ่ม Digesta ภายในกระเพาะหมัก 5 ตำแหน่ง ทำการเก็บที่เวลา 0, 3 และ 6 หลังการให้อาหาร บีบเอาน้ำ Rumen fluid ปริมาตร 60 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml เพื่อวัดความเป็นกรดเป็นด่างทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง pH meter ที่ได้รับการปรับ (Calibrate) ด้วยการใช้ Buffers ที่ pH 7.0 และ pH 4.0 ก่อน

4.4.2.3 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N)

สุ่มเก็บตัวอย่าง Rumen fluid ปริมาตร 18 ml ใส่ในหลอด Centrifuge ขนาด 50 ml บรรจุด้วย 1 M H_2SO_4 ปริมาตร 2 ml เพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 2500 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาส่วนใส (Supernatant) บรรจุลงในขวดขนาด 25 ml ปิดด้วยจุกเกลียวแล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อนำไปวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ด้วยเครื่อง Kjeltec auto-analyzer

4.4.2.4 กรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids; VFAs)

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของกรดไขมันระเหยได้โดยวิธี Gas Chromatography (GC) โดยจะทราบถึงองค์ประกอบ ชนิดและปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของสารตัวอย่างคือ acetate acid, propionate acid และ butyrate acid โดยการสุ่มเก็บตัวอย่าง Rumen fluid ปริมาตร 18 ml ใส่ในหลอด Centrifuge ขนาด 50 ml บรรจุด้วย 1 M H_2SO_4 ปริมาตร 2 ml เพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาส่วนใส (Supernatant) บรรจุลงในขวดขนาด 25 ml ปิดด้วยจุกเกลียวแล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20ºC จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ที่สำคัญ ด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC)

4.4.2.5 การวัดการ Degradability ภายในกระเพาะหมักโดยใช้ Nylon bag Technique

นำตัวอย่างอาหาร TMR มาศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักโดยการใช้ถุงไนล่อน (Nylon bag) บ่มในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ (Rumen Degradability or *In sacco* Digestibility) (ørskov et al., 1980) โดยการนำตัวอย่างอาหารที่บดไว้ และถุงไนล่อนที่มีขนาดรูพรุนของถุง 4 μm ที่ใช้ในการทดลอง ไปอบที่อุณหภูมิ 60ºC เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักถุง นำตัวอย่างอาหารที เอ็มอาร์ ชั่งใส่ถุงไนลอนปริมาณ 5 กรัม บันทึกน้ำหนักไว้แล้วนำมาร้อยติดกับเชือก นำไปหย่อนในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะโดยให้ถุงไนลอนอยู่ลึกที่สุดของกระเพาะหมัก และให้แต่ละถุงมีระยะเวลาการบ่มอยู่ในกระเพาะหมักต่างกันดังนี้คือ 0 3 6 12 24 48 และ 72 ชั่วโมง โดยใช้โคเจาะกระเพาะจำนวน 3 ตัว โดยแต่ละตัวจะเป็นซ้ำ เมื่อบ่มถุงไนล่อนในกระเพาะหมักของโคได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะหมัก นำมาล้างเพื่อเอาเศษอาหารที่ติดจากกระเพาะหมักออก เมื่อได้ตัวอย่างครบตามเวลาแล้ว นำถุงไนล่อนทั้งหมดมาล้างผ่านน้ำจนสะอาด หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนทั้งหมดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60ºC เป็นเวลา 48 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำไปชั่งเพื่อวิเคราะห์หาการย่อยได้ของวัตถุแห้ง นำตัวอย่างที่เหลือไปวิเคราะห์หาโปรตีนหยาบโดยใช้เครื่อง Kjeltec auto analyzer เพื่อคำนวณสัดส่วนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ เพื่อทำนายอัตราการย่อยสลายได้ดังนี้

การคำนวณอัตราการย่อยสลายโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY EXCEL (Chen et al., 1996) ตามสมการดังนี้ คือ

$$dg_p = a + b\,(1-\exp^{-ct})$$

$$dg_e = a + bc/(c+k)$$

เมื่อ dg_p = potential degradability

dg_e = effective degradability

a = water soluble N extracted by cold water rinsing (0 h bag)

b = potentially degrade N, other than water soluble N

c = fraction rate of degradation of feed N per hour

t = incubation time

k = Fractional outflow rate of digesta per hour

4.4.2.6 องค์ประกอบของกรดไขมันของของเหลวในกระเพาะหมัก

สุ่มเก็บตัวอย่าง Rumen fluid ปริมาตร 20 ml ใส่ในหลอด Centrifuge ขนาด 50 ml บรรจุด้วย Dichloromethane-Chloroform (2:1 v/v) ปริมาตร 27 ml จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 8 ml และนำไป Centrifuge ที่ 2800 รอบต่อนาทีระยะเวลา 15 นาทีจากนั้นเติม 36% NaCl ปริมาตร 8 ml และนำไป Centrifuge ที่ 2800 รอบต่อนาทีระยะเวลา 15 นาทีจากนั้นกรองนำส่วนใสใส่ในหลอด Centrifuge ขนาด 50 ml อันใหม่เติม Dichloromethane-Chloroform (2:1 v/v) ปริมาตร 10 ml นำไป centrifuge ที่ 2800 รอบต่อนาทีระยะเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ 1 คืนเพื่อให้เกิดการแยกชั้นอย่างชัดเจน ดูดตัวอย่างชั้นล่างส่วนใสใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 15 ml ปริมาตร 6 ml และนำไปทำให้แห้งโดยใช้ N_2 จากนั้นเก็บไว้ภายใต้ N_2 gas ที่อุณหภูมิ-20ºC จนกว่าจะนำมาทำ Methylation การทำ methylation เติม 14% BF_3/MeOH ปริมาตร 2 ml ใส่ในหลอดทดลองที่ทำการ Saponification ที่สมบูรณ์แล้วทำการเติม internal standard ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (ใช้ C17:0 ความเข้มข้นแน่นอนที่ 2.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรใน hexane) ไล่อากาศภายในหลอดทดลองด้วยแก๊สไนโตรเจนปิดฝาหลอดทดลองให้สนิท ให้ความร้อนที่ 100ºC ใน water bath นาน 5 นาทีระหว่างนั้นควรเขย่าอย่างน้อย 1-2 ครั้งแล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องปกติ

เท solution ที่ได้จากการทำ methylation ลงในหลอด centrifuge ฝาเกลียวขนาด 50 มิลลิลิตร นำไป centrifuge ที่อุณหภูมิ 10ºC ที่ความเร็ว 5000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาทีเพื่อให้ liquid-liquid phase แยกได้ดีขึ้น เติม hexane 3 มิลลิลิตรและน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทำการเขย่าเบาๆ ทำการดูด hexane ที่อยู่ชั้นบนและ dry น้ำที่อาจติดออกมาด้วย Na_2SO_4 ต้องให้แน่ใจว่าไม่มีน้ำปนเพราะน้ำที่หลงเหลืออยู่อาจมีผลต่อ GC ซึ่งเป็น polar และ ion exchange column เก็บตัวอย่างที่ dry น้ำออกเรียบร้อยแล้วไว้ในขวดสีชาไล่อากาศด้วยแก๊สไนโตรเจนหลังจากนั้นนำตัวอย่าง Fatty acid methyl ether (FAME) ที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ Fatty acid โดย เครื่อง Gas Chromatography (GC) HP6890 Condition ของการวิเคราะห์ด้วย GC:

Column : SP-2560 100 m × 0.25 ID × 0.20 um film

Oven : 140ºC 5 min to 240ºC at 4ºC/min hold 15 min

Detector : FID, 260ºC

Injector : split 100 : 1, 250ºC

4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลที่บันทึกได้จากการทดลองนำเข้าประมวลผลและวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ 3x3 Latin squares โดยใช้ Proc. GLM (SAS, 1996) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1980)

4.6 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 10

4.7 ระยะเวลาการทำทดลอง

วันที่ 10 มกราคม 2559 ถึง วันที่ 1 เมษายน 2559

4.8 ผลการทดลอง

4.8.1 การกินได้วัตถุแห้ง โปรตีน และไขมัน

องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 โดยโคเจาะกระเพาะทั้งสามกลุ่มการทดลองจะได้รับอาหาร TMR ที่มีคุณค่าทางโภชนะที่เหมือนกัน ได้แก่ 41.55% วัตถุแห้ง 15.40% โปรตีน 3.86% ไขมัน 7.95% เถ้า 50.30% NDF 32.43% ADF และ 5.56% ADL ส่วน Ca-POFA ที่ใช้ในการทดลอง มีองค์ประกอบทางเคมี คือ 96.88% วัตถุแห้ง 85.6% ไขมัน และ 14.4% เถ้า

จากตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายและเปอร์เซ็นต์การไหลผ่านของ Ca-POFA ในกระเพาะหมักที่ระดับ pH แตกต่างกัน จากการทดลองระดับ pH ในกระเพาะหมักในชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหารอยู่ที่ 6.27-6.33% การ by pass จะอยู่ที่ระดับ 90.1-96.9% หรือเฉลี่ยประมาณ 93%

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR และ Ca-POFA

Composition	TMR	Ca-POFA
Dry matter	41.55	96.88
Crude protein	15.40	-
Crude fat	3.86	85.6
Ash	7.95	14.4
Neutral detergent fiber	50.30	-
Acid detergent fiber	32.43	-
Acid detergent lignin	5.56	-

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายและเปอร์เซ็นต์การไหลผ่านของ Ca-POFA ในกระเพาะหมัก

Rumen pH	**% dissociated**	**% Bypass**
4.0	90.0	10.0
4.5	76.0	24.0
5.0	50.0	50.0
5.5	24.0	76.0
6.0	9.1	90.1
6.5	3.1	96.9

ที่มา: Shelke et al (2012)

ปริมาณการกินได้ของโคเจาะกระเพาะที่ได้รับจากอาหาร TMR แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 พบว่าการเสริม Ca-POFA ไม่มีผลต่อการกินได้วัตถุแห้งของ TMR แต่การกินได้วัตถุแห้งรวมของโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มากกว่าโคที่ไม่ได้รับการเสริม Ca-POFA (กลุ่มควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สำหรับการกินได้โปรตีนจาก TMR นั้นไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่มการทดลอง อย่างไรก็ตามการเสริม Ca-POFA ส่งผลให้การกินได้ของไขมันของกลุ่มทดลองที่เสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 และ 300 กรัมต่อวัน สูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.01$) และกลุ่มการทดลองที่เสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มีการกินได้ของไขมันสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่เสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d

ตารางที่ 4.4 ปริมาณการกินได้ของโคเจาะกระเพาะที่ได้รับ TMR

Item	Control	150 g/d	300 g/d	SEM	P-value
Dry matter intake (kg/d)					
TMR	8.21	8.21	8.21	-	-
Ca-POFA	0	0.145	0.291	-	-
Total	8.21[b]	8.35[b]	8.50[a]	0.040	0.001
Crude protein intake (g/d)					
TMR	1264	1264	1264	6.262	0.922
EE intake (g/d)					
TMR	317	317	317	-	-
Ca-POFA	0	124	249	-	-
Total	317[c]	441[b]	566[a]	0.001	0.001

[a, b, c] หมายถึง อักษรในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P< 0.05)

SEM = standard error of the mean; TMR = total mixed ration; Ca-POFA = calcium salt of palm oil fatty acids

4.8.2 ปริมาณการกินได้ของกรดไขมันในโคเจาะกระเพาะ

ปริมาณการกินได้ของกรดไขมันในโคเจาะกระเพาะที่ได้รับจาก TMR และ Ca-POFA แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 พบว่าการเสริม Ca-POFA ส่งผลให้การกินได้ของกรดไขมันเกือบทุกชนิด (C14:0-C18:3n-3) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.001) เมื่อเทียบจากกลุ่มควบคุม (P<0.05) และโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มีการกินได้กรดไขมัน C14:0-C18:3n-3 มากกว่าโคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.001)

4.8.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการทดลองพบว่าการเสริม Ca-POFA ไม่สงผลต่อ pH เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (P>0.05) อีกทั้งค่า pH ยังมีค่ามากกว่า 6 เนื่องจากการให้อาหาร TMR เพื่อการควบคุมระดับ pH ในกระเพาะหมัก (ตารางที่ 4.6)

4.8.4 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการทดลองพบว่าการเสริม Ca-POFA ไม่สงผลต่อNH_3N ในกระเพาะหมักเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (P>0.05) และ NH_3N มีค่าสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 3 และลดต่ำลงในชั่วโมงที่ 6 (ตารางที่ 4.6)

4.8.5 ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก

ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก ซึ่งจะแสดง ถึงปริมาณของกรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริก และอัตราส่วนของอะซิติกต่อโพรพิออนิก ที่เวลา 0 3 6 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร เมื่อมีการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d พบว่าระดับของกรดอะซิติกมีค่าสูงขึ้นและกรดโพรพิออนิกลดลง ในชั่วโมงที่ 3 และ 6 หลังการให้อาหาร ($P<0.05$) และยังทำให้อัตราส่วนของกรดอะซิติก: กรดโพรพิโอนิก สูงขึ้นด้วย (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.5 การกินได้ของกรดไขมันในโคเจาะกระเพาะ (กรัมต่อวัน)

Fatty acids	Control	150 g/d	300 g/d	SEM	P-value
C12:0	22.53	22.66	22.84	0.113	0.056
C14:0	9.41^{c}	9.73^{b}	10.08^{a}	0.047	0.001
C16:0	136.34^{c}	146.70^{b}	157.33^{a}	0.681	0.001
C18:0	6.59^{c}	9.52^{b}	12.45^{a}	0.032	0.001
C18:1n-9	88.74^{c}	150.18^{b}	211.79^{a}	0.445	0.001
C18:2n-6	50.92^{c}	99.34^{b}	147.86^{a}	0.254	0.001
C18:3n-3	1.28^{c}	1.51^{b}	1.75^{a}	0.005	0.001
Total	315.82^{c}	439.66^{b}	564.12^{a}	1.582	0.001

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.6 ผลการเสริม Ca-POFA ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ภายในกระเพาะหมักและกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก (VFA) ที่เวลาต่างๆ หลังการให้อาหาร

Details	**Control**	**150 g Ca-POFA**	**300 g Ca-POFA**	**SEM**	**P-value**
0 h (Before feeding)					
pH	6.82	6.86	6.81	0.079	0.351
NH_3N (mg/l)	25.45	29.53	27.49	1.175	0.500
Acetate (mol/100mol)	70.44	69.82	70.29	0.913	0.886
Propionate (mol/100mol)	20.72	20.69	20.20	0.747	0.867
Butyrate (mol/100mol)	8.82	9.49	9.50	0.425	0.543
A:P ratio	3.40	3.39	3.49	0.173	0.907
3 h Post-feeding					
pH	6.35	6.27	6.33	0.204	0.502
NH_3N (mg/l)	50.51	50.92	51.74	0.597	0.731
Acetate (mol/100mol)	70.36^{b}	69.79^{c}	73.77^{a}	0.001	0.001
Propionate (mol/100mol)	20.77^{b}	21.65^{a}	20.37^{c}	0.001	0.001
Butyrate (mol/100mol)	8.86	8.56	5.85	0.654	0.358
A:P ratio	3.42^{b}	3.25^{c}	3.63^{a}	0.001	0.001
6 h Post-feeding					
pH	6.43	6.39	6.57	0.174	0.478
NH_3N (mg/l)	28.00	30.24	32.48	1.293	0.500
Acetate (mol/100mol)	70.99^{b}	70.68^{c}	73.95^{a}	0.001	0.001
Propionate (mol/100mol)	20.32^{b}	21.01^{a}	20.22^{c}	0.001	0.001
Butyrate (mol/100mol)	8.68	8.30	5.82	0.679	0.379
A:P ratio	3.52^{b}	3.38^{c}	3.66^{a}	0.001	0.001

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.7 ผลการเสริม Ca-POFA ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมักในระยะเวลาต่างๆ (g/100 gFA)

	Control	150 g/d Ca-POFA	300 g/d Ca-POFA	SEM	P-value
0 h before feeding					
C12:0	3.24	3.28	3.21	0.853	0.697
C14:0	4.00	4.14	4.24	0.707	0.843
C16:0	37.42	39.99	38.15	0.989	0.780
C18:0	34.94	34.94	35.91	0.871	0.969
C18:1n-9	13.75	11.57	12.97	0.943	0.534
C18:2n-6	6.01	5.56	5.03	0.607	0.389
C18:3n-3	0.64	0.51	0.49	0.167	0.811
3 h post-feeding					
C12:0	3.78	3.47	4.25	0.552	0.566
C14:0	4.49	4.09	5.11	0.417	0.311
C16:0	43.99	42.90	44.79	0.766	0.613
C18:0	30.67	31.74	28.67	0.987	0.980
C18:1n-9	11.29	11.06	11.84	0.857	0.977
C18:2n-6	5.30	6.31	4.80	0.935	0.681
C18:3n-3	0.47	0.44	0.53	0.083	0.682
6 h post-feeding					
C12:0	3.99	3.87	3.82	0.090	0.753
C14:0	4.98	4.51	4.54	0.775	0.958
C16:0	38.54	41.42	40.77	0.933	0.504
C18:0	30.43	30.38	29.90	1.088	0.974
C18:1n-9t	6.03	5.47	5.48	0.102	0.211
C18:1n-9c	9.52	8.76	9.89	0.690	0.587
C18:2n-6	5.97	5.13	5.14	0.294	0.270
C18:3n-3	0.53	0.45	0.46	0.028	0.298

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.8.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก

จากผลการทดลองเสริม Ca-POFA ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก พบว่า การเสริม Ca-POFA ไม่ส่งผลต่อกรดไขมันในกระเพาะหมักเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) ในทุกเวลาที่สุ่มเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ 4.7)

4.8.7 การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของ TMR

การศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้งและการย่อยสลายของโปรตีน พบว่าอัตราการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้ของโปรตีนของอาหาร TMR เมื่ออาหาร TMR มีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนาน ขึ้น วัตถุแห้งและโปรตีนในอาหาร TMR จะมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลาที่บ่มอยู่ในกระเพาะหมักดังที่แสดงในตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหาร TMR

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง						
	0 ชั่วโมง	**3 ชั่วโมง**	**6 ชั่วโมง**	**12 ชั่วโมง**	**24 ชั่วโมง**	**48 ชั่วโมง**	**72 ชั่วโมง**
Degradability of	..... (%)						
DM							
TMR	16.7	51.0	54.4	56.4	75.6	80.7	85.1
Degradability of CP	..... (%)						
TMR	11.7	62.8	66.0	71.3	78.7	86.0	88.8

ตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหาร TMR

Disappearance (%)	**A**	**B**	**C**	**A+B**	**Effective disappearance (%)**		
					0.02	**0.05**	**0.08**
DM disappearance (%)	44.7	42.9	0.041	87.6	78.5	73.5	64
CP disappearance (%)	59.2	31.3	0.040	90.5	80.2	73.2	69

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.9 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.9.1 การกินได้วัตถุแห้ง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จำกัดการกินได้อาหาร TMR ให้อยู่ในระดับต่ำ เพื่อให้โคเจาะกระเพาะทุกกลุ่มกินอาหารได้หมดการกินได้วัตถุแห้งของโคเจาะกระเพาะที่เสริม Ca-POFAที่ระดับ 300 g/d มากกว่าในโคกลุ่มควบคุมและ โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA 150เนื่องจากมีการเสริม Ca-POFA ถึง 300 g/d จึงทำให้การกินได้ของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น อีกทั้งการกินได้ของไขมันของโคเจาะกระเพาะที่เสริม Ca-POFA ที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เนื่องจาก Ca-POFA มีไขมัน 85.6% ส่งผลให้การกินได้ของไขมันของโคเจาะกระเพาะในกลุ่มที่มีการเสริม Ca-POFA มากกว่าโคนมในกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาหลายๆ การศึกษาที่ทดสอบความแตกต่างโดยตรงระหว่าง FFA และ Ca-LCFA ต่อ DMI fatty acid digestibility และ BW changes จากข้อมูลชี้ให้เห็นว่า มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยของการย่อยได้ FA ที่ได้รับจาก Ca-LCFA หรือ FFA

4.9.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการศึกษาพบว่าความเป็นกรด-ด่างนั้นส่งผลต่อการละลายได้ของ Ca-POFA โดย Chalupa (1986) ได้รายงานว่า Calcium salts of long chain fatty acids (Ca-LCFA) เป็นสบู่ที่ไม่ละลาย ผลิตโดยปฏิกิริยาของ carboxyl group ของ long chain fatty acids (LCFA) และ calcium salts (Ca^{++}) ความสามารถในการป้องกันการละลายของ Calcium soaps ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก (rumen pH) และชนิดของกรดไขมัน เมื่อ rumen pH มากกว่า 5.5, Ca-LCFA จะไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก การแตกตัวจะมีนัยสำคัญ เมื่อ pH ลดลงถึง 6.0 อีกทั้งได้มีการงานสภาวะความเป็นกรดที่แตกต่างกันต่อการแตกตัวของ Ca-POFA อีกด้วย (ตารางที่ 4.3) ในสภาวะที่ pH ในกระเพาะจริงเป็นกรด กรดไขมันใน Ca-LCFA จะแตกตัว และดูดซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพในลำไส้เล็ก ในบรรดา bypass fat รูปแบบต่างๆ Ca-LCFA จะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักน้อยกว่า (Elmeddah et al., 1991) แต่มีการย่อยได้ในกระเพาะส่วนล่างสูงที่สุด (Dairy Technical Service Staff, 2002) และยังเป็นแหล่งที่ให้แคลเซียมอีกด้วย (Naik et al., 2007a; 2007b) เนื่องจากการทดลองได้ใช้ Calcium salts of long chain fatty acids ในรูปของ Ca-POFA ระดับของ pH ในกระเพาะหมักจึงมีความสำคัญ และได้มีการใช้อาหาร TMR เพื่อควบคุมปัจจัยดังกล่าวให้คงที่เพื่อลดการแตกตัวของ Ca-POFA ในกระเพาะหมักการศึกษาครั้งนี้ระดับ pH ในกระเพาะหมักในชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหารอยู่ระหว่าง 6.27-6.33% การ by pass จะอยู่ที่ระดับ 90.1-96.9% หรือเฉลี่ยประมาณ 93% การเสริม Ca-POFA จึงไม่ส่งผลต่อระดับ pH และระดับ pH นี้ไม่ทำให้ Ca-POFA ย่อยสลายในกระเพาะหมัก

4.9.3 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการศึกษาพบว่าระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในการทดลองครั้งนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แอมโมเนียไนโตรเจนนับเป็นผลผลิตหนึ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักย่อยของ จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักโดยเกิดจากการย่อยสลายของโปรตีนในอาหาร โปรตีนจากจุลินทรีย์และสารประกอบ NPN (Non protein nitrogen) ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในกระเพาะหมักนั้นมีความผันแปร ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการให้อาหาร ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรทที่มีและแหล่งของแร่ธาตุ ความถี่ของการให้อาหาร (เมธา วรรณพัฒน์, 2533) ทั้งนี้เนื่องจากการกินได้ของTMR และการกินได้ของโปรตีนรวมของโคแต่ละกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งเนื่องมาจากการควบคุมการให้ TMRเพราะไม่ต้องการให้ค่าความเป็นกรดเป็น-ด่างลดต่ำลง ซึ่งจะมีผลต่อการแตกตัวของ Ca-POFA ในกระเพาะหมักSatter and Slyter (1974) แนะนำไว้ว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมในกระเพาะหมักนั้น ควรจะอยู่ในระดับที่ทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเจริญเติบโตดีที่สุดและมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงที่สุด คืออยู่ในช่วง 50-80 มิลลิกรัม/ลิตร ในการทดลองครั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าต่ำกว่า Satter and Slyter (1974) ในชั่วโมงที่ 0 และ 6 หลังการให้อาหาร แต่พบว่า ชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหารแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ในระดับที่เหมาะสมคือ 48.47-53.3 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางที่ 4.6) เนื่องจากเป็นช่วงที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีนในอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ทำให้ได้ผลผลิต คือ แอมโมเนียไนโตรเจน

4.9.4 ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก

กรดไขมันระเหยได้เป็นผลผลิตจากการหมักย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก โดยกรดไขมันระเหยได้จะถูกขนส่งจากกระเพาะหมัก 2 ทางคือ การดูดซึมผ่านผิวผนังชั้น Epithelium ของกระเพาะหมักและรวมไปกับของเหลวจากกระเพาะหมักผ่านทาง Reticulo-omasal orifice (Peters, Shen, and Chester, 1990) ซึ่งพบว่ากรดไขมันระเหยได้ถูกใช้เป็นพลังงานของโคนมถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (Bergman, 1990) กรดไขมันระเหยได้มีสภาวะเป็นกรด ถ้าในกระเพาะหมักนั้นมีปริมาณของกรดไขมันระเหยได้มากเกินไปนั้นจะทำให้ pH ในกระเพาะหมักลดลงและอาจเกิด Rumen acidosis (Barker, Van Dreumel, and Palmer, 1995) จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ คือ กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิออนิก ที่ชั่วโมง 0, 3 และ 6 หลังการให้อาหาร การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วันส่งผลให้ระดับของ Acetate เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 3 และ 6 หลังการให้อาหาร (P<0.05) และ การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วันส่งผลให้ระดับของ Propionate ลดลงในชั่วโมงที่ 3 และ 6 หลังการให้อาหาร (P<0.05) เช่นเดียวกับ Schauff and Clark

(1992)ได้รายงานว่า เมื่อระดับการเสริม Ca-LCFA ในอาหารเพิ่มขึ้น ruminal pH และ ความเข้มข้นของ TVFA ใน ruminal fluid ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ molar percentage ของ acetate และ acetate: propionate ratio เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งได้รายงานว่า ซึ่งระดับของความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 69.79-73.95 (mol/100 mol) ระดับของความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 20.20-21.65 (mol/100 mol) ระดับของความเข้มข้นของกรดบิวทีริกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 5.82-9.5 (mol/100 mol) และ อัตราส่วนกรดอะซิติกต่อโพรพิออนิกมีค่าอยู่ระหว่าง 3.25-3.66 โพรพิโอนิก และบิวทีริก จะเป็นพลังงาน 2 ใน 3 ของพลังงานที่ย่อยได้จากอาหารทั้งหมด ถ้าสัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับอาหารหยาบ คุณภาพดีปริมาณของกรดอะซิติกจะมากกว่ากรดโพรพิโอนิก หรือบิวทีริกปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ ดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการให้อาหาร สัดส่วนของอาหาร แต่ปริมาณเยื่อใยกับขนาดความยาวของเยื่อใยและปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายจะมีอิทธิผลต่ออัตราส่วนกรดไขมันที่ระเหยได้มากที่สุด ถ้าให้อาหารที่มีแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายมาก และปริมาณเยื่อใยน้อยลงจะทำให้อะซิเตทผลิตน้อยลง และโพรพิโอเนทจะเพิ่มขึ้น (วิโรจน์, 2546)

4.9.5 องค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก

จากการศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมักหลังการให้อาหารในชั่วโมงที่ 0, 3 และ 6 พบว่าการเสริม Ca-POFA ไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมักเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมการละลายของ Ca-POFA โดยการควบคุมระดับของ pH ในกระเพาะหมักจึงส่งผลให้ Ca-POFA ละลายได้น้อยจึงไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก Chalupa et at, (1986) ได้รายงานว่า Calcium salts of long chain fatty acids (Ca-LCFA) เป็นสบู่ที่ไม่ละลายในกระเพาะหมักเนื่องจากความสามารถในการป้องกันการละลายของ Calcium soaps ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก (rumen pH) และชนิดของกรดไขมัน อีกทั้ง Shelke et al, (2012) ได้รายงานว่าเมื่อ pH ในกระเพาะหมักลดลงถึง 4 จะส่งผลให้ Ca-POFA มีการแตกตัวในกระเพาะหมักถึง 90% แต่เมื่อระดับของ pH ในกระเพาะหมักมีค่าสูงกว่า 6.5 จะส่งผลให้ Ca-POFA มีอัตราการไหลผ่านสูงถึง 96.9 % หรือมีอัตราการแตกตัวในกระเพาะหมักเพียง 3.1 % (ตารางที่ 4.3) จากการทดลองพบว่าค่า pH ที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 6.27 จะเห็นได้ว่าอัตราไหลผ่านของ Ca-POFAจะประมาณ 93% จึงทำให้การเสริม Ca-POFA ไม่ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก อย่างไรก็ตามยังมีผลงานการวิจัยที่ขัดแย้งกับการทดลองนี้และได้มีการรายงานว่า ถึงแม้ว่า Ca-LCFA จะถูกย่อยสลายได้น้อยในกระเพาะหมัก *in vitro* นอกจากนี้ Wu and Palmquist (1991) พบว่า 18C UFA ใน Ca-LCFA ถูก bio-hydrogenate 8% *in vivo* นักวิจัยกล่าวว่า กระบวนการ bio-hydrogenationจะเกิดขึ้นหลังจากการแตกตัวของ Ca salt ในขณะที่ Hawke and Silcock (1969) มีการค้นพบเหมือนกัน และสรุปว่ากระบวนการ bio-

hydrogenationต้องการ free carboxyl group ของ FA ในการเกิด bio-hydrogenationต่อเนื่อง ผลที่ตามมา คือ Ca-LCFA จะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก ดังนั้นเป็นไปได้ว่า UFA มีผลกระทบเชิงลบต่อกระบวนการหมักย่อยในกระเพาะหมัก Wu and Palmquist (1991) สรุปเช่นกันว่าเปอร์เซ็นต์การเกิด bio-hydrogenationเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของ UFA เพิ่มขึ้น จะเกิดผลกระทบเชิงลบของ UFA ต่อการย่อยได้เยื่อใย

4.10 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 0,150 และ 300 g/d พบว่าไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) และองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 3000 กรัม/วันส่งผลให้ระดับของ Acetate เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 3 และ 6 หลังการให้อาหารและ การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วันส่งผลให้ระดับของ Propionate ลดลงในชั่วโมงที่ 3 และ 6 หลังการให้อาหาร

4.11 รายการอ้างอิง

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.**ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะ เกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดฟันนีพับลิชชิง.

วิโรจน์ ภัทรจินดา. (2546). **โคนม**. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 450 น.

Association of Official Analytical Chemists. (1990). **Official Method of Analysis**. Washington D. C. p. 1298.

Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. **Physiological Reviews.** 70: 567-590.

Barker, I. K., Van Dreumel, A. A., and Palmer, N. (1995). The alimentary system. Page 1 in **Pathology of Domestic Animals**. 4th.ed. Vol 2. K. V. F. Jubb, P. C. Kennedy, N. Palmer, ed. Academic Press, San Diego, CA.

Brzóska, F., Gąsior, R., Sala, K., &Zyzak, W. (1999). Effect of linseed oil fatty acid calcium salts and vitamin E on milk yield and composition. **Journal of Animal Feed and Science**, 8(3): 367-378.

Chen, X.B. 1996. **An Excel Application Programme for Processing Feed Digestibility Data**. User Manual, Rowett Research Institute, Bucksburn, Aberdeen, UK.

Chalupa, W. 1986. Ruminal fermentation in vivo as influenced by long-chain fatty acids. **Journal of Dairy Science** 69: 1293-1301.

Dairy Technical Service Staff. (2002). **Enertia PFA calcium salts of palm fatty acids (PFA), Rumen Bypass Fat, The Official Answer Guide.** ADM Animal Health and Nutrition, 1000 N. 30th Quincy. IL62301: 877-236-2460.

Elmeddah, Y., and Doreau, M. (1991). Interaction of lipid supply and carbohydrates in the diet of sheep with digestibility and ruminal digestion. **The Journal of Agricultural Science**. 116: 437-445.

Hawke, J. C., and Silcock, W. R. (1969). Lipolysis and hydrogenation in the rumen. **Biochemical Journal.** 112: 131.

Naik, P. K., Saijpaul, S., and Rani, N. (2007). Preparation of rumen protected fat and its effect on nutrient utilization in buffaloes.Indian **Journal of Animal Nutrition**. 24(4): 212-15.

Naik, P. K., Saijpaul, S., and Rani. N., (2007). Evaluation of rumen protected fat prepared by fusion method. **Animal Nutrition and Feed Technology.** 7: 95-101.

Ørskov, E. R., and Ryle, M. (1998). **Energy Nutrition in Ruminants.**Lincoln. Chalcombe Publications.

Palmquist, D. L. (1991). Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. **Journal of Dairy Science**. 74 :1354-1360.

Peters, J. P., Shen, R. Y. W. and Chester, S. T. (1990). Propionic acid disappearance from the foregut and small intestine of the beef steer. **Journal of Dairy Science** 68: 3905-3913.

Schauff, D., and J. Clark. 1992. Effects of feeding diets containing calcium salts of long-chain fatty acids to lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 75: 2990-3002.

Statistical Analysis System. (1996). **SAS User' Guide: Statistics**. NC: SAS Institute

Satter, L. D. and Slyter, L. L. (1974). Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro**. British Journal of Nutrition.** 32: 199-208.

Steel, R. G. D., and Torries, J. H. (1980). **Principles and Procedures of Statistics a Biometric Approach** (2 nd Ed). McGrowHill: New York.

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ผลการศึกษาการเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มที่ระดับ 0 150 และ 300 กรัม/วัน ต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม ผลผลิตองค์ประกอบของน้ำนม การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณของกรดไขมันในน้ำนม รวมถึงการศึกษาเกี่ยวกับ การหมักย่อยในกระเพาะหมัก โดยทำการทดลองในโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน

1. จากผลการทดลองการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 0 150 และ 300 g/d พบว่าไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม ผลผลิตองค์ประกอบของน้ำนม และการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว แต่การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมลดลง นอกจากนี้ยังพบว่ากรดไขมัน C6:0 C8:0 C16:0 C16:1 C18:1t C18:2 C18:3 และ C9,T11 CLA ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกรดไขมัน C10:0 ถึง C14:0 ลดลง โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 150 g/d มีสัดส่วนของกรดไขมัน C18:0 ต่ำที่สุด ในขณะที่โคที่ได้รับการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มีสัดส่วนของกรดไขมัน C18:1 สูงที่สุด การเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 300 g/d มีผลทำให้ SFA และ *De novo* FA ลดลงแต่ทำให้ MUFA และ Preformed FAs เพิ่มขึ้นในขณะที่ PUFA ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมันนัยสำคัญทางสถิติ

2. จากผลการทดลองการเสริม Ca-POFA ที่ระดับ 0 150 และ 300 g/d พบว่าไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) และองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก การเสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/วัน ส่งผลให้ระดับของ Acetate เพิ่มขึ้นแต่ส่งผลให้ระดับของ Propionate ลดลงในชั่วโมงที่ 3 และ 6 หลังการให้อาหาร

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและผลการทดลองพบว่าการเสริม Ca-POFA ไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำนมหรือองค์ประกอบของน้ำนม ส่วนหนึ่งนั้นมาจากระยะเวลาในการเสริมหรือจากระยะของการให้นมของโคนม ในงานวิจัยหลายงานได้รายงานว่าการเสริม Ca-POFA นั้นควรเสริมในช่วงก่อนคลอดและต่อเนื่องในช่วงต้นระยะให้นม เพื่อให้สัตว์ได้มีพลังงานไว้ใช้ให้เพียงพอในช่วงหลังคลอดเพื่อลด

การเกิดโรคที่เกิดจากกระบวนการเมทาบอลิซึมต่างๆ นอกจากนี้ยังให้พลังงานในการสร้างน้ำนมหลังคลอดอีกด้วย จึงมีข้อเสนอแนะว่าการใช้ Ca-POFA ในโคที่กำลังให้นมนั้นควรเลือกใช้ในโคที่ให้ผลผลิตสูงๆ เนื่องจากโคที่มีผลผลิตน้ำนมสูงต้องใช้พลังงานในการสร้างน้ำนมที่มากกว่าในขณะที่มีการกินได้ที่จำกัด จึงเป็นทางเลือกในใช้ Ca-POFA อีกทั้งในการใช้ Ca-POFA ในโคที่มีผลผลิตต่ำมักจะไม่ส่งผลต่อน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนม เนื่องจากส่วนมากในโคที่มีผลผลิตต่ำนั้นพลังงานที่ได้รับจากอาหารจะเพียงพอต่อความต้องการอยู่แล้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางวิเคราะห์วาเรียนซ์

➢ ปริมาณน้ำนม

Source	**df**	**SS**	**MS**	**F-value**	**Pr>F**
Treatment	2	41.39	20.69	0.40	0.541
Block	2	6.30	3.15	0.32	0.732
Error	19	148.90	7.83		
Total	23	196.59			

R2= 0.21 %CV = 22.76

➢ เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม

Source	**df**	**SS**	**MS**	**F-value**	**Pr>F**
Treatment	2	1.96	0.98	0.36	0.745
Block	2	0.38	0.19	0.50	0.500
Error	19	4.02	0.21		
Total	23	6.36			

R2= 0.32 %CV = 14.89

➢ เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม

Source	**Df**	**SS**	**MS**	**F-value**	**Pr>F**
Treatment	2	0.23	0.13	0. 54	0.025
Block	2	0.10	0.05	0.57	0.241
Error	19	0.49	0.02		
Total	23	0.82			

R2= 0.49 %CV = 7.27

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

➢ เปอร์เซ็นต์เคซีนในน้ำนม

Source	Df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.13	0.06	0. 09	0.076
Block	2	0.07	0.04	0.64	0.223
Error	19	0.32	0.02		
Total	23	0.52			

R2= 0.52 %CV = 7.71

➢ เปอร์เซ็นต์แลคโตสในน้ำนม

Source	Df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.01	0.01	0.12	0.845
Block	2	0.05	0.03	0.98	0.394
Error	19	0.39	0.02		
Total	23	0.45			

R2= 0.24 %CV = 3.67

➢ เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องมันเนยในน้ำนม

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.17	0.09	0. 52	0.323
Block	2	0.26	0.13	0.62	0.231
Error	19	1.23	0.06		
Total	23	1.66			

R2= 0.44 %CV = 3.56

➢ เปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำนม

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.53	0.26	0. 46	0.782
Block	2	1.13	0.56	0.98	0.392
Error	19	8.65	0.57		
Total	23	10.31			

R2= 0.38 %CV = 6.56

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายธนวัฒน์ ผลเกิด เกิดวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2535 ที่จังหวัดสุรินทร์ เริ่มศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนเมืองสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2548 จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับมัธยมศึกษา 1-6 ที่โรงเรียนสุรวิทยาคาร และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2554 จากนั้นได้ศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2558 และได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาในปี พ.ศ. 2558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี