

ผลของกากมันสำปะหลังหมักที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการต่อปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน การผลิตน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือดของโคนม

Effects of Nutrient-Enhanced Fermented Cassava Pulp on Feed Intake, Rumen Fermentation, Milk Production, and Blood Metabolites in Dairy Cows

ชัยวัฒน์ อาจิน¹ กรวรรณ ศรีงาม¹ ประมินทร์ วินิจชัยกุล² มลรัฐ แสงเกต¹ เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ¹

พชร ตาสุขใส¹ จุลภัทร ใจกันทะ¹ กรรณิการ์ พุทธโส¹ นิพนธ์ นันทะเรื่อน¹และ ปฏิภาณ หน่อแก้ว^{1*}

Chaiwat Arjin¹, Korawan Sringarm¹, Paramintra Vinitchaikul², Molarat Sangkate¹, Saowaluck Yammuen-Art¹, Patchara Tasuksai¹, Junlaphat Jaikanta¹, Kannika Puttaso¹, Nitthon Nantharuean¹ and Patipan Hnokaew^{1*}

¹ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

² คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹ Department of Animal and Aquatic Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

² Faculty of Veterinary Medicine, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: patipan.hnokaew@cmu.ac.th

(Received: 9 January 2026; Revised: 25 May 2026 ; Accepted: 26 May 2026)

Abstract: This study aimed to evaluate the effects of nutrient-enhanced fermented cassava pulp on feed intake, ruminal fermentation, milk production, and blood metabolites in dairy cows. Twelve Holstein Friesian cows with an average body weight of 450 ± 20.0 kg, in the 1st lactation, 130 ± 30 days in milk, and an average milk yield of 12.0 ± 2.0 kg/day were used in this experiment. Cows were fed a total mixed ration (TMR) containing 14% crude protein and were offered feed *ad libitum*. The experiment was conducted using an independent sample t-test design with two dietary treatments: a control group fed TMR without fermented cassava pulp (CON) and a treatment group fed TMR in which fermented cassava pulp replaced 20% of the diet on a dry matter (DM) basis (TREAT). The experiment lasted 59 days (a 14-day dietary adaptation period followed by a 45-day sample collection period). Feed intake and milk yield were recorded daily, while rumen fluid, milk, and blood samples were collected on days 0, 15, 30, and 45 of the experimental period to determine ruminal pH, ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) concentration, volatile fatty acid (VFA) profiles, milk composition, and blood metabolites. Results showed that on day 45, dry matter intake in the TREAT group was significantly lower than that in the CON group ($P < 0.05$).

However, on days 30 and 45, cows fed the FCP diet exhibited significantly greater ruminal $\text{NH}_3\text{-N}$ concentrations, total VFA concentrations, and propionate proportions compared with the control group ($P < 0.05$). No significant difference was observed between treatments in milk yield, milk composition, or blood metabolites. In conclusion, replacing 20% of the TMR with fermented cassava pulp enhanced rumen fermentation activity by increasing total VFA production and shifting fermentation toward greater propionate production, without adversely affecting milk production performance or the health status of lactating dairy cows.

Keywords: Fermented cassava pulp, rumen fermentation, milk production, dairy cows

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกากมันสำปะหลังหมักที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการต่อปริมาณการกินได้ การหมักในกระเพาะรูเมน การผลิตน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือดของโคนม โดยใช้โคนมสายพันธุ์ Holstein Friesian จำนวน 12 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 450 ± 20.0 กิโลกรัม อยู่ในรอบการให้นมที่ 1 (1st lactation) มีระยะการให้น้ำนม 130 ± 30 วัน และมีปริมาณการให้น้ำนมเฉลี่ย 12.0 ± 2.0 กิโลกรัมต่อวัน โคนมได้รับอาหารผสมครบส่วน (Total mixed ration; TMR) ที่มีระดับโปรตีน 14% และให้อาหารแบบ *ad libitum* วางแผนการทดลองแบบ independent sample t-test แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมที่ได้รับ TMR โดยไม่มีการทดแทนกากมันสำปะหลังหมัก (CON) และกลุ่มทดลองที่ได้รับ TMR ซึ่งมีการทดแทนกากมันสำปะหลังหมัก (Fermented cassava pulp; FCP) ในสูตรอาหารที่ระดับ 20% DM basis (TREAT) ทำการทดลอง 59 วัน (ระยะปรับอาหาร 14 วัน และระยะเก็บตัวอย่าง 45 วัน) มีการบันทึกปริมาณการให้อาหารและการให้น้ำนมทุกวัน และเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะรูเมน น้ำนม และเลือดในวันที่ 0, 15, 30 และ 45 ของการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ค่า pH ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acids; VFA) องค์ประกอบน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือด ผลการศึกษาพบว่า ในวันที่ 45 กลุ่ม TREAT มีปริมาณการกินวัตถุดิบแห้งต่ำกว่ากลุ่ม CON อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 30 และ 45 กลุ่ม TREAT มีความเข้มข้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวม และสัดส่วนโพธิ์โอเนตสูงกว่ากลุ่ม CON อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่ปริมาณน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือดไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง การศึกษาครั้งนี้จึงสรุปได้ว่าการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนพื้นฐานวัตถุดิบแห้งสามารถช่วยเพิ่มกิจกรรมการหมักในกระเพาะรูเมนและปรับรูปแบบการหมักไปสู่การผลิตโพธิ์โอเนตมากขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการให้น้ำนมและสุขภาพของโคนม

คำสำคัญ: กากมันสำปะหลังหมัก การหมักในกระเพาะรูเมน การผลิตน้ำนม โคนม

คำนำ

อุตสาหกรรมโคนมของประเทศไทยมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและความมั่นคงทางอาหารของประเทศ อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงโคนมในปัจจุบันกำลังเผชิญกับปัญหาต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะต้นทุนค่าอาหารสัตว์ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนมากกว่า 55 % ของต้นทุนการผลิตน้ำนม (Ragkos *et al.*, 2021)

ถือเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่ง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในภาคส่วนอื่น ประกอบกับการพึ่งพาวัตถุดิบนำเข้าซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความผันผวนของราคา ส่งผลให้ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์สูงขึ้น ดังนั้น เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมจึงจำเป็นต้องปรับตัวโดยมุ่งเน้นการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีปริมาณมากและราคาถูกภายในประเทศเพื่อลดต้นทุนการผลิต

กากมันสำปะหลัง (Cassava pulp) วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรจากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังและเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพเพียงพอในการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกในการเลี้ยงโคนม เนื่องจากกากมันสำปะหลังก็ยังคงมีคุณค่าทางอาหารเหลืออยู่โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย ประมาณ 65-70 เปอร์เซ็นต์ จากรายงานของ Wanapat (2000) พบว่า มันสำปะหลังเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งของพลังงานซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถถูกย่อยสลายได้เร็วในกระเพาะหมักและสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด เมื่อใช้ร่วมกับแหล่งโปรตีนที่ถูกย่อยสลายได้เร็วส่งผลให้จุลินทรีย์ได้รับพลังงานและไนโตรเจนเพียงพอที่จะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์เซลล์ของจุลินทรีย์ต่อไป Kwankaew *et al.* (2010) รายงานว่า กากมันสำปะหลังมีค่าวัตถุแห้ง (Dry matter; DM) โปรตีนหยาบ (Crude protein; CP) เถ้า (Ash) ไขมัน (Fat) เยื่อใยหยาบ (Crude fiber; CF) เท่ากับ 22.97, 2.03, 7.38, 0.13 และ 12.28 % ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม กากมันสำปะหลังยังคงเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ จึงเป็นข้อจำกัดต่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารโคนม ดังนั้น การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของกากมันสำปะหลังจึงถือเป็นกลยุทธ์สำคัญในการส่งเสริมการใช้ประโยชน์วัตถุดิบดังกล่าวในการผลิตอาหารโคนม เพื่อช่วยลดต้นทุนค่าอาหาร เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หนึ่งในแนวทางที่มีศักยภาพในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของกากมันสำปะหลัง คือ การเสริมวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมถึงวิตามินและแร่ธาตุ รวมทั้งการหมักด้วยจุลินทรีย์ ในการศึกษานี้ กากมันสำปะหลังถูกปรับปรุงคุณภาพโดยการเสริมแหล่งโปรตีน (กากเมล็ดในปาล์มและกากถั่วเหลือง) แหล่งคาร์โบไฮเดรต (กากน้ำตาล) และแหล่งไนโตรเจนที่ปลดปล่อยเร็ว (ยูเรีย) ร่วมกับพรีมิกซ์ จากนั้นทำการหมักด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยยีสต์มีชีวิต (*Saccharomyces cerevisiae*) และแบคทีเรียกรดแลคติก (*Lactococcus lactis* O-224 และ *Lactobacillus buchneri*) งานวิจัยของ Norrapoke *et al.* (2018) รายงานว่า การปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลังโดยการหมักด้วยยูเรียและกากน้ำตาลในระดับ

4% ภายใต้การทดลองแบบ *in vitro* สามารถเพิ่มผลผลิตก๊าซสะสม การย่อยได้ และการเจริญเติบโตของประชากรจุลินทรีย์ย่อยเยื่อใยได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การนำกากมันสำปะหลังมาหมักร่วมกับยีสต์และจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการ (พด.6) ยังสามารถช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของกากมันสำปะหลังได้ (Norrapoke *et al.*, 2018)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะงานวิจัยก่อนหน้านี้จะรายงานศักยภาพของกากมันสำปะหลังหมักจากการทดสอบระดับหลอดทดลอง (*in vitro*) อย่างต่อเนื่อง แต่หลักฐานในระดับสัตว์ทดลอง (*in vivo*) โดยเฉพาะในโคนมยังมีจำกัด โดยยังขาดข้อมูลที่เหมาะสมอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับกากมันสำปะหลังที่ผ่านการเสริมแหล่งโภชนาการร่วมกับวิตามิน-แร่ธาตุ และหมักด้วยจุลินทรีย์ต่อการกินได้ สมรรถนะการผลิต และตัวชี้วัดการหมักในรูเมนภายใต้สภาวะการเลี้ยงจริง ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกากมันสำปะหลังหมักที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการด้วยการเสริมวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมถึงวิตามินและแร่ธาตุ รวมทั้งการหมักด้วยจุลินทรีย์ ต่อปริมาณการกินได้ การหมักในกระเพาะรูเมน การผลิตน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือดของโคนม

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมกากมันสำปะหลังหมัก (Fermented cassava pulp; FCP)

กากมันสำปะหลังหมักที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนในการจัดเตรียมและการผลิตจากบริษัท ดีไอ จำกัด โดยดำเนินการผสมกากมันสำปะหลังสดกับวัตถุดิบอื่น ๆ ตามสูตรที่กำหนด บรรจุลงในกระสอบและทำให้อยู่ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ณ จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย โดยกากมันสำปะหลังสดได้รับการสนับสนุนจากบริษัท ไทยวา จำกัด (มหาชน) ขณะที่กากปาล์มเนื้อใน กากถั่วเหลือง กากน้ำตาล ยูเรีย ไโดแคลเซียมฟอสเฟต เกลือ แร่ธาตุผสม และหัวเชื้อจุลินทรีย์ (ยีสต์และแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก) จัดซื้อจากแหล่งจำหน่ายในท้องถิ่น อัตราส่วนของวัตถุดิบและ

องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังภายหลังการหมักเป็นระยะเวลา 21 วัน แสดงไว้ใน Table 1

การวางแผนการทดลองและสัตว์ทดลอง

การทดลองในครั้งนี้ได้ปฏิบัติตามข้อปฏิบัติในการใช้สัตว์ทดลองเพื่องานทางวิทยาศาสตร์อย่างเคร่งครัด โดยได้รับอนุญาตการใช้สัตว์ทดลองจากคณะกรรมการดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ (สัตว์เกษตร) คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (เลขที่อนุมัติ AG01007/2568) การทดลองดำเนินการ ณ ฟาร์มโคนม ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย (พิกัด 18.75428°N, 98.93697°E; ความสูงจากระดับน้ำทะเล 331 เมตร) ใช้โคนมสายพันธุ์ Holstein Friesian น้ำหนักตัว 450 ± 20.0 กิโลกรัม อยู่ในรอบการให้นมที่ 1 (1st lactation) ช่วงระยะการให้นม 130 $\pm$ 30 วัน ให้นม 12.0 $\pm$ 2.0 กิโลกรัมต่อวัน จำนวน 12 ตัว โคนมทุกตัวได้รับการถ่ายพยาธิทั้งภายในและภายนอก (Ivermectin; IVOMAC-F, Boehringer Ingelheim Animal Health, Thailand) ระหว่างการทดลองมีแร่ธาตุก้อน และน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา ปรับสัตว์ทดลองเป็นเวลา 14 วัน ช่วงระยะเวลาทดลองละ 45 วัน รวมตลอดระยะเวลาการทดลองทั้งสิ้น 59 วัน จ่ายอาหาร 2 ครั้ง เวลา 07.00 น. และ 16.00 น. โคนมแต่ละกลุ่มได้รับอาหารผสมครบส่วน (Total mixed ration; TMR) ที่มีระดับโปรตีน 14 % และ TDN 70 % ตามคำแนะนำความต้องการโภชนาของโคนม (NRC, 2001). โดยมีการทดแทนกากมันสำปะหลังหมัก (FCP) ในสูตรอาหารในสัดส่วนที่แตกต่างกัน และให้อาหารแบบ *ad libitum* วางแผนการทดลองแบบ independent sample t-test โดยแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ได้รับ TMR ที่ไม่มีการทดแทนกากมันสำปะหลังหมักในสูตร (CON) และกลุ่มที่ได้รับ TMR ที่ทดแทนกากมันสำปะหลังหมักในสูตรที่ระดับ 20% DM basis (TREAT) โดยระดับการทดแทน 20% กำหนดจากการทดสอบนำร่องด้านความน่ากินของอาหาร (Palatability test) ก่อนเริ่มการทดลองหลัก เพื่อประเมินการยอมรับอาหารและปริมาณการกินได้ของโคเมื่อมีการทดแทนกากมันสำปะหลังหมัก ทั้งนี้ ระดับ 20% เป็น

ระดับที่โดยยอมรับได้และบริโภคได้ดี จึงเลือกใช้ในการทดลองนี้ โดยทุกสูตรถูกปรับให้มีโปรตีน (Isonitrogenous) และพลังงาน (Isocaloric) ใกล้เคียงกันที่สุด

การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ทางเคมี

บันทึกปริมาณการให้อาหารทุกวัน โดยชั่งน้ำหนักอาหารก่อนให้และทำการชั่งอาหารที่เหลือ (Feed refusal) สุ่มเก็บตัวอย่างอาหาร โดยเก็บในปริมาณอย่างละ 1000 กรัม ในแต่ละทรีทเมนต์ทุกๆ 7 วันของช่วงระยะเวลาทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง (Dry matter, DM) เถ้า (Ash) ไขมัน (Ether extract, EE) และโปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) ตามวิธีของ AOAC (2000) และวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อใย ได้แก่ ผนังเซลล์ (Neutral-detergent fiber, NDF) และ ลิกโนเซลลูโลส (Acid-detergent fiber, ADF) ตามวิธีการของ Van Soest *et al.* (1991) บันทึกปริมาณการให้นมทุกวัน โคนมทั้งหมดได้รับการรีดนมวันละ 2 ครั้ง (04.45 น. และ 15.45 น.) เก็บตัวอย่างน้ำนมในวันที่ 0, 15, 30 และ 45 ของระยะการทดลอง ตัวอย่างนมในตอนเช้าและตอนเย็นถูกผสมรวมในอัตราส่วนเท่ากัน แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจนกว่าจะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำนม ได้แก่ ไขมัน (Fat) โปรตีน (Protein) แลคโตส (Lactose) ของแข็งรวม (Total solids) และของแข็งที่ไม่รวมไขมัน (Solid not fat) โดยใช้เครื่อง MilkoScan FT2 (FOSS, Hillerod, Denmark) ระยะเวลาในการเคี้ยวเอื้อง (ruminating time) ถูกเก็บข้อมูลโดยใช้ปลอกคออัจฉริยะของระบบ Afimilk (Afimilk Automating Dairy Farms) ติดตั้งกับโคทุกตัว โดยระบบบันทึกข้อมูลการเคี้ยวเอื้องแบบอัตโนมัติ ตลอด 24 ชั่วโมง ทั้งนี้ข้อมูลถูกรวบรวมและสรุปผลเป็นค่าเฉลี่ย (นาฬิกา/วัน) ตามช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูลของการทดลอง

เก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะรูเมน (Rumen fluid) จากโคนมแต่ละตัว ปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยใช้ท่อสอดทางปากเข้าสู่กระเพาะ (Oral stomach tube) ก่อนการให้อาหารมื้อเช้า ในวันที่ 0, 15, 30 และ 45 ของระยะการทดลอง ตามวิธีของ Hnokaew *et al.* (2024) เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่องวัดค่า pH แบบพกพา

Table 1. Ingredients and chemical composition of dietary treatments

Item	Dietary treatments ¹		
	CON	TREAT	FCP
Ingredient, DM basis (%)			
Napier grass	31	30	-
Sweet corn husk	19	18	-
Pellet concentrate	50	32	-
Fermented cassava pulp	0	20	-
Cassava pulp	-	-	79
Palm kernel cake	-	-	7
Soybean meal	-	-	7
Molasses	-	-	3
Urea	-	-	1.3
Dicalcium phosphate	-	-	1
Salt	-	-	0.5
Premix ²	-	-	1
Microbial additive ³	-	-	0.2
Dry matter (%)	30.97	29.92	35.92
Chemical composition, DM basis (%)			
Organic matter	87.36	88.00	89.87
Crude protein	14.01	14.31	20.22
Ether extract	3.82	5.12	6.09
Neutral detergent fiber	51.09	53.99	51.78
Acid detergent fiber	32.71	34.12	29.33

¹ CON = Basal diet (TMR) + 0%FCP; TREAT = Basal diet (TMR) + 20%FCP; FCP = Fermented cassava pulp.

² Contains per kg premix = Vitamin A 10,000,000 IU; vitamin D 1,600,000 IU; vitamin E 70,000, IU; Fe 50 g; Mn 40 g; Zn 40 g; Cu 10 g; I 0.5 g; Se 0.1 g; Co 0.1 g. ³ Microbial additive consisted of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae* 2.5 x 10⁸ cfu/g; Yea-Sacc® 1026, Alltech Inc.) and a lactic acid bacteria (*Lactococcus lactis* O-224 6.2 x 10¹⁰ cfu/g and *Lactobacillus buchneri* 6.2 x 10¹⁰ cfu/g) based silage inoculant (SiloSolve® FC, Chr. Hansen). DM = Dry matter.

(VWR International, Radnor, PA, USA) วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH₃-N) ตามวิธีของ Chaney and Marbach (1962) และวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acids; VFA) ตามวิธีของ Hnokaew *et al.* (2025) เก็บตัวอย่างเลือดจากโคนมแต่ละตัวในวันที่ 0, 15, 30 และ 45 ของระยะ

การทดลองจากหลอดเลือดบริเวณโคนหาง (Coccygeal vessels) โดยใช้หลอดเก็บเลือดที่มีส่วนผสมของสาร EDTA ขนาด 4 ml บั่นแยกพลาสมาด้วยแรงปั่นเหวี่ยง 1,500 g นาน 15 นาที จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์สารเมตาโบไลต์ในเลือด ได้แก่ blood urea nitrogen (BUN), aspartate

aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), alkaline phosphatase (ALP), creatinine, total protein และ albumin โดยใช้เครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ (Sysmex BX-3010; Sysmex Asia Pacific Pte Ltd, Chuo-ku, Japan)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติได้ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 4.3.1 โดยทำการตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติและความสม่ำเสมอของความแปรปรวนด้วย Shapiro-Wilk test และ Levene's test ตามลำดับ ปริมาณการกินได้ การหมักในกระเพาะรูเมน สมรรถนะการผลิตน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือด ได้ทำการเปรียบเทียบโดยใช้ independent sample t-test การแปลผลทางสถิติกำหนดให้ค่า P-value มากกว่า 0.05 แต่ไม่เกิน 0.10 แสดงถึงการมีแนวโน้มของความแตกต่างซึ่งบ่งชี้ถึงผลที่อาจเกิดขึ้นหรือความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลอง ขณะที่ค่า P-value น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 ถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองทั้ง 2 กลุ่ม (Table 1) พบว่า การทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนฐานวัตถุดิบแห้ง (DM basis) ไม่ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบ (CP) รวมถึง เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (NDF) และ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (ADF) แตกต่างกันระหว่างกลุ่มอาหารทดลอง อย่างไรก็ตาม กลุ่ม TREAT ซึ่งมีการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร ซึ่ง FCP มีองค์ประกอบของไขมัน อาจเกี่ยวข้องกับการที่ปริมาณไขมันหยาบ (EE) ของกลุ่ม TREAT สูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ เนื่องจาก FCP มีความชื้นสูง จึงอาจเกี่ยวข้องกับการที่ปริมาณวัตถุดิบแห้ง (DM) ของอาหารในกลุ่ม TREAT ลดลงเล็กน้อย

การทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ต่อปริมาณการกินได้แสดงใน Table 2 พบว่า ปริมาณการกินวัตถุดิบแห้ง (DMI) ระหว่างกลุ่ม CON และ TREAT ในวันที่

0 และ 15 ของการทดลองไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้น พบว่า ในวันที่ 30 ของการทดลอง ค่า DMI ของกลุ่ม TREAT มีแนวโน้มลดลง (10.92 เทียบกับ 11.59 kg/d; $P = 0.067$) และเมื่อถึงวันที่ 45 ของการทดลอง พบว่า กลุ่ม TREAT มีค่า DMI ต่ำกว่ากลุ่ม CON (10.69 เทียบกับ 11.65 kg/d) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งบ่งชี้ว่าการทดแทน FCP ในสูตรอาหารที่ระดับ 20% DM basis ส่งผลต่อการกินอาหารของโคนมเมื่อได้รับอาหารเป็นระยะเวลานาน ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันและเยื่อใยเชิงโครงสร้างในสูตรอาหารที่มีการทดแทน FCP อาจส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและประสิทธิภาพการย่อยสลายเยื่อใย ซึ่งมีผลทำให้อัตราการเคลื่อนผ่านของอาหารในกระเพาะหมักลดลงและจำกัดปริมาณการกินอาหารของสัตว์ (Van Soest, 1994) นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของค่า neutral detergent fiber (NDF) และ acid detergent fiber (ADF) ในอาหารของกลุ่ม TREAT อาจก่อให้เกิด rumen fill effect ส่งผลให้สัตว์เกิดความอึดเร็วและลดการกินอาหาร (Allen, 2000; Mertens, 1994) ขณะเดียวกัน ความชื้นที่สูงของ FCP ทำให้มีปริมาณวัตถุดิบแห้งที่ต่ำกว่าในสูตรอาหาร อาจลดความเข้มข้นของสารอาหารต่อหน่วยน้ำหนักอาหาร รวมทั้งลดความน่ากินของอาหาร ส่งผลให้โคนมมีปริมาณการกินอาหารลดลงเมื่อได้รับอาหารดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่ระบุว่าวัตถุดิบแห้งของอาหารและโครงสร้างของเยื่อใยเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการกินอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (NRC, 2001)

เมื่อพิจารณาถึงการหมักในกระเพาะรูเมน (Table 3) พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$), กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (Total VFAs), สัดส่วนโพรพิโอเนต (C3) และอัตราส่วนอะซีเตตต่อโพรพิโอเนต (C2:C3) ในวันที่ 0 และ 15 ของการทดลองไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม CON และ TREAT ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 30 และ 45 ของการทดลอง พบว่า กลุ่ม TREAT มีค่าความเข้มข้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ (23.34 เทียบกับ 20.84 mg/dL และ 23.11 เทียบกับ 18.97 mg/dL ตามลำดับ), กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (65.29 เทียบกับ 59.17

mmol/L และ 66.73 เทียบกับ 62.41 mmol/L ตามลำดับ) และสัดส่วนโพธิ์โอเนตสูงกว่ากลุ่ม CON (24.67 เทียบกับ 21.30 mol/100mol และ 24.57 เทียบกับ 20.39 mol/100mol ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการหมักและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการหมักในรูเมนไปสู่การสร้างโพธิ์โอเนตมากขึ้น ส่งผลให้อัตราส่วน C2:C3 ในกลุ่ม TREAT ต่ำกว่ากลุ่ม CON (2.83 เทียบกับ 3.35 และ 2.66 เทียบกับ 3.37 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงต้นของการทดลอง ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างกลุ่ม แต่เมื่อระยะเวลาการให้อาหารนานขึ้นจึงพบความแตกต่างของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดในช่วงปลายของการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแหล่งคาร์โบไฮเดรตและวัตถุดิบหมักในสูตรอาหารจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาให้ระบบการหมักในกระเพาะรูเมนเกิดการปรับตัวทั้งในระดับโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์และกิจกรรมการหมัก รวมถึงการปรับตัวของเยื่ออุกระเพาะรูเมนที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมผลิตภัณฑ์จากการหมัก ส่งผลให้สมดุลระหว่างการผลิตและการดูดซึมกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดค่อย ๆ เปลี่ยนและเข้าสู่สภาวะที่มีเสถียรภาพมากขึ้น จึงทำให้ความแตกต่างของกรด

ไขมันระเหยได้ทั้งหมดปรากฏเด่นชัดในวันที่ 30 และ 45 ของการทดลอง (Ramos *et al.*, 2021) ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างในรูเมน (Rumen pH), ระยะเวลาการเคี้ยวเอื้อง (Ruminating time), สัดส่วนอะซีเตต (C2) และสัดส่วนบิวไทเรต (C4) ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มตลอดระยะเวลาการทดลอง ($P > 0.05$) ค่าความเป็นกรด-ด่างในรูเมนไม่ได้รับอิทธิพลจากการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR โดยมีรายงานว่าค่า pH ของรูเมนที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 6.63-7.01 (Dagaew *et al.*, 2023) ค่า pH ที่เหมาะสมเอื้อต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่งมีบทบาทในการย่อยอาหาร และกระบวนการหมักจะเปลี่ยนองค์ประกอบของอาหารให้เป็นกรดไขมันระเหยสายสั้น แอมโมเนียไนโตรเจน และชีวมวลของจุลินทรีย์ (Kabsuk *et al.*, 2024) เมื่อโคนมได้รับอาหารที่มียีสต์ซึ่งเจริญเติบโตอยู่ใน FCP จึงสามารถช่วยกระตุ้นการผลิตกรดไขมันระเหยง่ายรวม ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolisable energy) คิดเป็นประมาณ 60–70% ของพลังงานทั้งหมดที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับ (Hnokaew *et al.*, 2024) เนื่องจากยีสต์มีศักยภาพในการเป็นแหล่ง probiotics ในสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในกระเพาะรูเมนได้ ยีสต์สามารถช่วยปรับปรุงระบบ

Table 2. Effects of dietary treatments on intake of dietary components by dairy cows during different experimental periods

Item	Treatment ¹		SEM	P-value
	CON	TREAT		
Day0				
DMI, kg/d	10.62	10.28	0.21	0.149
Day15				
DMI, kg/d	11.20	10.71	0.38	0.282
Day30				
DMI, kg/d	11.59	10.92	0.39	0.067
Day45				
DMI, kg/d	11.65	10.69	0.18	0.004

¹ CON = Basal diet + 0%FCP; TREAT = Basal diet + 20%FCP. DMI = Dry matter intake. SEM = standard error of the mean

Table 3. Effects of dietary treatments on rumen fermentation characteristics of dairy cows during different experimental periods

Item	Treatment ¹		SEM	P-value
	CON	TREAT		
Day0				
Rumen pH	6.85	6.82	0.16	0.833
Ruminating time, mins	347.57	342.84	38.94	0.443
NH ₃ -N, mg/dL	19.41	20.13	0.61	0.139
Total VFAs , mmol/L	61.35	58.72	2.84	0.180
Acetate (C2), mol/100mol	72.55	70.46	1.60	0.137
Propionate (C3), mol/100mol	20.70	21.58	0.54	0.484
Butyrate (C4), mol/100mol	6.75	7.96	0.47	0.115
C2:C3	3.50	3.26	0.12	0.203
Day15				
Rumen pH	6.73	6.80	0.14	0.233
Ruminating time, mins	372.61	365.40	39.23	0.436
NH ₃ -N, mg/dL	21.82	22.37	0.56	0.129
Total VFAs , mmol/L	60.22	62.03	3.02	0.137
Acetate (C2), mol/100mol	68.88	69.40	2.31	0.485
Propionate (C3), mol/100mol	22.10	23.44	0.72	0.264
Butyrate (C4), mol/100mol	9.02	7.16	0.51	0.184
C2:C3	3.07	2.96	0.15	0.332
Day30				
Rumen pH	6.79	6.75	0.15	0.428
Ruminating time, mins	357.60	372.86	24.59	0.449
NH ₃ -N, mg/dL	20.84	23.34	0.53	0.022
Total VFAs , mmol/L	59.17	65.29	2.75	0.004
Acetate (C2), mol/100mol	71.56	69.89	2.16	0.109
Propionate (C3), mol/100mol	21.30	24.67	0.69	0.023
Butyrate (C4), mol/100mol	7.14	5.44	0.78	0.148
C2:C3	3.35	2.83	0.14	0.006
Day45				
Rumen pH	6.80	6.78	0.10	0.828
Ruminating time, mins	353.75	364.60	27.94	0.304
NH ₃ -N, mg/dL	18.97	23.11	0.47	0.002
Total VFAs , mmol/L	62.41	66.73	3.17	0.042
Acetate (C2), mol/100mol	68.90	65.41	2.33	0.152
Propionate (C3), mol/100mol	20.39	24.57	0.66	0.019
Butyrate (C4), mol/100mol	10.71	10.02	0.53	0.125
C2:C3	3.37	2.66	0.12	0.034

¹ CON = Basal diet + 0%FCP; TREAT = Basal diet + 20%FCP. NH₃-N = Ammonia nitrogen; VFAs = volatile fatty acid. SEM = standard error of the mean

นิเวศวิทยาและกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ทำให้ภายในกระเพาะรูเมนมีออกซิเจนต่ำลงด้วยการใช้ออกซิเจนที่ติดมากับอาหารและน้ำที่โคนมกิน ยีสต์ยังสามารถรักษาสมดุลค่า pH ด้วยการแย่งใช้กลูโคสและโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ใช้ประโยชน์โดยแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกที่ส่งผลทำให้ค่า pH ภายในกระเพาะรูเมนลดลง เช่น *Streptococcus bovis* เมื่อกระเพาะรูเมนอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic) และค่า pH อยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเหมาะสมต่อการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนภายในกระเพาะรูเมน (Jouany, 2006; Polyorach and Wanapat, 2015; Sirisan, 2017) นอกจากนี้เมื่อมีการทดแทน FCP ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในรูเมน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณ FCP จุลินทรีย์ในรูเมนจะย่อยสลาย CP ที่เพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบดังกล่าว ส่งผลให้เกิด $\text{NH}_3\text{-N}$ ในปริมาณสูง (Dagaew et al., 2023) นอกจากนี้การย่อยเยื่อใยเพิ่มขึ้นเมื่อ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในรูเมนทำหน้าที่เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ ตามหลักนิเวศวิทยาของรูเมน (Khejornsart et al., 2011) $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่มีอยู่ในรูเมนสามารถถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในรูเมน เป็นที่ทราบกันว่าแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสใช้ NH_3 เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโต (Bryant, 1973) หัวมันสำปะหลังมีพลังงานที่หมักได้ง่ายในระดับสูง และสามารถนำมาใช้ร่วมกับแหล่งไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) ซึ่งปลดปล่อยได้รวดเร็ว เช่น ยูเรีย ในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งอาจช่วยส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียในรูเมนได้ (Norrapoke et al., 2018; Wanapat and Kang, 2013) จึงอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กลุ่ม TREAT มีปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายรวมสูงกว่ากลุ่ม CON อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ สะท้อนประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนที่ดีขึ้นก็ต่อเมื่อมีพลังงานหมักได้เพียงพอและจุลินทรีย์สามารถนำ $\text{NH}_3\text{-N}$ ไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่หาก $\text{NH}_3\text{-N}$ สูงเกินความต้องการหรือไม่สมดุลกับพลังงานที่มีอยู่ แอมโมเนียส่วนเกินอาจถูกดูดซึมและ

เปลี่ยนเป็นยูเรีย ส่งผลให้การใช้ไนโตรเจนมีประสิทธิภาพลดลง สำหรับสาเหตุที่ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นอาจเพราะว่ายีสต์ที่เจริญเติบโตอยู่ใน FCP ช่วยกระตุ้นการผลิตโปรตีน เนื่องจากยีสต์สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดในกระเพาะรูเมนที่สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้โดยเส้นทาง succinate : propionate pathway (Wolin and Miller, 1997) ยีสต์มีส่วนประกอบของสารที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของ *Megasphaera elsdenii* ได้แก่ กรดอะมิโน วิตามิน แร่ธาตุ และกรดอินทรีย์ (Julien et al., 2010; Sirisan, 2017) นอกจากนี้การประเมินองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่สกัดจากยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) ที่มีผลต่อการเจริญของ *M. elsdenii* พบว่า ยีสต์มีกรดอะมิโนไลซีน (Lysine) และฮิสทีดีน (Histidine) ค่อนข้างสูง ที่ช่วยกระตุ้นการเจริญของ *M. elsdenii* ได้มากกว่าร้อยละ 18.5 (Rossi et al., 2010) ซึ่ง *M. elsdenii* เป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้กรดแลคติกได้ ถึงร้อยละ 60 ถึง 80 ของกรดแลคติกที่ผลิตขึ้นในกระเพาะรูเมนของโคนม (Counotte et al., 1981) *M. elsdenii* เป็นจุลินทรีย์ชนิดหลักที่สำคัญต่อการผลิตโปรตีนในกระเพาะรูเมนโดยอาศัยกรดแลคติกผ่านวิถีแอคริเรท (Acrylate pathway) เปลี่ยนโปรตีน (Asanuma and Hino, 2001) โดยทั่วไป DMI ที่ลดลงอาจคาดว่าจะทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดลดลง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดในกระเพาะรูเมนสะท้อนสมมูลระหว่างอัตราการผลิตกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนมากกว่าปริมาณการกินเพียงอย่างเดียว (Dieho et al., 2016) ในกรณีของกลุ่ม TREAT การเสริมกากมันสำปะหลังหมักซึ่งมีส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยและหมักได้ง่ายสูง อาจทำให้อัตราการหมักต่อหน่วยอาหารเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การผลิต VFA ต่อหน่วยวัตถุดิบสูงขึ้นแม้ DMI รวมลดลง จึงทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดในกระเพาะรูเมนยังคงอยู่ในระดับเดิมในช่วงต้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปลายของการทดลองได้ นอกจากนี้ การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายในกากมันสำปะหลังหมักยังสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของโปรตีนในเลือด ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญจาก

การหมักคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายและสะท้อนการเปลี่ยนทิศทางการหมักไปสู่เส้นทางแบบ glucogenic มากขึ้น (Rigout *et al.*, 2003) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของโพรพิโอนेटสะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนทิศทางของผลผลิตจากการหมักไปสู่เส้นทางการสร้างพลังงานแบบ glucogenic ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของการผลิตมีเทนและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Olorunlowu *et al.*, 2025) โพรพิโอนेटเป็นสารตั้งต้นสำคัญสำหรับกระบวนการสร้างกลูโคสใหม่ (gluconeogenesis) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยมีบทบาทในการเพิ่มระดับกลูโคสในเลือด และช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์แลคโตสรวมถึงเพิ่มผลผลิตน้ำนมโดยรวม (Stein *et al.*, 2006) ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการทดแทน FCP ในอาหาร TMR ช่วยปรับปรุงลักษณะการหมักในรูเมนของโคได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากในกระบวนการสร้างอะซิเตตและบิวไทเรต มีการผลิตก๊าซของเสีย โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานจากอาหารค่อนข้างมาก ดังนั้น การเพิ่มการผลิตโพรพิโอนेटจึงถือเป็นรูปแบบการหมักที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า และสะท้อนถึงการใช้พลังงานจากอาหารได้อย่างคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น (Khejornsart *et al.*, 2025) แม้การกินได้ของวัตถุดิบแห้ง (DMI) ลดลง แต่ผลผลิตน้ำนมไม่ลดลง อาจเป็นเพราะพลังงานสุทธิที่สัตว์ได้รับต่อหน่วยอาหารที่กินเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนรูปแบบการหมักไปสู่การผลิตโพรพิโอนेटมากขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มการจัดหาพลังงานและแลคโตสสำหรับการผลิตน้ำนม (Leduc, *et al.*, 2021) ดังนั้น การทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนพื้นฐานวัตถุดิบแห้งช่วยเพิ่มกิจกรรมการหมักในรูเมนและปรับรูปแบบการหมักไปในทิศทางที่เอื้อต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของค่าความเป็นกรด-ด่างในรูเมน

ผลของการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ต่อสมรรถนะการให้น้ำนมของโคนมดังแสดงใน Table 4 พบว่า ในวันที่ 0, 15, 30 และ 45 ของการทดลอง ปริมาณน้ำนม (Milk yield) น้ำนมปรับไขมันที่ 3.5% (3.5% FCM) น้ำนมปรับไขมันและโปรตีน (FPCM) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Feed efficiency) ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม CON และกลุ่ม TREAT ($P > 0.05$) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของน้ำนม พบว่า

สัดส่วนไขมัน (Fat) โปรตีน (Protein) แลคโตส (Lactose) ของแข็งรวม (Total solids) และของแข็งที่ไม่รวมไขมัน (Solid not fat) ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม CON และกลุ่ม TREAT ตลอดทุกช่วงเวลาของการทดลอง ($P > 0.05$) โดยภาพรวม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนพื้นฐานวัตถุแห้งไม่ส่งผลกระทบต่อเชิงลบต่อสมรรถนะการให้น้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมของโคนมตลอดระยะเวลาการทดลอง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Suksombat *et al.* (2006) ซึ่งพบว่าการให้อาหารข้นที่มีกากมันสำปะหลังในระดับ 35-45% ของวัตถุแห้งแก่โคนมให้นม ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม

ผลของการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ต่อสารเมตาโบไลต์ในเลือดของโคนม (Table 5) พบว่า ค่าไนโตรเจนยูเรียในเลือด (Blood urea nitrogen; BUN) ครีเอตินีน (Creatinine) เอนไซม์แอสพาร์เทตอะมิโนทรานสเฟอเรส (AST) เอนไซม์อะลานีนอะมิโนทรานสเฟอเรส (ALT) โปรตีนรวม (Total protein) และอัลบูมิน (Albumin) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม CON และกลุ่ม TREAT ($P > 0.05$) ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนพื้นฐานวัตถุดิบไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของตับและไตของโคนม นอกจากนี้ ค่าสารเมตาโบไลต์ในเลือดของโคนมทั้งสองกลุ่มยังคงอยู่ในช่วงค่าปกติของสัตว์สุขภาพดีตลอดระยะเวลาการทดลอง สะท้อนให้เห็นว่าอาหารทดลองไม่ก่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบต่อสุขภาพของโคนม อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีข้อจำกัดคือไม่ได้ดำเนินการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ (เช่น ต้นทุนค่าอาหาร รายได้จากผลผลิตน้ำนม และรายได้เหนือต้นทุนค่าอาหาร) เนื่องจากข้อมูลด้านต้นทุนวัตถุดิบและราคาสูตรอาหารมีข้อจำกัดด้านการเปิดเผยข้อมูล (Confidentiality) และราคาต้นทุน/ราคาจำหน่ายยังอยู่ระหว่างการพัฒนาและปรับปรุง จึงไม่สามารถนำเสนอหรือคำนวณผลทางเศรษฐศาสตร์ได้อย่างโปร่งใสภายใต้ข้อมูลที่สามารเปิดเผยได้

Table 4. Effects of dietary treatments on lactation performance of dairy cows during different experimental periods

Item	Treatment ¹		SEM	P-value
	CON	TREAT		
Day0				
Milk yield, kg/d	11.45	11.13	0.73	0.417
3.5% FCM ² , kg/d	12.26	11.02	1.16	0.259
FPCM ³ , kg/d	11.25	10.98	0.87	0.434
Feed efficiency, milk/DMI	1.08	1.10	0.07	0.440
Milk composition, %				
Fat	3.93	3.36	0.32	0.129
Protein	3.16	3.14	0.07	0.438
Lactose	4.58	4.60	0.03	0.408
Total solid	12.82	12.29	0.40	0.174
Solid not fat	8.89	8.94	0.07	0.730
Day15				
Milk yield, kg/d	11.05	11.41	0.93	0.412
3.5% FCM, kg/d	12.41	11.91	1.19	0.397
FPCM, kg/d	11.24	11.80	1.04	0.447
Feed efficiency, milk/DMI	0.92	1.07	0.09	0.174
Milk composition, %				
Fat	4.28	3.73	0.35	0.105
Protein	3.09	3.17	0.04	0.119
Lactose	4.52	4.51	0.05	0.448
Total solid	13.01	12.47	0.38	0.121
Solid not fat	8.73	8.72	0.05	0.966
Day30				
Milk yield, kg/d	11.87	11.26	0.74	0.345
3.5% FCM, kg/d	12.03	13.83	0.87	0.141
FPCM, kg/d	11.31	12.86	0.73	0.234
Feed efficiency, milk/DMI	0.96	0.98	0.06	0.446
Milk composition, %				
Fat	3.59	3.99	0.22	0.109
Protein	3.33	3.21	0.03	0.126
Lactose	4.49	4.35	0.04	0.136
Total solid	12.56	13.14	0.26	0.110
Solid not fat	8.97	8.65	0.09	0.144
Day45				
Milk yield, kg/d	10.59	10.13	0.86	0.383
3.5% FCM, kg/d	11.15	11.19	0.95	0.490
FPCM, kg/d	10.34	10.88	0.84	0.474
Feed efficiency, milk/DMI	0.86	0.92	0.08	0.327
Milk composition, %				
Fat	3.73	4.07	0.19	0.107
Protein	3.28	3.21	0.05	0.276
Lactose	4.52	4.44	0.06	0.272
Total solid	12.66	12.95	0.19	0.193
Solid not fat	8.92	8.77	0.06	0.370

¹ CON = Basal diet + 0%FCP; TREAT = Basal diet + 20%FCP. ² 3.5%FCM (3.5%Fat-corrected milk, kg/d) = 0.4324 × milk (kg/d) + [16.218 × milk fat (kg/d)]. ³ FPCM (fat and protein corrected milk, kg/d) = milk yield (kg/d) × [0.116 × fat (%) + 0.06 × protein (%) + 0.337]. DMI = Dry matter intake. SEM = standard error of the mean

Table 5. Effect of dietary treatment on blood metabolic profiles of dairy cows at different trial periods

Item	Treatment ¹		SEM	P-value
	CON	TREAT		
Day0				
BUN, mg/dL	15.93	16.14	0.71	0.402
Creatinine, mg/dL	1.09	1.13	0.02	0.495
AST, U/L	74.50	75.37	1.92	0.253
ALT, U/L	26.41	26.85	0.69	0.429
Total protein, g/dl	9.24	8.98	0.36	0.118
Albumin, g/dl	3.48	3.45	0.04	0.670
Day15				
BUN, mg/dL	17.16	16.98	0.82	0.207
Creatinine, mg/dL	1.03	1.02	0.03	0.323
AST, U/L	74.61	75.49	2.14	0.291
ALT, U/L	26.90	27.05	1.20	0.988
Total protein, g/dl	9.20	8.74	0.68	0.227
Albumin, g/dl	3.46	3.53	0.17	0.248
Day30				
BUN, mg/dL	16.45	17.47	0.77	0.112
Creatinine, mg/dL	1.12	1.19	0.02	0.292
AST, U/L	73.83	76.00	3.06	0.263
ALT, U/L	26.83	27.54	1.16	0.256
Total protein, g/dl	9.35	9.07	0.83	0.653
Albumin, g/dl	3.53	3.77	0.15	0.848
Day45				
BUN, mg/dL	16.88	17.13	0.65	0.730
Creatinine, mg/dL	1.10	1.16	0.03	0.689
AST, U/L	75.11	75.94	2.44	0.626
ALT, U/L	26.32	27.17	1.39	0.571
Total protein, g/dl	9.38	9.13	0.77	0.149
Albumin, g/dl	3.62	3.84	0.18	0.338

¹ CON = Basal diet + 0%FCP; TREAT = Basal diet + 20%FCP. BUN = Blood urea nitrogen; AST = Aspartate aminotransferase; ALT = Alanine aminotransferase; ALP = Alkaline phosphatase. SEM = standard error of the mean

สรุป

การทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนพื้นฐานวัตถุดิบแห้ง ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการให้น้ำนม องค์ประกอบของน้ำนม และสุขภาพของโคนม อย่างไรก็ตาม การได้รับอาหารที่มี FCP เป็นระยะเวลานานส่งผลให้ปริมาณการกินวัตถุดิบแห้งลดลง ขณะเดียวกันการทดแทน FCP ช่วยเพิ่มกิจกรรมการหมักในกระเพาะรูเมน โดยเพิ่มปริมาณกรดไขมันระเหยรวม และสัดส่วนโพรพิโอเนต พร้อมลดอัตราส่วนอะซีเตตต่อโพรพิโอเนต โดยไม่กระทบต่อเสถียรภาพของค่า pH ในกระเพาะรูเมนของโคนม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ดีโอ จำกัด สำหรับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยและอาหารชั้นหมักที่มีมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับการสนับสนุนสถานที่ในการดำเนินการทดลอง ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Allen, M.S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 83(7): 1598-1624.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17thed. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg.
- Asanuma, N. and T. Hino. 2001. Molecular characterization, enzyme properties and transcriptional regulation of phosphoenolpyruvate carboxykinase and pyruvate kinase in a ruminal bacterium, *Selenomonas ruminantium*. *Microbiology* 147(3): 681-690.
- Chaney, A.L. and E.P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry* 8: 130-132.
- Counotte, G.H.M., R.A. Prins, R.H.A.M. Janssen and M.J.A. deBie. 1981. Role of *Megasphaera elsdenii* in the fermentation of DL-[2-13C] lactate in the rumen of dairy cattle. *Applied and Environmental Microbiology* 42(4): 649-655.
- Dagaew, G., S. Wongtangintharn, R. Prachumchai and A. Cherdthong. 2023. The effects of fermented cassava pulp with yeast waste and different roughage-to-concentrate ratios on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and milk production in lactating cows. *Heliyon* 9(4): e14585.
- Dieho, K., J. Dijkstra, J.T. Schonewille and A. Bannink. 2016. Changes in ruminal volatile fatty acid production and absorption rate during the dry period and early lactation as affected by rate of increase of concentrate allowance. *Journal of Dairy Science* 99(7): 5370-5384.
- Hnokaew, P., K. Sringarm, P. Chuammitri, C. Arjin, C. Lumsangkul, S. Mekchay, A. Satsook, Y. Wang and P. Vinitchaikul. 2024. Influence of dietary mulberry (*Morus Alba* L.) leaf supplementation on production performance, blood metabolites, rumen fermentation characteristics and ruminal bacteria community in lactating dairy cows. *Italian Journal of Animal Science* 23(1): 1031-1043.

- Hnokaew, P., C. Arjin, A. Satsook, J.N. Halder, S. Tateing, N. Potapohn and K. Sringarm. 2025. Harnessing bioactive compounds from *Cannabis sativa* residue to improve rumen fermentation and reduce methane production: *in silico*, *in vitro*, and *in situ* nylon bag studies. BMC Veterinary Research 21(1): 611.
- Jouany, J.P. 2006. Optimizing rumen functions in the close-up transition period and early lactation to drive dry matter intake and energy balance in cows. Animal Reproduction Science 96(4): 250-264.
- Julien, C., J.P. Marden, F. Enjalbert, C. Bayourthe and A. Troegeler-Maynadier. 2010. Live yeast as a possible modulator of polyunsaturated fatty acid biohydrogenation in the rumen. Revue de Medecine Veterinaire 161(8-9): 391-400.
- Kwankaew, M., P. Lueanglawany and W. Suksombat. 2010. Utilization of cassava peel and pulp as composition of silage. Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University 12(3):92-103. (in Thai)
- Leduc, A., S. Souchet, M. Gele, F. Le Provost and M. Boutinaud. Effect of feed restriction on dairy cow milk production: a review. Journal of Animal Science 99(7): 1-12.
- Mertens, D.R. 1994. Regulation of forage intake. In: Fahey Jr., G.C., Ed., Forage Quality, Evaluation, and Utilization. American Society of Agronomy, Madison. 450-493 p.
- Norrapoke, T., M. Wanapat, A. Cherdthong, S. Kang, K. Phesatcha and T. Pongjongmit. 2018. Improvement of nutritive value of cassava pulp and *in vitro* fermentation and microbial population by urea and molasses supplementation. Journal of Applied Animal Research 46(1): 242-247.
- Norrapoke, T., T. Phongchongmit, A. Cherdthong and N. Phakachod. 2018. Using cassava pulp fermented with additives on feed intake and digestibility of beef cattle. Khon Kaen Agriculture Journal 46(Suppl.1): 590-596. (in Thai)
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7thed. National Academies Press, Washington, DC. 381 p.
- Olorunlowu, S., P. Sidoruk, J. Sznajder, J. Szczesny, D. Lechniak, P. Pawlak, M. Ryczek, H. Huang, L. Li and A.Irawan. 2025. Effects of a multi-strain lactic and propionic acid bacteria inoculant on silage quality, methane emissions, milk composition, and rumen microbiome. Animals 15: 2740.
- Polyorach, S. and M. Wanapat. 2015. Potential of yeast as probiotics in ruminants. Khon Kaen Agriculture Journal 43 (Suppl. 1): 191-206. (in Thai)
- Ragkos, A., G. Koutouzidou and A. Theodoridis. 2021. Impact of feeding pattern on the structure and the economic performance of dairy cow sector. dairy 2: 122-134.
- Rigout S, C. Hurtaud, S. Lemosquet, A. Bach and H. Rulquin. 2003. Lactational effect of propionic acid and duodenal glucose in cows. Journal of Dairy Science 86(1): 243-53.
- Ramos, S.C., C.D. Jeong, L.L. Mamuad, S.H. Kim, S.H. Kang, E.T. Kim, Y.I. Cho, S.S. Lee and S.S. Lee. 2021. Diet transition from high-forage to high-concentrate alters rumen bacterial community composition,

- epithelial transcriptomes and ruminal fermentation parameters in dairy cows. *Animals* 11: 838.
- Rossi, F., A.D. Luccia, D. Vincenti and P.S. Cocconcelli. 2004. Effects of peptidic fractions from *Saccharomyces cerevisiae* culture on growth and metabolism of the ruminal bacteria *Megasphaera elsdenii*. *Animal Research* 53(1): 177-186.
- Sirisan, V. 2017. Strategies to reduce ruminal acidosis by using microorganism. *Chiang Mai Veterinary Journal* 15(1): 51-62. (in Thai)
- Stein, D.R., D.T. Allen, E.B. Perry, J.C. Bruner, K.W. Gates, T.G. Rehberger, K. Mertz, D. Jones and L.J. Spicer. 2006. Effects of feeding propionibacteria to dairy cows on milk yield, milk components, and reproduction. *Journal of Dairy Science* 89(1): 111-125.
- Suksombat, W., P. Lounglawan and P. Noosen. 2006. Energy and protein evaluation of five feedstuffs used in diet in which cassava pulp as main energy source for lactating dairy cows. *Suranaree Journal of Science and Technology* 14(1): 99-107.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca, 476 p.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Method for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Wanapat, M. 2000. Rumen manipulation to increase the efficient use of local feed resources and productivity of ruminants in the tropics. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 1(Suppl.): 59-67.
- Wolin, M.J., T.L. Miller and C.S. Stewart. 1997. Microbe-microbe interactions. pp.467-491. In: P.N. Hobson and C.S. Stewart (eds.). *The Rumen Microbial Ecosystem*. Blackie Academic & Professional, London.