วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



ผลของการใช้บัวตอง (*Tithonia diversifolia*) ทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารโคเนื้อต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊ส และการย่อยสลายได้ในหลอดทดลอง

Effects of Mexican sunflower (*Tithonia diversifolia*) replacing soybean meal in beef cattle feed formulas on *in vitro* gas production kinetics and degradability

รัฐพล พลเทียร[1], สินีนาฏ พลโยราช[2], อนุสรณ์ เชิดทอง[3], ณรกมล เลาห์รอดพันธ์[4] และ สุบรรณ ฝอยกลาง[1]*

Ratthapon Pontian[1], Sineenart Polyorach[2], Anusorn Cherdthong[3], Narakamol Laorodphan[4] and Suban Foiklang[1]*

[1] *คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี ม.แม่โจ้ เชียงใหม่ 50290*
[1] *Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University, Chiang Mai 50290*
[2] *คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง*
[2] *School of Agriculture Technology King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Department of Animal Production Technology and Fisheries*
[3] *ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002*
[3] *Tropical Feed Resources Research and Development Center (TROFREC), Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002*
[4] *คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร หลักสูตรสาขาวิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*
[4] *Faculty of Food and Agricultural Technology, Animal Science, Pibulsongkram Rajabhat University*

บทคัดย่อ บัวตอง (Tithonia diversifolia) พบทั่วไปในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย มักปลูกเพื่อความสวยงามสำหรับเป็นแหล่งท่องเที่ยว อย่างไรก็ตาม บัวตองมีคุณค่าทางโภชนะสูงโดยเฉพาะโปรตีน แต่ในเมืองไทยยังไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ด้านอาหารสัตว์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้บัวตองทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารโคเนื้อ ต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊สและการย่อยสลายได้ในหลอดทดลอง ทำการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยแบ่งเป็น 6 กลุ่มการทดลอง (T1-T6) กลุ่มละ 3 ซ้ำ โดยใช้บัวตองทดแทนกากถั่วเหลือง(วัตถุแห้ง) ในสัดส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 ในสูตรอาหารข้น ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า บัวตองมีวัตถุแห้ง 85.46% โปรตีนดิบ 18.39% เยื่อใย NDF 53.25% เยื่อใย ADF 42.29% ไขมัน 2.25% และเถ้า 13.4% ค่าจลนศาสตร์การผลิตแก๊สพบว่า ค่าของส่วนที่ละลายได้ช้า (b), ค่าศักยภาพในการผลิตแก๊ส (a+ b) และการผลิตแก๊สสะสมที่ 96 ชั่วโมง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) โดยกลุ่มที่มีค่า b สูงที่สุดคือกลุ่ม T1 (133.85 ml/0.5 g DM) และ ต่ำที่สุดคือ T6 (115.80 ml/0.5 g DM) ค่า a+b กลุ่มที่มีค่าสูงที่สุดคือกลุ่ม T3 (135.57 ml/0.5 g DM) และต่ำที่สุดคือ T6 (119.35 ml/0.5 g DM) และการผลิตแก๊สสะสมที่ 96 ชั่วโมงมีค่าสูงที่สุดใน T3 (130.97 ml/0.2 g DM) มีค่าต่ำที่สุดคือ T6 (114.33 ml/0.5 g DM) ค่าของส่วนที่ละลายได้ทันที (a) ค่าอัตราส่วนของการผลิตแก๊ส และการย่อยสลายของวัตถุแห้งและการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในหลอดทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) จากผลการทดลองสรุปได้ว่า บัวตองสามารถใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองได้ถึง 60% โดยไม่กระทบต่อกระบวนการหมักและการย่อยสลายได้ในหลอดทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ทางเลือกได้

คำสำคัญ: บัวตอง; จลนศาสตร์การผลิตแก๊ส; การย่อยสลายได้ในหลอดทดลอง

* Corresponding author: bungung@hotmail.com

Received: date; June 9, 2025 Revised: date; November 27, 2025

Accepted: date; November 27, 2025 Published: date; April 9, 2026

ABSTRACT: Mexican sunflower (Tithonia diversifolia) is widely found in upper northern Thailand, where it is commonly cultivated for ornamental purposes as a tourist attraction. However, it has high nutritional value, especially protein, but has not yet been utilized as animal feed in Thailand. Therefore, this study aimed to investigate the effects of replacing soybean meal with Mexican sunflower in beef cattle diets on gas production kinetics and in vitro degradability. A completely randomized design (CRD) was employed, divided into 6 treatments (T1–T6) with 3 replications per treatment. Soybean meal was replaced with Mexican sunflower (on a dry matter basis) at ratios of 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, and 0:100 in the concentrate diets, respectively. The results showed that Mexican sunflower contained 85.46% dry matter, 18.39% crude protein, 53.25% neutral detergent fiber (NDF), 42.29% acid detergent fiber (ADF), 2.25% ether extract, and 13.4% ash. Regarding gas production kinetics, the insoluble fraction (b), potential gas production (a + b), and cumulative gas production at 96 h were significantly different (P<0.01). The highest b value was observed in group T1 (133.85 ml/0.5 g DM), and the lowest was in T6 (115.80 ml/0.5 g DM). For the a + b value, the highest was in group T3 (135.57 ml/0.5 g DM), and the lowest was in T6 (119.35 ml/0.5 g DM). Cumulative gas production at 96 h was highest in T3 (130.97 ml/0.2 g DM) and lowest in T6 (114.33 ml/0.5 g DM). The soluble fraction (a), gas production rate (c), in vitro dry matter degradability, and in vitro organic matter degradability showed no significant differences (P>0.05). In conclusion, Mexican sunflower can replace soybean meal up to 60% without affecting the fermentation process and in vitro degradability, demonstrating its potential as an alternative animal feed resource.

Keywords: Mexican sunflower; *in vitro* degradability; gas production kinetics

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคเนื้อมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องและขยายตัวอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความต้องการเนื้อโคทั้งในตลาดภายในประเทศและตลาดต่างประเทศเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากนี้ความนิยมบริโภคเนื้อโคคุณภาพสูงเพิ่มมากขึ้นจากเดิมอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ภาคเกษตรกรและผู้ประกอบการต้องเร่งขยายกำลังการผลิตเพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มสูงขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2567 มีจำนวนผู้เลี้ยงโคเนื้ออยู่ประมาณ 1.3 ล้านคน และมีจำนวนโคเนื้อในประเทศทั้งหมดประมาณ 9,488,760 ตัว และในปี พ.ศ. 2568 ยังมีจำนวนการเพิ่มขึ้นของโคเนื้อเป็น 9,630,625 ตัว (กรมปศุสัตว์, 2568) และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในอนาคต จากจำนวนของโคเนื้อที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้วัตถุดิบอาหารสัตว์ไม่เพียงพอ ส่งผลให้ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์แพงขึ้น โดยเฉพาะวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีน เช่น กากถั่วเหลือง กากเมล็ดฝ้าย กากเมล็ดทานตะวัน และกากถั่วลิสง เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้นั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในสูตรอาหารโค ซึ่งโปรตีนเป็นสารอาหารสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเนื้อในโคเนื้อและมีกรดอะมิโนจำเป็นที่สมดุลกับความต้องการของโคเนื้อ

ในขณะเดียวกัน ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยเฉพาะวัตถุดิบโปรตีน มีความผันผวนและส่งผลกระทบต่อทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค โดยกากถั่วเหลืองซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนหลักในสูตรอาหารโคเนื้อ มีแนวโน้มปรับลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปี ค.ศ. 2024–2025 โดยข้อมูลจาก FRED ระบุว่าราคาเฉลี่ยโลกของกากถั่วเหลืองลดลงจากประมาณ 14,172 บาท/ตัน ในไตรมาส 2 ปี 2024 เหลือ 11,448 บาท/ตัน ในไตรมาส 2 ปี 2025 (FRED, 2025) ขณะที่ USDA คาดการณ์ว่าราคาเฉลี่ยกากถั่วเหลืองในปีการผลิต 2025/26 จะอยู่ที่ประมาณ 10,080 บาท/ตัน (USDA, 2025) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีสาเหตุจากหลายปัจจัย ทั้งภาวะเศรษฐกิจโลก ความผันผวนของสภาพภูมิอากาศ ต้นทุนการผลิต และค่าขนส่งที่ไม่แน่นอน ดังนั้น การพัฒนาและส่งเสริมการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ทางเลือกจากทรัพยากรในท้องถิ่น จึงมีความสำคัญต่อการลดต้นทุนและเพิ่มความมั่นคงด้านอาหารสัตว์ในอุตสาหกรรมโคเนื้อ การเลือกใช้ทรัพยากรในท้องถิ่นหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ทางเลือก นอกจากจะช่วยให้เกิดประโยชน์สูงสุดแล้ว ยังสามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลกำไรให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อได้

บัวตอง (*Tithonia diversifolia*) เป็นพืชสมุนไพรเขตร้อนชนิดไม้พุ่มที่ปลูกแพร่หลายในหลายประเทศทั้งในแอฟริกา เอเชีย และอเมริกาใต้ มีคุณสมบัติหลากหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฐานะแหล่งอาหารสัตว์ที่อุดมไปด้วยโปรตีน จึงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีคุณค่าสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่มีการนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยในสัตว์ปีกและสุกร ซึ่งอาจเนื่องมาจากการมีเส้นใยและสารต้านโภชนะ บัวตองเป็นพืชล้มลุกหรือไม้พุ่มอวบน้ำที่สามารถเจริญเติบโตได้สูงถึง 2 ถึง 3 เมตร (Gualberto et al., 2011) มีระบบรากแก้วที่แตกแขนงเป็นรากเล็กรองจำนวนมาก (Mwango et al., 2014) ส่วนใบของบัวตอง

อุดมไปด้วยโปรตีนและเทียบได้กับพืชตระกูลถั่วที่เป็นอาหารสัตว์ ส่วนใบของบัวตองมีปริมาณโปรตีนดิบ (Crude Protein) อยู่ในช่วง 16–28% ของวัตถุแห้ง (DM) ขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโตและสัดส่วนของก้านใบ(Pazla et al., 2024) นอกจากนี้ปริมาณเส้นใยมีความผันแปรสูง โดยปริมาณ เยื่อใย NDF มีค่าอยู่ระหว่าง 30.81–34.08 %DM และเยื่อใย ADF 22.48–31.69 %DM (Mora-Santacruz et al., 2020) จากการศึกษาของ Pérez et al. (2009) พบว่า คุณค่าทางโภชนะสูงสุดที่ระยะการเจริญเติบโต และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงออกดอก แต่การศึกษาอื่นรายงานค่าโปรตีนต่ำมาก แม้อยู่ในช่วงก่อนออกดอก (Gualberto et al., 2011) ในส่วนของลำต้นมีโปรตีนน้อยกว่า 10 %DM (Pathoummalangsy and Preston, 2008) และใบของบัวตองอุดมไปด้วยแร่ธาตุ 10-16% DM โดยเฉพาะแคลเซียม

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของการใช้บัวตองเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกในการทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารข้นในระดับที่เหมาะสมต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊ส และความสามารถในการย่อยสลายได้ในหลอดทดลอง

วิธีการศึกษา

สถานที่การศึกษา

การทดลองในครั้งนี้ได้ดำเนินการ ณ ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ และห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

การวางแผนการทดลอง

การศึกษาใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยใช้บัวตอง ทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารโคเนื้อที่มีกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบ 18% (วัตถุแห้ง) ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน จำนวน 6 ทรีทเมนต์ แต่ละทรีทเมนต์ประกอบด้วย 3 ซ้ำ ซึ่งประกอบด้วยสัดส่วนของกากถั่วเหลือง : บัวตอง (Soybean meal: Mexican sunflower; SBM: MSF) คือ

T1= กากถั่วเหลือง : บัวตอง SBM: MSF (100: 0), DM (Control)
T2= กากถั่วเหลือง : บัวตอง SBM: MSF (80: 20), DM
T3= กากถั่วเหลือง : บัวตอง SBM: MSF (60: 40), DM
T4= กากถั่วเหลือง : บัวตอง SBM: MSF (40: 60), DM
T5= กากถั่วเหลือง : บัวตอง SBM: MSF (20: 80), DM
T6= กากถั่วเหลือง : บัวตอง SBM: MSF (0: 100), DM

การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การเก็บตัวอย่างบัวตอง (*Tithonia diversifolia*) ดำเนินการในพื้นที่อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นแหล่งที่พบการเจริญเติบโตของบัวตองตามธรรมชาติ โดยเลือกบัวตองที่มีความหนาแน่นของพืชสม่ำเสมอและไม่มีการปนเปื้อนจากพืชชนิดอื่น การเก็บเกี่ยวตัวอย่างดำเนินการเก็บในช่วงระยะที่เริ่มออกดอก โดยในการเก็บเกี่ยวจะตัดตัวอย่างจาก ส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ใบ ก้าน และดอก จากนั้นภายหลังการเก็บเกี่ยวจะนำตัวอย่างพืชสด ตากแห้งในที่โล่ง ภายใต้แสงแดดธรรมชาติ เป็นระยะเวลาประมาณ 2–3 วัน หรือจนกว่าตัวอย่างจะมีลักษณะแห้งสนิทเพียงพอสำหรับการเก็บรักษาและการบด โดยหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีความชื้นสูงหรือมีฝนตกในระหว่างการตาก หลังจากตัวอย่างแห้งและสามารถบดได้ นำมาบดละเอียดโดยเครื่องบด ก่อนนำมาใช้ผสมในสูตรอาหาร การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยนำตัวอย่างบัวตองนำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบด ผ่านตะแกรงขนาด 1.0 mm ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) ซึ่งวิเคราะห์ค่าวัตถุแห้ง (dry mater; DM), เถ้า (Ash), โปรตีนดิบ (crude protein; CP) และไขมัน (ether extract; EE) ตามวิธีการของ AOAC (1995) และการวิเคราะห์เยื่อใยโดย Detergent fiber analysis system คือ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber; NDF) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (acid detergent fiber; ADF) ตามวิธีการของ Van Soest et al. (1991)

การศึกษาจลนศาสตร์การผลิตแก๊สและการย่อยสลายได้ในหลอดทดลอง

การเตรียมของเหลวจากกระเพาะหมักผสม (Rumen mixed inoculum)

1. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุอาหาร นำสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุอาหารที่ทำการเตรียมไว้ล่วงหน้า ผสมและบรรจุลงในขวดรูปชมพู่ที่ปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านสารละลาย เพื่อไล่ออกซิเจนตลอดเวลา (ทำการเติมสารละลายที่ใช้ในการไล่ออกซิเจนประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนการเติมของเหลวจากกระเพาะหมัก สังเกตสภาวะไร้ออกซิเจนจากการเปลี่ยนแปลงสีของรีซาซูรินในสารละลายจากสีฟ้าเป็นสีชมพูอ่อน) พร้อมทั้งการทำให้อุ่นรักษาอุณหภูมิที่ 39 °C บนเครื่องกวนสารให้ความร้อน ด้วยเครื่อง Hotplate magnetic stirrer ในระหว่างรอการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักจากสัตว์มาผสมในขั้นตอนต่อไป
2. การเก็บของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen fluid) โคเนื้อลูกผสมบราห์มัน จำนวน 4 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 350 กิโลกรัม ทำการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักโดยการสอดสายยางผ่านปากและดูดด้วยเครื่องดูดสุญญากาศให้ได้ประมาณ 1 L ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วทำการถ่ายเทของเหลวที่ได้ลงในกระติกน้ำร้อนที่ได้บรรจุน้ำไว้ล่วงหน้า (น้ำอุ่นที่ อุณหภูมิ 39 °C) หลังจากนั้นนำของเหลวที่ได้ไปยังห้องปฏิบัติการทันที
3. การเตรียมของเหลวจากกระเพาะหมักสัตว์ นำของเหลวจากกระเพาะหมักสัตว์มาทำการกรองผ่านผ้าขาวบางลงในกระบอกตวงขนาด 1,000 ml ที่ปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านสารละลายเพื่อไล่ออกซิเจนตลอดเวลา หลังจากนั้นทำการตวงปริมาตรที่ต้องใช้ 660 ml ทำการถ่ายเทและผสมลงในขวดรูปชมพู่ที่มีการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุอาหารไว้ล่วงหน้าแล้วในข้อ 1

การเตรียมอาหารทดลอง

ทำการชั่งน้ำหนักอาหารและฟางข้าวเพื่อทำการทดสอบในหลอดทดลอง การทดลองนี้ใช้อาหารทดลองที่มีสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น (R: C)= 60: 40 โดยใช้ฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ และอาหารข้นเป็นอาหารทดลองในสูตรอาหารที่มีบัวตองและกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบ ทำการชั่งหนักอาหารและฟางข้าวปริมาณ 0.2 g และอาหารข้นตามสูตรในปริมาณ 0.3 g ใส่ลงในขวดขนาด 50 ml แล้วปิดจุกยางและฝาครอบด้วยอะลูมิเนียมให้สนิท ทำการบรรจุของเหลวจากกระเพาะหมักผสมลงในขวดหน่วยย่อยโดยขวดที่เตรียมอาหารทดลองไว้แล้วออกจากตู้บ่ม แล้วทำการไล่ออกซิเจนด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านทางสายยางที่ต่อเข็มฉีดยาแทงผ่านจุกยาง พร้อมทั้งมีเข็มที่แทงไว้เพื่อระบายอากาศ พร้อมกันนั้นใช้กระบอกฉีดยาพลาสติกขนาด 60 ml ดูดของเหลวจากกระเพาะหมักผสมปริมาณ 40 ml จากขวดรูปชมพู่และบรรจุลงในขวดหน่วยย่อย โดยใช้เข็มแทงผ่านทางจุกยาง (ทำการถอดสายยางคาร์บอนไดออกไซด์ออกก่อน) หลังจากนั้นนำหน่วยย่อยกลับเข้าตู้บ่มรักษาอุณหภูมิที่ 39 °C ตามวิธีการของ Sommart et al. (2000) จากนั้นทำการบรรจุของเหลวจากกระเพาะหมักผสม ทำการศึกษาโดยวิธี *In vitro* gas production technique ตามวิธีของ Menke et al. (1979) ทำการวัดผลผลิตแก๊ส ณ ชั่วโมง 0, 1.5, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72 และ 96 ตามวิธีการของ Foiklang et al. (2016) จากนั้นทำการจดบันทึกปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น นำค่าผลผลิตแก๊สที่ได้มาหาค่าของส่วนที่ละลายได้ทันที (soluble fraction; a) ค่าของส่วนที่ละลายได้ช้า (insoluble fraction; b) ค่าอัตราส่วนของการผลิตแก๊ส (gas production rate; c) และค่าศักยภาพในการผลิตแก๊ส (potential extent of gas production; a+ b) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป fit curve เพื่ออธิบายจลนศาสตร์ของการผลิตแก๊สตามแบบจำลองตามสมการ Ørskov and McDonald (1979) ดังนี้

$$y = a + b [1-\exp (-ct)]$$

เมื่อ y = ผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น ณ เวลา t (ml)

a = จุดตัดแกน y ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่บ่งบอกปริมาณผลผลิตแก๊สจากส่วนที่ละลายได้ (ml)

b = ปริมาณผลผลิตแก๊สจากส่วนที่หมักย่อยได้ (ml)

c = อัตราการผลิตแก๊ส (ml/h)

t = เวลาการเกิดแก๊ส (h)

ทำการวัดค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter degradability, IVDMD) และการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ *(in vitro* organic matter degradability, IVOMD) ณ ชั่วโมงที่ 12 และ 24 หลังการบ่ม ตามสมการของ (Tilley and Terry, 1963) ดังนี้

$$\text{IVDMD (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักวัตถุแห้งเริ่มต้น - น้ำหนักวัตถุแห้งที่เหลือหลังการบ่ม}}{\text{น้ำหนักวัตถุแห้งเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{IVOMD (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักอินทรียวัตถุเริ่มต้น – น้ำหนักอินทรียวัตถุที่เหลือหลังการบ่ม}}{\text{น้ำหนักอินทรียวัตถุเริ่มต้น}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ CRD โดยใช้ Proc GLM ด้วยโปรแกรมทางสถิติ (SAS, 1998) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ทดสอบความแตกต่างทางสถิติที่ $P<0.05$

Table 1 Feed ingredients of the diet used in the experiment

Ingredients (Kg)	SBM: MSF Ratios in concentrate feed					
	100:0	**80:20**	**60:40**	**40:60**	**20:80**	**0:100**
Cassava chip	61.7	61.3	61	60.7	60.3	60
SBM	18	14.4	10.8	7.2	3.60	0
Rice bran	16	16	16	16	16	16
MSF	0	3.60	7.20	10.8	14.4	18
Urea	0.8	1.2	1.5	1.8	2.2	2.5
Premix	1	1	1	1	1	1
Molasses	1	1	1	1	1	1
Sulfur	1	1	1	1	1	1
Salt	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Chemical composition*						
DM, %	92.95	93.32	91.69	91.06	90.43	89.80
OM, %DM	91.96	91.89	91.81	91.73	91.66	91.58
CP, %DM	14.19	14.34	14.21	14.08	14.24	14.11
EE, %DM	3.33	3.36	3.38	3.40	3.43	3.45
NDF, %DM	26.71	27.51	28.35	29.18	29.99	30.83
ADF, %DM	13.58	14.71	15.85	17.00	18.13	19.28
TDN, %DM	73.64	72.51	71.46	70.41	69.28	68.23

* Data from calculation T1-T6, concentrate contain soybean meal replaced by MSF at 0, 20, 40, 60, 80 and 100 % DM, respectively. SBM= soybean meal, MSF= Mexican sunflower, DM= dry matter, OM=organic matter, CP=crude protein, NDF=neutral detergent fiber, ADF=acid detergent fiber and TDN= total digestible nutrients.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของบัวตองในห้องปฏิบัติการ พบว่าบัวตองมีปริมาณวัตถุแห้งอยู่ที่ 85 % โปรตีนดิบ 18 %DM เยื่อใย NDF 53.25 %DM เยื่อใย ADF 42.29 %DM ไขมัน 2.25 %DM และเถ้า 13.4 %DM **(Table 2)** ซึ่งค่าของโปรตีนดิบสอดคล้องกับรายงานของ Oluwasola and Dairo (2016) ที่พบว่าโปรตีนหยาบของใบบัวตองอยู่ในช่วง 18.05-20.5 %DM ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาเก็บเกี่ยว โดยมีค่าต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม (18.05 %DM) และสูงสุดในเดือนกันยายน (20.5 %DM) สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของบัวตองในฐานะแหล่งโปรตีนจากพืชที่ดี สำหรับใช้ในอาหารสัตว์ โดยเฉพาะในช่วงที่มีการเก็บเกี่ยวก่อนการออกดอก ปริมาณของเถ้าในตัวอย่างที่วิเคราะห์ 13.4 %DM มีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าที่รายงานไว้ในช่วง 13.01–14.1 %DM แสดงถึงปริมาณแร่ธาตุที่สูงในพืชชนิดนี้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณของไขมันในตัวอย่างนี้ 2.25 %DM มีแนวโน้มต่ำกว่าค่าที่รายงานไว้ในงานวิจัยดังกล่าว 4.1–5.5 %DM ซึ่งอาจมีสาเหตุจากความแตกต่างในแหล่งปลูก วิธีเก็บเกี่ยว หรือกระบวนการวิเคราะห์ นอกจากนี้ ค่าของเยื่อใย NDF และ ADF จากการศึกษานี้อยู่ในช่วงใกล้เคียงกับการศึกษาของ Pazla et al. (2022) ซึ่งรายงานว่าบัวตองมีค่า NDF และ ADF เท่ากับ 61.12 %DM และ 40.15 %DM ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าบัวตองนั้นมีปริมาณเยื่อใยที่ค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนะโดยรวมของพืชชนิดนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในด้านของการย่อยได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ความใกล้เคียงขององค์ประกอบทางเคมีของบัวตองในงานวิจัยนี้ และวิจัยก่อนหน้า สะท้อนให้เห็นว่าบัวตองนั้นมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกชนิดใหม่ ในสูตรอาหารโคเนื้อโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งหรือในช่วงวัตถุดิบอาหารมีราคาสูงขึ้นอย่างไรก็ตาม จากการที่บัวตองมีระดับเยื่อใยที่ค่อนข้างสูง จึงควรมีการคำนวณสูตรอาหารที่เหมาะสม โดยพิจารณาการเสริมด้วยแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางพลังงานหรือโปรตีนย่อยง่าย เพื่อช่วยปรับสมดุลโภชนะและเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อย

Table 2 Chemical composition of Mexican sunflower

Items	Mexican sunflower
Dry matter (DM)	85.46
	----------% of dry matter----------
Crude protein (CP)	18.39
Neutral detergent fiber (NDF)	53.25
Acid detergent fiber (ADF)	42.29
Ether extract	2.25
Ash	13.40

* Data from analysis

ค่าจลนศาสตร์การผลิตแก๊ส และค่าความสามารถในการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้ง และการย่อยสลายได้ของอินทรียวัตถุ

จากการศึกษาจลนศาสตร์การผลิตแก๊สโดยการใช้บัวตองทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารโคเนื้อ พบว่าค่าของส่วนที่ละลายได้ช้า (insoluble fraction; b) ค่าศักยภาพในการผลิตแก๊ส (potential extent of gas production; a + b) และการผลิตแก๊สสะสมที่ 96 h มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) **(Table 3)** ในขณะที่ค่าของส่วนที่ละลายได้ทันที (soluble fraction; a) และอัตราการผลิตแก๊ส (gas production rate; c) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

โดยค่าของส่วนที่ละลายได้ทันที (a) พบว่าอยู่ระหว่าง 1.46–4.10 ml gas/0.5 g DM โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P=0.41) ค่าของส่วนที่ละลายได้ช้า (b) กลุ่ม T1 มีค่าสูงที่สุด (133.85 ml/0.5 g DM) รองลงมาคือ T3 (132.10 ml/0.5 g DM) และ

T2 (129.70 ml/0.5 g DM) ซึ่งไม่แตกต่างจาก T4 (128.41 ml/0.5 g DM) ในขณะที่กลุ่ม T6 มีค่าน้อยที่สุด (115.80 ml/0.5 g DM) แตกต่างจากกลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น T5 (ml/0.5 g DM) ค่าของอัตราการผลิตแก๊ส (c) มีค่าตั้งแต่ 0.024–0.026 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P=0.42) ค่าของศักยภาพในการผลิตแก๊ส (a+b) พบว่ากลุ่ม T1 (135.74 ml/0.5 g DM) และ T3 (135.57 ml/0.5 g DM) มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ T6 มีค่าต่ำที่สุด (119.35 ml/0.5 g DM) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มอื่น ยกเว้น T5 (123.57 ml/0.5 g DM) สำหรับ และค่าการผลิตแก๊สสะสมที่ 96 h กลุ่ม T3 (128.33 ml/0.5 g DM) และ T1 (126.83 ml/0.5 g DM) มีค่าสูงที่สุด ขณะที่ T6 (111.87 ml/0.5 g DM) ต่ำที่สุด **(Figure 1)**

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การใช้บัวตองในระดับที่เหมาะสม (เช่น กลุ่ม T1 และ T3) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้ดีขึ้น ในขณะที่ระดับที่สูงเกินไป (กลุ่ม T6) ส่งผลในทางลบ อาจเนื่องจากการสะสมของสารประกอบทุติยภูมิจากพืช เช่น แทนนินและซาโปนิน ซึ่งเป็นสารที่มีรายงานว่ามีผลยับยั้งการย่อยและการหมักในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยแทนนินสามารถจับกับโปรตีนและเอนไซม์ย่อยอาหาร (Oluwasola and Dairo, 2016) ในขณะที่ซาโปนินอาจรบกวนสมดุลจุลินทรีย์ในรูเมน (Patra and Saxena, 2009) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังไม่มีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารดังกล่าวในตัวอย่างจริง จึงยังไม่สามารถสรุปกลไกได้อย่างชัดเจน

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานของ Firsoni et al. (2022) ที่รายงานว่าการใช้บัวตองร่วมกับรำข้าวในระดับ 25% สามารถเพิ่มการผลิตแก๊สในหลอดทดลอง โดยเฉพาะในส่วนของ insoluble fraction ที่สะท้อนถึงการย่อยสลายเยื่อใยโดยจุลินทรีย์ในรูเมน นอกจากนี้ การใช้รำข้าวยังช่วยลดผลกระทบจากสารประกอบทุติยภูมิ โดยทำหน้าที่เจือจางความเข้มข้นของแทนนินและซาโปนิน ส่งผลให้จุลินทรีย์ทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ข้อมูลดังกล่าวยังได้รับการสนับสนุนจาก Pazla et al. (2021) ซึ่งพบว่า เมื่อใช้บัวตองร่วมกับอาหารหยาบคุณภาพต่ำ เช่น ปาล์มหมักและหญ้าเนเปียร์ ในระดับไม่เกิน 20% จะช่วยส่งเสริมการผลิตแก๊สและกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids; VFA) ได้อย่างมีนัยสำคัญ สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าบัวตองมีศักยภาพเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือก หากใช้ในสัดส่วนที่เหมาะสม

ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (IVDMD) และอินทรียวัตถุ (IVOMD) ที่ 12 และ 24 ชั่วโมง ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05; **Table 3**) โดยพบว่าค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (IVDMD) ในชั่วโมงที่ 12 ของการทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยบัวตองที่สัดส่วนคือ 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 โดยมีค่าเท่ากับ 65.01%, 68.02%, 66.24%, 67.56%, 70.27% และ 63.00% ตามลำดับ และชั่วโมงที่ 24 ของทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยบัวตองที่สัดส่วนคือ 72.66%, 71.85%, 72.47%, 74.10%, 71.08% และ 70.35% ตามลำดับ และ ค่าการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ (IVOMD) พบว่า ในชั่วโมงที่ 12 ของการทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยบัวตองที่สัดส่วนคือ 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 โดยมีค่าเท่ากับ 68.52%, 70.21%, 74.26%, 77.13%, 74.78% และ 70.16% ตามลำดับ และชั่วโมงที่ 24 ของทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยบัวตองที่สัดส่วนคือ 76.49%, 74.68%, 75.17%, 75.43%, 73.39% และ 73.19% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sari et al. (2022) ที่พบว่าการใช้บัวตองร่วมกับกากถั่วเหลืองช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหมักและการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ แต่ผลต่อ ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (IVDMD) และอินทรียวัตถุ (IVOMD) ไม่ได้เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ความไม่สอดคล้องระหว่างค่าการผลิตแก๊สและค่าการย่อยสลาย (IVDMD/IVOMD) อาจเกิดจากความแตกต่างของตัวชี้วัด โดยการผลิตแก๊สมักสะท้อนถึงการย่อยคาร์โบไฮเดรตย่อยง่าย เช่น แป้งและเพกติน ขณะที่ ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (IVDMD) และอินทรียวัตถุ (IVOMD) วัดการย่อยวัตถุแห้งทั้งหมด รวมถึงส่วนที่ไม่ก่อแก๊ส เช่น โปรตีนหรือเยื่อใยบางชนิด (Rivera-Méndez et al., 2023) นอกจากนี้ แหล่งใยอาหารที่มีลิกนินสูง และสารประกอบทุติยภูมิจากพืช เช่น แทนนินและซาโปนิน สามารถยับยั้งการย่อยและการทำงานของจุลินทรีย์ในรูเมนได้ (Makkar, 2003) ปัจจัยเหล่านี้อาจเป็นสาเหตุให้ค่าการผลิตแก๊สและค่าการย่อยสลายไม่สอดคล้องกัน แม้ว่าการย่อยรวมของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุจะยังคงอยู่ในระดับที่สามารถใช้บัวตองทดแทนกากถั่วเหลืองได้ในระดับหนึ่ง

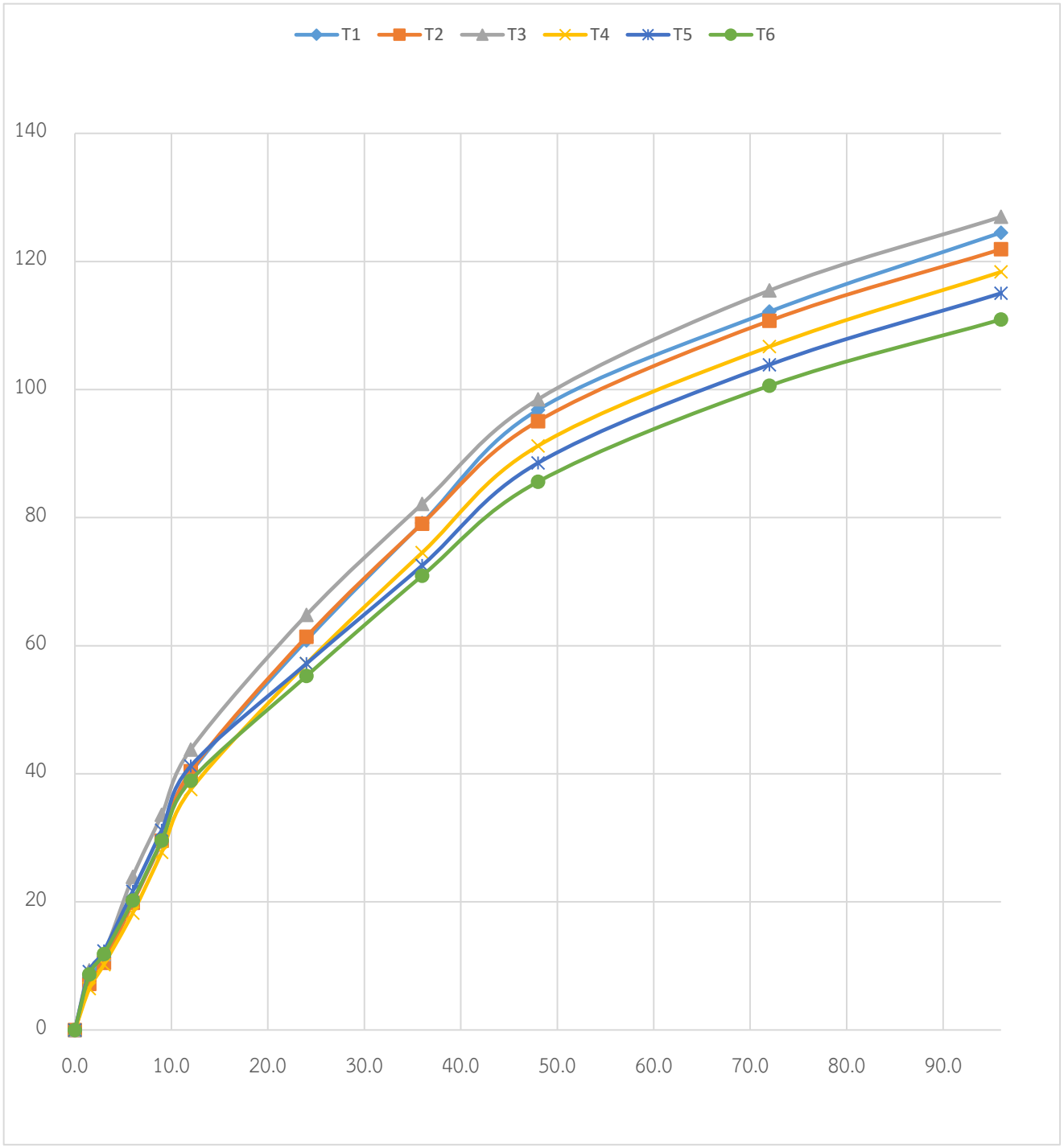


Figure 1 Effect of Mexican sunflower replacing soybean meal on cumulative gas production

Table 3 Effect of Mexican sunflower on *in vitro* gas production kinetics and degradability

Items	SBM: MSF Ratios in concentrate feed						SEM	*P*-value
	100:0	80:20	60:40	40:60	20:80	0:100		
Gas Kinetics[1]								
a	1.88	1.46	3.47	1.47	4.10	3.55	0.28	0.41
b	133.85[a]	129.70[a]	132.10[a]	128.41[a]	119.47[b]	115.80[b]	1.71	<0.001
c	0.025	0.026	0.026	0.024	0.025	0.025	0.0002	0.42
a+b	135.74[a]	131.17[a]	135.57[a]	129.89[ab]	123.57[bc]	119.35[c]	1.55	0.0013
Gas[2] (96 h) mL/0.5 g of substrate	126.83[a]	122.77[ab]	128.33[a]	118.37[bc]	115.27[c]	111.87[c]	1.54	0.0005
IVDMD[3], %								
12h of incubation	65.01	68.02	66.24	67.56	70.27	63.00	0.60	0.98
24h of incubation	72.66	71.85	72.47	74.10	71.08	70.35	0.31	0.98
IVOMD[4], %								
12h of incubation	68.52	70.21	74.26	77.13	74.78	70.16	0.79	0.42
24h of incubation	76.49	74.68	75.17	75.43	73.39	73.19	0.30	0.65

T1-T6, concentrate contain soybean meal replaced by MSF at 0, 20, 40, 60, 80 and 100 % DM, respectively., a = the gas production from the immediately soluble fraction, b= the gas production from the insoluble fraction, c= the gas production rate constant for the insoluble fraction (b), a+ b= the gas potential extent of gas production. [2]Cumulative gas after 96 hours of incubation time (mL/0.5 g of substrate). IVDMD[3] = *in vitro* dry matter degradability. IVOMD[4] = *in vitro* organic matter degradability. SEM[5] = standard error of mean.

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานี้สรุปได้ว่า บัวตอง (*Tithonia diversifolia*) สามารถทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารโคเนื้อได้สูงสุดถึง 60% โดยไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊สและค่าการย่อยสลายในหลอดทดลอง (IVDMD และ IVOMD) อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ชี้ให้เห็นศักยภาพของบัวตองในฐานะแหล่งโปรตีนทดแทนที่ช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มทางเลือกในการใช้ทรัพยากรท้องถิ่น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านการทดลองซึ่งดำเนินการเฉพาะในระดับ *in vitro* และคุณค่าทางโภชนะของบัวตองอาจแปรผันตามอายุการเก็บเกี่ยวและฤดูกาล ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาต่อในระดับ *in vivo* เพื่อประเมินผลต่อประสิทธิภาพการผลิต สุขภาพสัตว์ และการปริมาณกินได้ อีกทั้งควรพัฒนาแนวทางการจัดการและการประยุกต์ใช้ในฟาร์มปศุสัตว์จริง เพื่อให้การใช้บัวตองในเชิงพาณิชย์มีความเหมาะสมและยั่งยืน

การอนุญาตวิจัยในสัตว์

การทดลองนี้ได้รับอนุญาตใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ตามเอกสารอนุญาตเลขที่ MACUC 007A/2568

คำขอบคุณ

ขอแสดงความขอบคุณคุณมายังอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิจัย ขอขอบคุณฟาร์มโคนม-โคเนื้อและห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับการสนับสนุนวัสดุ และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมปศุสัตว์ 2567. ข้อมูลจำนวนเกษตและปศุสัตว์ในประเทศไทยประจำปี พ.ศ 2567. แหล่งข้อมูล: https://ict.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-ict/report/477-report-thailand-livestock/reportservey2568. ค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2568.

AOAC. 1995. Official Method of Analysis, 16th Edition. Animal Feeds: Association of Official Analytical Chemists, VA, USA.

Blümmel, M., H. Steingass, and K. Becker. 1997. The relationship between in vitro gas production, in vitro microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. British Journal of Nutrition. 77: 911-921.

Firsoni, F., W. T. Sasongko, and T. Wahyono. 2022. Nutritive value and fermentation characteristics of *Tithonia diversifolia* and *Moringa oleifera* evaluated by gas production technique in vitro. Advances in Biological Sciences Research. 20: 261-26.

Foiklang, S., M. Wanapat, and T. Norrapoke. 2016. In vitro rumen fermentation and digestibility of buffaloes as influenced by grape pomace powder and urea treated rice straw supplementation. Animal Science Journal. 87: 370-377.

FRED. 2025. Global price of soybean meal (PSMEAUSDA). Available: https://fred.stlouisfed.org/series/PSMEAUSDA. Accessed: Sep.11, 2025.

Gualberto, R., O. F. Souza Júnior, N. R. Costa, C. D. Braccialli, and L. A. Gaion. 2011. Influence of spacing and plant development stadium in biomass yield and nutritional value of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray. Nucleus. 8: 241-256.

Herrera, R. S., D. M. Verdecia, and J. L. Ramírez. 2020. Chemical composition, secondary and primary metabolites of *Tithonia diversifolia* related to climate. Cuban Journal of Agricultural Science. 54: 425-433.

John-Dewole, O. O., and S. O. Oni. 2013. Phytochemical and antimicrobial studies of extracts from the leaves of *Tithonia diversifolia* for pharmaceutical importance. IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences. 6: 21-25.

Makkar, H. P. S. 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. Small Ruminant Research. 49: 241-256.

Menke, K. H., L. Raab, A. Salewski, H. Steingass, D. Fritz, and W. Schneider. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. Journal of Agricultural Science, Cambridge. 93: 217-222.

Mora-Santacruz, A., C. González, and M. González. 2020. Chemical composition of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (Asteraceae) and diversity of uses in rural areas. ECORFAN Journal-Ecuador. 7: 1–12.

Mwango, S. B., B. M. Msanya, P. W. Mtakwa, D. N. Kimaro, J. Deckers, J. Poesen, V. Massawe, and I. Bethuel. 2014. Root properties of plants used for soil erosion control in the Usambara Mountains, Tanzania. International Journal of Plant and Soil Science. 3: 1567-1580.

Navarro, F., and E. F. Rodríguez. 1990. Estudio de algunos aspectos bromatológicos del Mirasol (*Tithonia diversifolia* Hemsl y Gray) como posible alternativa de alimentación animal. Thesis. Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

Oluwasola, T. A., and F. A. S. Dairo. 2016. Proximate composition, amino acid profile and some anti-nutrients of *Tithonia diversifolia* cut at two different times. African Journal of Agricultural Research. 11: 3659-3663.

Ørskov, E. R., and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science. 92: 499-503.

Pathoummalangsy, K., and T. R. Preston. 2008. Effects of supplementation with rumen fermentable carbohydrate and sources of 'bypass' protein on feed intake, digestibility and N retention in growing goats fed a basal diet of foliage of *Tithonia diversifolia*. Livestock Research for Rural Development. 20: 76.

Patra, A. K., and J. Saxena. 2009. Dietary phytochemicals as rumen modifiers: a review of the effects on microbial populations. Antonie van Leeuwenhoek: Journal of Microbiology. 96: 363-375.

Pazla, R., N. Jamarun, Arief, Elihasridas, G. Yanti, and E. M. Putri. 2023. *In vitro* evaluation of feed quality of fermented *Tithonia diversifolia* with *Lactobacillus bulgaricus* and *Persea americana* miller leaves as forages for goat. Tropical Animal Science Journal. 46: 43-54.

Pazla, R., N. Jamarun, F. Agustin, M. Zain, Arief, and N. O. Cahyani. 2021. *In vitro* nutrient digestibility, volatile fatty acids and gas production of fermented palm fronds combined with tithonia (*Tithonia diversifolia*) and elephant grass (*Pennisetum purpureum*). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 888: 012067.

Pazla, R., N. Jamarun, M. Zain, Arief, G. Yanti, E. M. Putri, and R. H. Candra. 2022. Impact of *Tithonia diversifolia* and *Pennisetum purpureum*-based ration on nutrient intake, nutrient digestibility and milk yield of Etawa crossbreed dairy goat. International Journal of Veterinary Science. 11: 327-335.

Pérez, A., I. Montejo, J. M. Iglesias, O. López, G. J. Martín, D. E. García, I. Milián, and A. Hernández. 2009. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. Pastos y Forrajes. 32: 1–15.

Rivera-Méndez, C., A. B. Pliego, O. A. Castrejón-Pineda, and J. C. Ku-Vera. 2023. *Tithonia diversifolia* improves *in vitro* rumen microbial synthesis of sheep diets without changes in total gas and methane production. Agronomy. 13: 2768.

Sari, R. M., M. Zain, N. Jamarun, R. W. S. Ningrat, Elihasridas, and E. M. Putri. 2022. Improving rumen fermentation characteristics and nutrient digestibility by increasing rumen degradable protein in ruminant feed using *Tithonia diversifolia* and *Leucaena leucocephala*. International Journal of Veterinary Science. 11: 353-360.

Sommart, K., D. S. Parker, P. Rowlinson, and M. Wanapat. 2000. Fermentation characteristics and microbial protein synthesis in an *in vitro* system using cassava, rice straw and dried ruzi grass as substrates. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 13: 1084-1093.

Tilley, J. M. A., and R. A. Terry. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society. 18: 104-111.

USDA. 2025. Oil crops outlook: May 2025. United States Department of Agriculture, Economic Research Service. Available: https://ers.usda.gov/sites/default/files/_laserfiche/outlooks/112583/OCS-25e.pdf. Accessed: Sep.11, 2025.