วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

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



ผลของการใช้ต้นข้าวโพดแห้งหมักด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus casei* TH14 ต่อการใช้ประโยชน์ของโภชนะและกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนในหลอดทดลอง

Effect of using dried corn stover fermented with fibrolytic enzymes and *Lactobacillus casei* TH14 on *in vitro* nutrient utilization and rumen fermentation

ฉัตรชัย ภักดีกลาง[1], อนุสรณ์ เชิดทอง[2], พงศธร กุนัน[3], ชานนท์ สุนทรา[2], ชุติกาญจน์ ศรทองแดง[1] และ สุบรรณ ฝอยกลาง[1]*

Chatchai Pakdeeklang[1], Anusorn Cherdthong[2], Pongsatorn Gunun[3], Chanon Suntara[2], Chutikan Sonthongdaeng[1] and Suban Foiklang[1]*

[1] *คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290*
[1] *Faculty of Animal Science and Technology Maejo University Chiang Mai 50290*
[2] *สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002*
[2] *Department of Animal Science Faculty of Agriculture Khon Kaen University 40002*
[3] *สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 47160*
[3] *Department of Animal Science Faculty of Natural Resources Rajamangala University of Technology Sakon Nakhon Campus 47160*

บทคัดย่อ: ปัจจุบันเกษตรกรผู้เลี้ยงโคและกระบือประสบปัญหาการขาดแคลนพืชอาหารหยาบ จึงมองเห็นการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทางการเกษตรโดยเฉพาะต้นข้าวโพดแห้งที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยต้นข้าวโพดแห้งหมักด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยและเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus casei* TH14 ช่วยเพิ่มโภชนะของต้นข้าวโพดแห้ง และช่วยลดต้นทุนอาหารสัตว์ได้ ดังนั้น การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ต้นข้าวโพดแห้งหมักด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus casei* TH14 ต่อการใช้ประโยชน์ของโภชนะและกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนในหลอดทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 9 กลุ่ม ใช้อาหารผสมครบส่วน (TMR) สัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้น คือ 60:40, โดยใช้ต้นข้าวโพดแห้งหมักทดแทนฟางข้าวที่สัดส่วน 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60% ตามลำดับ พบว่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง (*in vitro* dry matter degradability, IVDMD) ที่ 24 ชั่วโมง มีค่าการย่อยได้เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 65.63% ($P<0.001$) การย่อยสลายของอินทรียวัตถุ (*in vitro* organic matter degradability, IVOMD) ที่ 24 ชั่วโมง มีค่าการย่อยได้อยู่ที่ 66.70% ($P<0.001$) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าต้นข้าวโพดหมักสามารถใช้ทดแทนฟางข้าวได้ และมีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

คำสำคัญ: ต้นข้าวโพดแห้งหมัก; เอนไซม์ย่อยเยื่อใย; จุลินทรีย์แลคโตบาสิลัส คาเซอิ TH14; การย่อยสลายได้ในหลอดทดลอง; จลนศาสตร์การผลิตแก๊ส

ABSTRACT: Currently, cattle and buffalo farmers are facing the problem of a lack of roughage. Thus, we observe the utilization of agricultural waste as a source of roughage, especially dried corn stover fermented with fibrolytic enzymes and *Lactobacillus casei* TH14 can increase the nutrition of dried corn stover. This can help reduce animal feed costs. Therefore, this experiment aimed to study the effect of using dry corn stalks fermented with fiber-

* Corresponding author: bungung@hotmail.com

Received: date; June 9, 2025 Revised: date; December 12, 2025

Accepted: date; December 16, 2025 Published: date; April 9, 2026

digesting enzyme and *Lactobacillus casei* TH14 microorganisms on the utilization of nutrients and the fermentation process in the rumen *in vitro*. A completely randomized controlled trial (CRD) was conducted, dividing the experimental groups into 9 groups. The experimental groups were fed with a complete mixed diet (TMR) with a ratio of concentrate to roughage of 40:60. The fermented corn stover were used instead of rice straw in the ratios of 0, 10, 20, 30, 40, 50, and 60%, respectively. It was found that the *in vitro* dry matter degradability (IVDMD) at 24 h showed an increase in digestibility of 65.63% (P<0.001). The *in vitro* organic matter degradability (IVOMD) at 24 h showed an increase in digestibility of 66.70% (P<0.001). The results of this experiment indicated that corn stover fermented can effectively replace rice straw and has potential as a roughage source in ruminant feeding systems.
Keywords: corn stover silage; fibrolytic enzymes; *Lactobacillus casei* TH14; *in vitro* degradability; gas production kinetic

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคมีการขยายตัวและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีการขยายการเลี้ยงเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ อีกทั้งยังมีการบริโภคเนื้อและนมที่มีคุณภาพสูงและปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค จึงต้องมีการขยายการผลิตเพิ่ม โดยในปี พ.ศ. 2568 ประเทศไทย มีจำนวนสัตว์เคี้ยวเอื้องรวมทั้งหมดประมาณ 11,461,599 ตัว (โคเนื้อ 9,541,765 โคนม 560,551 กระบือ 1,805,535 แพะ 1,313,727 และแกะ 137,796 ตัว) (กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2568) ขณะเดียวกันประชากรมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อประชากรมีการเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องมีการขยายพื้นที่อยู่อาศัยเพิ่มมากขึ้น ทำให้พื้นที่ในการผลิตภาคการเกษตรลดลง ทำให้วัตถุดิบอาหารสัตว์ มีราคาแพงขึ้น เนื่องจากแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เคยใช้ได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตพลังงาน ฟางข้าว กากถั่วเหลือง และปาล์ม ทำให้ปริมาณวัตถุดิบอาหารสัตว์ลดลงและไม่เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตปศุสัตว์ จำเป็นต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้เกษตรกรประสบปัญหาต้นทุนที่สูงขึ้น โดยเฉพาะวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงาน เกษตรกรส่วนใหญ่จึงหันมาใช้แหล่งทรัพยากรอาหารสัตว์ที่หาได้ง่ายและมีภายในท้องถิ่นนั้น จะสามารถลดต้นทุนการผลิตสัตว์ได้ (นิราวรรณ, 2560) โดยเฉพาะ ผลพลอยได้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด ซังข้าวโพด ต้นข้าวโพดแห้งที่นำมาใช้เลี้ยงสัตว์

ประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นจำนวนมากมีเนื้อที่ปลูกทั้งหมด 6,844,000 ไร่ มีผลผลิตทั้งหมด 4,892,000 ตัน และผลผลิตเฉลี่ย 723 กิโลกรัม/ไร่ โดยภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดมากที่สุดคือ 4,320,362 ไร่ มีผลผลิต 3,190,756 ตัน รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่การปลูกข้าวโพด 1,185,676 ไร่ มีผลผลิต 854,610 ตัน และภาคกลาง มีพื้นที่ 891,034 ไร่ มีผลผลิต 871,141 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2568) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผลิตเพื่อใช้ภายในประเทศและการส่งออก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร ซึ่งแต่ละปีการผลิตของเกษตรกรส่วนใหญ่จะทำการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2 ฤดู คือ ข้าวโพดฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยในฤดูฝนจะปลูกในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนตุลาคม และเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณเดือนมิถุนายนถึงเดือนมกราคม และข้าวโพดฤดูแล้งจะเริ่มปลูกในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ และเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน (อัญชลี และคณะ, 2565) ในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะมีเศษวัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ เปลือกและซังข้าวโพด และส่วนอื่นๆ ซึ่งไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนใหญ่เกษตรกรจะปล่อยไว้และรอเผาทิ้งในช่วงเดือนมกราคม-เมษายนของทุกปี ซึ่งก่อให้เกิดหมอกควันจากการเผาไหม้ทำลายชั้นบรรยากาศของโลก และสุขภาพประชาชนในชุมชน ที่อยู่อาศัยในพื้นที่และเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาหมอกควันโดยเฉพาะ ทางภาคเหนือของไทย จากการประเมินพบว่า จะมีปริมาณซังข้าวโพดเหลือทิ้งจำนวน 1.2 ล้านตัน/ปี เปลือกข้าวโพดจำนวน 3.1 แสนตัน/ปี หรือคิดเป็น 25% ของผลผลิต (มูลนิธิเกษตรรักษ์สิ่งแวดล้อม, 2560) ในสภาวะที่เกษตรกรผู้เลี้ยงโค-กระบือประสบปัญหาการขาดแคลนพืชอาหารหยาบ ส่วนของต้นข้าวโพดแห้ง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะทำให้มีแหล่งอาหารหยาบเพิ่มขึ้นและสามารถแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพืชอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งได้

การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของอาหารหยาบหรือผลพลอยได้ทางการเกษตรอย่างต้นข้าวโพดแห้งนั้น มีคุณค่าทางโภชนะและการย่อยได้ที่ต่ำ มีความน่ากินต่ำ เนื่องจากมีปริมาณเยื่อใยที่สูงและความฟ่ามสูงเมื่อเทียบกับฟางข้าว ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนะให้ดีขึ้นก่อนนำไปใช้เป็นอาหารโค โดยการบดและการหมัก เป็นต้น ปัจจุบันการนำเอนไซม์ย่อยเยื่อใยมาใช้ในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์คุณภาพต่ำโดยการหมักได้รับความสนใจเป็นอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีคุณสมบัติในการ

ช่วยให้โครงสร้างของเยื่อใยแยกออกจากกันให้มีลักษณะอ่อนนุ่ม และเมื่อนำไปใช้เป็นอาหารโคจะทำให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยอาหารได้ง่ายขึ้น และส่งผลให้โคมีการย่อยได้เพิ่มขึ้น (นิราวรรณ, 2560) การเพิ่มประสิทธิภาพการหมักและการย่อยได้ของวัตถุดิบให้ดีขึ้น สามารถทำได้โดยการเติมเอนไซม์ที่ย่อยเยื่อใยพืช เช่น เซลลูเลส และไซแลนเนส โดยเอนไซม์ในกลุ่มนี้จะย่อยเยื่อใยพืช ทำให้ได้ผลผลิตเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำ (water soluble carbohydrate: WSC) และเป็นน้ำตาล (C5 และ C6) ซึ่งจะเป็นสารอาหารสำคัญของเอนไซม์ย่อยเยื่อใยและจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตในสภาพที่ไม่มีอากาศและเกิดการหมักทำให้มีการเพิ่มขึ้นของโปรตีนจากเซลล์ของจุลินทรีย์ และการเพิ่มขึ้นของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำในระหว่างกระบวนการหมัก รวมไปถึงการย่อยได้ของพืชหมักที่เพิ่มขึ้นจากการทำงานของเอนไซม์ จึงทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากพืชหมักได้ *Lactobacillus casei* TH14 เป็นจุลินทรีย์ประจำถิ่นของไทยที่มีความสามารถในการผลิตกรดแลกติกสูง ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด (pH) ของอาหารหมักลดลงอย่างรวดเร็ว ช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อนเน่าและส่งเสริมคุณภาพหมักที่ดี (Phesatcha and Wanapat, 2016) สอดคล้องกับการศึกษาของ Cherdthong et al. (2021) ที่ศึกษาการใช้ประโยชน์ของอาหารและการหมักในกระเพาะของโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทยที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวหมักร่วมกับเอนไซม์ *L. casei* TH14 กากน้ำตาล และเซลลูเลส ผลการศึกษาพบว่าฟางข้าวหมักด้วยกากน้ำตาลร่วมกับ *L. casei* TH14 มีปริมาณโปรตีนดิบ (CP) สูงกว่าฟางข้าวในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ฟางข้าวหมักด้วยกากน้ำตาลร่วมกับ *L. casei* TH14 มีความสามารถในการย่อยของวัตถุแห้ง (DM) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมฟางข้าวหมักไม่เปลี่ยนแปลง ($P>0.05$) ขณะที่การเติมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยก่อนการหมักมีบทบาทสำคัญในการลดโครงสร้างเส้นใยอย่าง NDF และ ADF ให้กลายเป็นน้ำตาลที่ง่ายต่อการหมักโดย (Lactic Acid Bacteria, LAB) ส่งผลต่อการเพิ่มค่าการย่อยได้และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในกระบวนการหมักในรูเมนในหลอดทดลอง (Adesogan et al., 2014; Kung et al., 2003) ซึ่งหากนำต้นข้าวโพดแห้งมาหมักด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยจะสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและการย่อยได้สามารถนำไปเลี้ยงสัตว์ได้มากขึ้นโดยเฉพาะในสัตว์เคี้ยวเอื้องและเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือจากการผลิตข้าวโพดเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารทางเลือกใหม่ในการนำมาทดแทนแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีราคาแพงในอนาคต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ต้นข้าวโพดแห้งหมักด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus casei* TH14 เพื่อทดแทนฟางข้าวในสูตรอาหารโค จลนศาสตร์การผลิตแก๊ส และการย่อยสลายในหลอดทดลอง

วิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design CRD) โดยมี ต้นข้าวโพดแห้งหมักด้วยจุลินทรีย์ร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยทดแทนฟางข้าวในอาหารผสมครบส่วน (Total mixed ration TMR) จำนวน 9 สูตร เป็นปัจจัยในการทดลอง ประกอบด้วยสัดส่วน อาหารข้น: ต้นข้าวโพดแห้งหมัก: อาหารหยาบ (ฟางข้าว) (Concentrate: Corn Stover Silage : Rice Straw: C: CSS: RS) คือ

T1 = C: CS: (40: 60), DM (ต้นข้าวโพดแห้งไม่หมัก)

T2 = C: RS: (40: 60), DM (ฟางข้าวไม่หมัก)

T3 = C: CSS: RS (40: 0: 60), DM

T4 = C: CSS: RS (40: 10: 50), DM

T5 = C: CSS: RS (40: 20: 40), DM

T6 = C: CSS: RS (40: 30: 30), DM

T7 = C: CSS: RS (40: 40: 20), DM

T8 = C: CSS: RS (40: 50: 10), DM

T9 = C: CSS: RS (40: 60: 0), DM

สถานที่การศึกษาทดลอง

การทดลองในครั้งนี้ได้ดำเนินที่ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ และห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ระยะเวลาในการทดลอง

วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2568 ถึง 18 มิถุนายน 2568

ขั้นตอนการหมักต้นข้าวโพดแห้งด้วย *Lactobacillus casei* TH14 และเอนไซม์ย่อยเยื่อใย

1. การเตรียมต้นข้าวโพดแห้ง (ลำต้น ใบ และยอด) ที่ได้จากเศษเหลือหลังการเก็บเกี่ยวฝักข้าวโพดของเกษตรกรในจังหวัดเชียงใหม่ จากนั้นนำมาเข้าเครื่องสับให้มีขนาดประมาณ 3-5 ซม. เพื่อรอผสมกับสารละลายเชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใย เข้าด้วยกันเพื่อทำการหมัก

2. การเตรียมสารละลายเชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใย เตรียมส่วนผสมของสารละลาย ชั่งเชื้อจุลินทรีย์ *L. casei* TH14 20 กรัม และเอนไซม์ Agal pro 400 กรัม ใส่ในถังผสมแล้วทำการตวงน้ำกลั่น ในปริมาตร 4 ลิตร เพื่อทำละลายเชื้อจุลินทรีย์ *L. casei* TH14 และเอนไซม์ Agal pro ให้เข้ากัน

3. การหมักต้นข้าวโพดแห้ง 2,000 กิโลกรัม ใช้ส่วนผสม น้ำ: กากน้ำตาล: ยูเรีย ในอัตราส่วน 200: 40 :20 เริ่มต้นโดยละลายยูเรียในน้ำสะอาด คนจนยูเรียละลายหมด เพื่อป้องกันการตกค้างเป็นผลึกซึ่งอาจทำให้การกระจายตัวของไนโตรเจนไม่สม่ำเสมอ จากนั้นจึงเติมกากน้ำตาลลงในสารละลายและคนให้เข้ากันและนำสารละลายเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์ที่เตรียมไว้ผสมเข้าด้วยกัน ใส่ลงในบัวรดน้ำรดให้ทั่วต้นข้าวโพดแห้งให้ทั่วถึง แล้วบรรจุลงในถุงหมักพลาสติก 15-20 กก. โดยกดให้แน่นเพื่อไล่อากาศออกให้ได้มากที่สุด นำไปไว้ในที่ร่ม หมักทิ้งไว้ 21 วัน

การเตรียมของเหลวจากกระเพาะหมักผสม (Rumen mixed inoculum)

1. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุอาหาร

นำสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุอาหาร ที่ทำการเตรียมไว้ล่วงหน้า ผสมและบรรจุลงในขวดรูปชมพู่ที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านสารละลาย (Flushing) เพื่อไล่ออกซิเจนตลอดเวลา (ทำการเติมสารละลายที่ใช้ในการไล่ออกซิเจนประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนการเติมของเหลวจากกระเพาะหมัก สังเกตสภาวะไร้ออกซิเจนจากการเปลี่ยนแปลงสีของรีซาซูรินในสารละลายจากสีฟ้าเป็นสีชมพูอ่อน) พร้อมทั้งการให้ความร้อนรักษาอุณหภูมิที่ 39 องศาเซลเซียส บนเครื่องกวนสารให้ความร้อน ในระหว่างรอการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักจากตัวสัตว์มาผสมในขั้นตอนต่อไป

2. การเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักจากตัวสัตว์

ทำการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักโดยการสอดสายยางผ่านปาก และดูดด้วยเครื่องดูดสุญญากาศให้ได้ประมาณ 1 ลิตร ลงในขวดรูปชมพู่แล้วทำการถ่ายเทของเหลวที่ได้ลงในกระติกน้ำร้อน (ที่ได้บรรจุน้ำร้อนไว้ล่วงหน้าเพื่อรักษาอุณหภูมิ แล้วเททิ้งก่อนการบรรจุของเหลวจากกระเพาะหมัก) หลังจากนั้นนำของเหลวที่ได้ไปยังห้องปฏิบัติการทันที

3. การเตรียมของเหลวจากกระเพาะหมักจากตัวสัตว์

นำของเหลวจากกระเพาะหมักจากตัวสัตว์ที่บรรจุในกระติกน้ำร้อนกรองผ่านผ้าขาวบาง ลงในกระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร ที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านสารละลายเพื่อไล่ออกซิเจนตลอดเวลา หลังจากนั้นทำการตวงปริมาตรตามที่ต้องใช้ (660 มิลลิลิตร) ทำการถ่ายเทและผสมลงในขวดรูปชมพู่ ที่มีการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุอาหารไว้ล่วงหน้าแล้วในข้อ 1.1

การบรรจุของเหลวจากกระเพาะหมักผสมลงในขวดหน่วยย่อย

การเตรียมขวดอาหารทดลองและต้นข้าวโพดแห้งหมักในสัดส่วนอาหารผสมครบส่วน อาหารข้นต่ออาหารหยาบ (40:60) ที่ผ่านการบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร และทำการบรรจุตัวอย่างอาหารทดลองลงในขวดขนาด 50 มิลลิลิตร ประกอบด้วย อาหารหยาบ 0.3 กรัม อาหารข้น 0.2 กรัม แล้วทำการปิดฝาครอบอะลูมีเนียมให้แน่น สนิทจากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้ ฉีดสารละลายเข้าในขวดที่บรรจุอาหารทดลองในปริมาณ 40 มิลลิลิตร แล้วนำขวดตัวอย่างเข้าบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นการวัดปริมาณการผลิตแก๊สเพื่อเป็นข้อมูลแก๊สสะสมในชั่วโมงที่ทำการวัดผลผลิตแก๊ส ณ ชั่วโมง 0, 1.5, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 72 และ

96 ตามวิธีการของ Foiklang et al. (2016) ทำการวัดปริมาตรผลผลิตแก๊สโดยใช้กระบอกฉีดยาแบบแก้วขนาด 20ml และเข็มฉีดยาขนาด 25Gx1” วางอยู่ในแนวตั้ง โดยแทงเข็มผ่านจุกยางของขวดแล้วปล่อยให้แก๊สดันกระบอกฉีดยาให้เคลื่อนที่แล้วรอจนหยุดนิ่ง จากนั้นทำบันทึกลงในแบบเก็บข้อมูลของแต่ละหน่วยย่อยตามเวลาที่กำหนด 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 เพื่อคำนวณค่าจลนศาสตร์ของการผลิตแก๊สตามสมการของ Ørskov and McDonald (1979) ดังนี้

$$y = a + b\,[1 - Exp^{(-ct)}]$$

เมื่อ y = ผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น ณ เวลา t

a = จัดตัดแกน y

b = ค่าปริมาณแก๊ส ณ จุดคงที่เมื่อปล่อยให้อาหารถูกย่อยโดยไม่จำกัดเวลา (asymptote)

c = ค่าอัตราการผลิตแก๊ส

ทำการวัดค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง *(in vitro* dry matter digestibility, IVDMD) และการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ *(in vitro* organic matter digestibility, IVOMD) ในชั่วโมงที่ 12 และ 24 หลังการบ่ม (Tilley and Terry, 1961) เก็บตัวอย่างอาหารทดลองและฟางข้าวเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง (dry matter, DM), เถ้า (ash) และโปรตีนหยาบ (crude protein, CP) ตามวิธีของ AOAC (2019) และวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อใย ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF), เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid-detergent fiber, ADF) ตามวิธีของ Van Soest et al. (1991) ดังสมการ

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

$$\text{IVOMD (\%)} = \frac{[\text{น้ำหนักอินทรีย์วัตถุเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักอินทรีย์วัตถุที่เหลือหลังการบ่ม}]}{\text{น้ำหนักวัตถุแห้งเริ่มต้น}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ด้วยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SAS, 2004)

Table 1 Concentrate feed formula in the experiment

Ingredient (Kg)	Items								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
corn stover (CS)	60	0	0	0	0	0	0	0	0
Rice straw (RS)	0	60	50	40	30	20	10	0	60
Corn stover silage (CCS)	0	0	10	20	30	40	50	60	0
Cassava Chip	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
Rice bran	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Palm oil	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SBM	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
Urea	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Premix	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Molasses	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sulfur	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Salt	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของต้นข้าวโพดแห้งหมักและต้นข้าวโพดแห้งในงานทดลองนี้พบว่า ต้นข้าวโพดแห้งหมักมีค่าวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) 95.41%, โปรตีนดิบ (Crude Protein, CP) 3.21%, เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) 72.69%, เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) 49.96%, ไขมัน (Ether extract, EE) 0.66% และเถ้า (Ash) 1.31 % ของวัตถุแห้ง ในขณะที่องค์ประกอบทางเคมีของต้นข้าวโพดแห้งมีค่าน้อยกว่า โดยมีค่า DM 95.36 % CP 2.24% NDF 75.81% ADF 51.20% EE 0.71% และ Ash 1.39% ของวัตถุแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนัทธ์ชนัน และคณะ (2567) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพทางโภชนะและการย่อยได้ของข้าวโพดสุวรรณหมักร่วมกับจุลินทรีย์ด้วยเทคนิคin *vitro* โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าสายพันธุ์ของข้าวโพดมีอิทธิพลร่วมกับการเสริมจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลต่อค่าอินทรีย์วัตถุ อนินทรีย์วัตถุ และกรดแลคติก ($P<0.05$) ในขณะที่อิทธิพลเดี่ยวของสายพันธุ์ข้าวโพด และการเสริมจุลินทรีย์ไม่ส่งผลต่อค่าอินทรียวัตถุและอนินทรีย์วัตถุ ($P>0.05$) แต่สายพันธุ์ของข้าวโพดมีอิทธิพลต่อปริมาณกรดแลคติก ($P<0.05$) และปริมาณของโปรตีนหยาบ ($P<0.05$) โดยพบว่าข้าวโพดสุวรรณ 5731 และ 5819 ให้ค่ากรดแลคติก (6.01 และ 6.70% ตามลำดับ) ที่สูงกว่าข้าวโพดสุวรรณ 4452 (5.57%) สอดคล้องกับการศึกษาของ Beauchemin et al. (2000) ที่ได้ทำการศึกษาการประเมินเอนไซม์อาหารโพลีแซ็กคาริเดสที่ไม่ใช่แป้งในอาหารโคนม ผลการศึกษาพบว่าการใช้เอนไซม์เสริมที่มีความเข้มข้นต่ำหรือสูงจะช่วยเพิ่มปริมาณอาหารที่กินได้ แต่การย่อยได้ของทางเดินอาหารทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อใช้เอนไซม์ที่มีความเข้มข้นต่ำเท่านั้น และสอดคล้องการศึกษาของ Cherdthong et al. (2021) ที่ศึกษาการใช้ประโยชน์ของอาหารและการหมักในกระเพาะของโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทยที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวหมักร่วมกับเอนไซม์ *L. casei* TH14 กากน้ำตาล และเซลลูเลส ผลการศึกษาพบว่าฟางข้าวหมักด้วยกากน้ำตาลร่วมกับ *L. casei* TH14 มีปริมาณโปรตีนดิบ (CP) สูงกว่าฟางข้าวในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ฟางข้าวหมักด้วยกากน้ำตาลร่วมกับ *L. casei* TH14 มีความสามารถในการย่อยของวัตถุแห้ง (DM) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมฟางข้าวหมักไม่เปลี่ยนแปลง ($P>0.05$) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยได้ในหลอดทดลองของหญ้าหมักข้าวโพดระหว่างการเก็บเกี่ยวในแปลง และลักษณะการหมักของหญ้าหมักที่เตรียมด้วยสารเติมแต่งจุลินทรีย์ พบว่าฟางข้าวโพดมีความชื้น 78.19% CP 9.01% NDF 64.54% เมื่อสังเกตจากวัตถุแห้ง (DM) ในระหว่างการเพาะเลี้ยงในแปลงทดลอง ปริมาณ DM, NDF, ADF ของข้าวโพดเพิ่มขึ้น รวมถึงความสามารถในการย่อยได้ในหลอดทดลองของ DM และ CP ลดลง ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าหมักควบคุม หญ้าหมักที่ผ่านการหมักด้วยเซลลูเลส มีปริมาณ NDF และ ADF ต่ำกว่า ($P<0.05$) (Gao et al., 2019)

Table 2 Chemical composition of corn stover (CS), dried corn stover (DCS), and rice straw (RS) in the experiment

Ingredients	Corn stover silage (CCS)	Corn stover (CS)	Rice straw (RS)
Dry matter (DM)	95.41	95.36	87.8
	---------- kg of dry matter----------		
Crude protein (CP)	3.21	2.24	3.1
Neutral detergent fiber (NDF)	72.69	75.81	60.1
Acid detergent fiber (ADF)	49.96	51.20	36.9
Ether extract (EE)	0.66	0.71	1.2
Ash	1.31	1.39	14.4

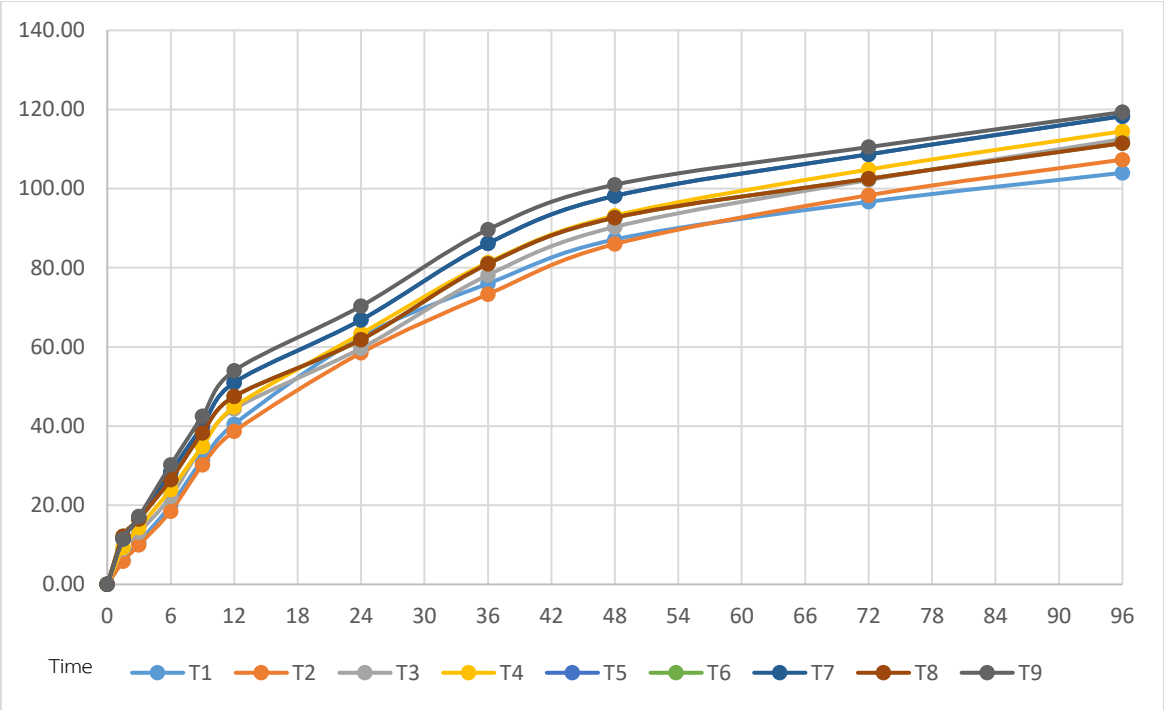
ผลของต้นข้าวโพดแห้งหมักด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus casei* TH14 ต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊สแสดงใน **Table 3** และ **Figure 1** พบว่าการใช้ต้นข้าวโพดแห้งหมักทดแทนฟางข้าวทุกระดับส่งผลต่อกระทบต่อค่า a (ส่วนที่ละลายได้ทันที) ค่า b (ส่วนที่ไม่ละลาย) และค่า c (อัตราการผลิตแก๊ส) ($P>0.05$) จะเห็นได้ว่าค่าจลนศาสตร์การผลิตแก๊สในตาราง

ทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P>0.001) จะมีค่าแก๊สสะสมที่ 96 ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาของ Huyen et al. (2023) ได้ศึกษาการผลิตแก๊สและมีเทนในหลอดทดลองจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ทั่วไปในเวียดนามและไทย พบว่าต้นข้าวโพดแห้งหมักมีการผลิตแก๊สและมีเทนในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับวัสดุอาหารสัตว์อื่นๆ โดยมีการผลิตแก๊สประมาณ 116.12 ± 1.44 mL/500 mg DM และการผลิตมีเทนประมาณ 25.4 ± 0.8 mL/500 mg DM และการศึกษาของนริศราและคณะ (2563) ที่ศึกษาผลของการเสริม *L. plantarum* BCC 65951 ต่อคุณภาพการหมักของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมักโดยวิธีวัดแก๊สในห้องปฏิบัติการและการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน พบว่าทุกกลุ่มมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่การใช้ *L. plantarum* BCC 65951 ในหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ทำให้หญ้าหมักมีกรดแลกติก กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูง สอดคล้องกับการศึกษาของ Khota et al. (2017) ที่ศึกษาคุณภาพการหมักและการผลิตก๊าซมีเทนในหลอดทดลองของข้าวฟ่างหมัก ที่หมักด้วยเซลลูเลสและ *L. casei* TH14 พบว่าข้าวฟ่างที่หมักด้วยเซลลูเลสและ *L. casei* TH14 สามารถคงสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของข้าวฟ่างหมักยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโคลิฟอร์มและเชื้อราได้ดี อีกทั้งกลุ่มที่หมักด้วย *L. casei* TH14 ช่วยลดการสูญเสียน้ำของวัตถุแห้งและมีโปรตีนหยาบสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 3 Effect of dried corn stover fermented with fibrolytic enzymes and *Lactobacillus casei* TH14 on *in vitro* gas production kinetics

Items			Gas Kinetics[1]				
			a	b	c	a+b	[2]Gas(96h) mL/0.5g of substrate
CS	T1	(60)	0.50c	104.71b	0.0371a	105.21c	104.00c
RS	T2	(60)	1.51c	110.06a	0.0307c	111.57b	107.33c
CSS: RS	T3	(0:60)	5.46^{b}	111.31^{a}	0.0301^{c}	116.66^{ab}	112.50^{b}
CSS: RS	T4	(10:50)	5.21^{b}	112.86^{a}	0.0317^{bc}	118.07^{a}	114.50^{b}
CSS: RS	T5	(20:40)	7.73^{a}	112.56^{a}	0.0340^{b}	120.29^{a}	118.33^{a}
CSS: RS	T6	(30:30)	8.47^{a}	105.94^{b}	0.0325^{bc}	114.41^{ab}	111.50^{b}
CSS: RS	T7	(40:20)	7.21^{a}	112.40^{a}	0.0379^{a}	119.61^{a}	119.33^{a}
CSS: RS	T8	(50:10)	8.38^{a}	104.95^{b}	0.0365^{a}	113.33^{ab}	112.67^{b}
CSS: RS	T9	(60:0)	7.04^{a}	99.90^{c}	0.0335^{b}	106.94^{c}	104.33^{c}
SEM[3]			0.5608	0.6657	0.0005	1.0281	1.0634
P-value			0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Total mixed ration, (TMR) T1= Corn stover, (CS) T2= Rice Straw, (RS) T3-T9= Corn stover silage, (CSS) Rice Straw, (RS) at 0, 10, 20, 30, 40, 50, and 60% [1]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). SEM[3]=standard error of the means.



Total mixed ration, (TMR) T1= Corn stover, (CS) T2= Rice Straw, (RS) T3-T9= Corn stover silage, (CSS) Rice Straw, (RS) at 0, 10, 20, 30, 40, 50, and 60%

Figure 1 Effect of dried corn stover fermented with fibrolytic enzymes and *Lactobacillus casei* TH14 on cumulative gas production

Table 4 Effects of dried corn stover fermented with fibrolytic enzymes and *Lactobacillus casei* TH14 on *in vitro* dry matter degradability

Items		IVDMD[1], %	
		12h of incubation	24h of incubation
CS	T1 (60)	43.11^{bc}	54.07^{c}
RS	T2 (60)	41.25^{c}	59.08^{b}
CSS: RS	T3 (0:60)	44.08^{ab}	55.90^{c}
CSS: RS	T4 (10:50)	43.75^{b}	54.81^{c}
CSS: RS	T5 (20:40)	42.16^{c}	65.63^{a}
CSS: RS	T6 (30:30)	43.47^{b}	64.39^{ab}
CSS: RS	T7 (40:20)	43.98^{b}	65.09^{a}
CSS: RS	T8 (50:10)	45.43^{a}	63.60^{ab}
CSS: RS	T9 (60:0)	47.53^{a}	65.51^{a}
SEM[2]		0.350	0.944
P-value		0.001	0.001

Total mixed ration, (TMR) T1= Corn stover, (CS) T2= Rice Straw, (RS) T3-T9= Corn stover silage, (CSS) Rice Straw, (RS) at 0, 10, 20, 30, 40, 50, and 60% IVDMD[1]= in vitro dry matter digestibility. SEM[2]= standard error of mean.

ค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (In vitro dry matter digestibility, IVDMD) และอินทรียวัตถุ (In vitro organic matter digestibility, IVOMD) ของสูตรอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร ในชั่วโมงการบ่มที่ 12 และ 24 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P>0.001) **Table 4** พบว่าชั่วโมงที่12 มีค่า IVDMD อยู่ในช่วง 41.25–47.53% โดยค่าที่สูงที่สุดคือ T9 = 47.53% แต่ในชั่วโมงที่ 24 ค่า IVDMD อยู่ในช่วง 54.07–65.63% โดยค่าที่สูงที่สุดคือ T5 (20%) เนื่องมาจากต้นข้าวโพดแห้ง มีปริมาณเยื่อใยที่สูงซึ่งยากต่อการเข้าย่อยของจุลินทรีย์และเอนไซม์ ทำให้อัตราการย่อยสลายต่ำ

ค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (In vitro organic matter digestibility, IVOMD) ของสูตรอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร ในชั่วโมงการบ่มที่ 12 และ 24 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.001) **Table 5** พบว่าในชั่วโมงที่ 12 มีค่า IVOMD อยู่ในช่วง 40.30–48.61% โดย T8 (50%) = 48.61% มีค่าสูงที่สุด และในช่วงโมงที่24 ค่า IVOMD อยู่ในช่วง 45.36–66.70% โดย T8 (50%) และ T9 (60%) มีค่าการย่อยสูงสุด (66.45% และ 66.70% ตามลำดับ)

Table 5 Effects of dried corn stover fermented with fibrolytic enzymes and *Lactobacillus casei* TH14 on *in vitro* organic matter degradability

Items		IVOMD[1], %	
		12h of incubation	24h of incubation
CS	T1 (60)	40.30^{c}	45.36^{c}
RS	T2 (60)	40.65^{c}	45.67^{c}
CSS: RS	T3 (0:60)	42.79^{bc}	59.77^{b}
CSS: RS	T4 (10:50)	41.96^{c}	60.09^{ab}
CSS: RS	T5 (20:40)	44.40^{b}	54.38^{bc}
CSS: RS	T6 (30:30)	44.42^{b}	58.82^{b}
CSS: RS	T7 (40:20)	47.11^{ab}	60.93^{ab}
CSS: RS	T8 (50:10)	48.61^{a}	66.45^{a}
CSS: RS	T9 (60:0)	45.83^{b}	66.70^{a}
SEM[2]		0.549	1.502
P-value		0.001	0.001

Total mixed ration, (TMR) T1= Corn stover, (CS) T2= Rice Straw, (RS) T3-T9= Corn stover silage, (CSS) Rice Straw, (RS) at 0, 10, 20, 30, 40, 50, and 60% IVOMD[1]= in vitro organic matter digestibility. SEM[2] = standard error of mean.

การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (In vitro dry matter digestibility, IVDMD) และอินทรียวัตถุ (In vitro organic matter digestibility, IVOMD) ของสูตรอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร ในชั่วโมงการบ่มที่ 12 และ 24 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P>0.001) สอดคล้องกับการศึกษาของ Gao et al. (2019) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยได้ในหลอดทดลองของหญ้าหมักข้าวโพดระหว่างการเก็บเกี่ยวในแปลง และลักษณะการหมักของหญ้าหมักที่เตรียมด้วยสารเติมแต่งจุลินทรีย์ พบว่าค่า IVDMD และ IVOMD มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ของหญ้าหมักที่หมักด้วยเซลลูเลสและแบคทีเรียกรดแลคติก เมื่อเทียบกับหญ้าหมักที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก และหญ้าหมักกลุ่มควบคุม เอนไซม์ของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกมีผลต่อผนังเซลล์ของพืชรวมถึงการใช้

ประโยชน์ได้ของสารประกอบที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อการพัฒนาความสามารถในการย่อยได้ของพืชหมัก (Chang et al., 2021)

สรุปและข้อเสนอแนะ

การใช้ต้นข้าวโพดแห้งหมักด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยและจุลินทรีย์ *Lactobacillus casei* TH14 สามารถใช้ทดแทนการใช้ฟางข้าวได้ที่ระดับ 20% มีค่าการย่อยได้ดีที่สุดเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุในหลอดทดลองและมีศักยภาพในการใช้ทดแทนอาหารหยาบของสัตว์เคี้ยวเอื้อง อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาการวิจัยการใช้ประโยชน์ได้ในตัวสัตว์เพิ่มเติม

การอนุญาตวิจัยในสัตว์

การทดลองนี้ได้รับอนุญาตใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ตามเอกสารอนุญาตเลขที่ MACUC 018A/2568

คำขอบคุณ

การศึกษาและทดลองในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะวิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยแม่โจ้ รวมไปถึงเจ้าที่หน้าห้องปฏิบัติการที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2568. ข้อมูลจำนวนสัตว์ในประเทศไทยประจำปี พ.ศ. 2568. แหล่งข้อมูล: https://certify.dld.go.th/index.php?option= com_content&view=article&id=810:livestock-number-book-2565&catid=247&Itemid=540&lang=th. ค้นเมื่อ 27 ตุลาคม 2568.

จุลพงศ์ จำเริญลาภ. 2559. ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณการกินได้ และปริมาณการย่อยได้ของอาหารผสมสำเร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ. แหล่งข้อมูล: http://www.agri.ubu.ac.th/mis/seminar/upload/52.pdf. ค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2566.

ฉลอง วชิราภากร. 2541. โภชนะศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. ภากวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เทอดชัย เวียร์ศิลป์. 2548. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. พิมพ์ครั้งที่ 5. เชียงใหม่:ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นริสรา คงสุข, ศิวัช สังข์ศรีวงษ์, เวทชัย เปล่งวิทยา, กิตติมา กองทอง และเสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ. 2563. ผลของการเสริม *L. plantarum* BCC 65951 ต่อคุณภาพการหมักของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมักโดยวิธีวัดแก๊สในห้องปฏิบัติการและการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน. แก่นเกษตร. 52: 145-153.

นิราวรรณ กุนัน. 2557. อาหารและการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. สาขาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

นัทธ์ชนัน บุญคง, ชัญญา ปลื้มใจ, พงศ์ธร คงมั่น, ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์, พนัดดา บึงศรีสวัสดิ์, เสวก เกียรติสมภพ และก.ทีปลักษณ์ ระงับเหตุ. 2567. การปรับปรุงคุณภาพทางโภชนะและการย่อยได้ของข้าวโพดสุวรรณหมักร่วมกับจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค *in vitro*. Recent Science and Technology. 17: 261001.

พิมเพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2010. Lactobacillus / แล็คโทบาซิลลัส. แหล่งข้อมูล: https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1271/ lactobacillus. ค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2566.

มูลนิธิเกษตรรักษ์สิ่งแวดล้อม. 2559. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สถานการณ์/การเผาและแนวทางจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. แหล่งข้อมูล: http://www.aecth .org/upload/13823/Q8ru0PsGgR.pdf. ค้นเมื่อ 25 มกราคม 2566.

ศุภคม คล้ายโตนด, เยาวลักษณ์ แหม่งปัง, ชัยณรงค์ วงศ์สรรศรี, โชค โสรัจกุล, รวิสรา รื่นไวย และขรรค์ชัย ดั้นเมฆ. 2565. การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะต้นข้าวโพดแห้งหมักด้วยเชื้อรา *Trichoderma viride* UP15 แบบเหลวที่ผลิตเอนไซม์ย่อยเยื่อใยพืชร่วมกับจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก. แก่นเกษตร. 50: 1162-1173.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2568. เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่แยกตามรุ่นรายจังหวัด. แหล่งข้อมูล: https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/maize%20province%2064.pd. ค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2568.

อัญชลี พฤทธิพงศ์กุล, กมลทิพย์ บุญรัตน์, ณัฐภัทธ์ จันทร์แสง และพิมผกา เคลือมณี. 2565. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนพัฒนาการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครสวรรค์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Adesogan, A. T., Z. X. Ma, J. J. Romero, and K. G. Arriola. 2014. Ruminant Nutrition Symposium: Improving cell wall digestion and animal performance with fibrolytic enzymes. Journal of Animal Science. 92: 1317-1330.

AOAC. 2019. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 15th Edition. AOAC., Washington, D.C.

Beauchemin, K. A., L. M. Rode, M. Maekawa, D. P. Morgavi, and R. Kampen. 2000. Evaluation of a nonstarch polysaccharidase feed enzyme in dairy cow diets. Journal of Dairy Science. 83: 543-553.

Chang, M., F. Ma, J. Wei, J. Liu, X. Nan, and P. Sun. 2021. Live Bacillus subtilis natto promotes rumen fermentation by modulating rumen microbiota in vitro. Animals (Basel). 11: 1519.

Cherdthong, A., C. Suntara, W. Khota, and M. Wanapat. 2021. Feed utilization and rumen fermentation characteristics of Thai-indigenous beef cattle fed ensiled rice straw with *Lactobacillus casei* TH14, molasses, and cellulase enzymes. Livestock Science. 245: 104405.

Devendra, C., and R. Leng. 2011. Feed resources for animals in Asia: issues, strategies for use, intensification and integration for increased productivity. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 24: 303-321.

Foiklang, S., M. Wanapat, and T. Norrapoke. 2016. Effect of grape pomace powder, mangosteen peel powder and monensin on nutrient digestibility, rumen fermentation, nitrogen balance and microbial protein synthesis in dairy steers. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 29: 1416.

Foiklang, S., M. Wanapat, Y. Opatpatanakit, and A. Paserakung. 2016. Effect of yeast fermented and physical forms of corn husk on digestibility and fermentation by using in vitro gas techniques. The 17th Asian-Australasian Association of Animal Production Societies Animal Science Congress.

Gao, S., G. Tang, D. Hua, R. Xiong, J. Han, S. Jiang, and C. Huang. 2019. Stimuli-responsive bio-based polymeric systems and their applications. Journal of Materials Chemistry B. 7: 709-729.

Kung, J. r., L., C. C. Taylor, M. P. Lynch, and J. M. Neylon. 2003. The effect of treating alfalfa with Lactobacillus buchneri 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 86: 336-343.

Khota, W., S. Pholsen, D. Higgs, and Y. Cai. 2016. Natural lactic acid bacteria population of tropical grasses and their fermentation factor analysis of silage prepared with cellulase and inoculant. Journal of Dairy Science. 99: 9768–9781.

Khota, W., S. Pholsen, D. Higgs, and Y. Cai. 2017. Fermentation quality and in vitro methane production of sorghum silage prepared with cellulase and lactic acid bacteria. Asian Journal of Applied Sciences. 30: 1568-1574.

López, S., and C. J. Newbold. 2007. Analysis of methane. In Measuring methane production from ruminants (pp. 1-13): Springer.

Makkar, H. P. S., M. Blümmel, and K. Becker. 1995. Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in in vitro techniques. British Journal of Nutrition. 73: 897-913.

Moss., J., P. Jouany, and J. Newbold. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. EDP Sciences.

McAllister, S. J. Oosting, J. D. Popp, Z. Mir, L. J.Yanke, A. N. Hristov, R. J.Treacher, and K.-J. Cheng. 1999. Effect of exogenous enzymes on digestibility of barley silage and growth performance of feedlot cattle. Canadian Journal of Animal Science. 79: 353–360.

Nishino, N., H. Hattori, H. Wada, and E. Touno. 2007. Biogenic amine production in grass, maize and total mixed ration silages inoculated with *Lactobacillus casei* or *Lactobacillus buchneri*. Journal of Applied Microbiology. 103: 325–332.

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

Pholsen, S., W. Khota, H. Pang, D. Higgs, and Y. Cai. 2016. Characterization and application of lactic acid bacteria for tropical silage preparation. Animal Science Journal. 87: 1202–1211.

SAS. 1998. SAS/STAT Guide for Personal computers, Version 6, Cary, NC:SAS Inc.

Song, M. K. 2000. Fatty acid metabolism by rumen microorganisms. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 13: 137-148.

Tilley, J. M. A., and D. R. Terry. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Grass and Forage Science. 18: 104-111.

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

Wanapat, M., K. Phesatcha, B. Viennasay, B. Phesatcha, T. Ampapon, and S. Kang. 2018. Strategic supplementation of cassava top silage to enhance rumen fermentation and milk production in lactating dairy cows in the tropics. Tropical Animal Health and Production. 50: 1539-1546.