

ผลของการใช้เปลือกแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊ส และการย่อยสลายได้ในหลอดทดลอง

Effects of yeast fermented cassava peel replacing rice bran on *In vitro* gas production kinetics and degradability

ดวงจัน สมบัติเทพาลี¹, ณัฐพงศ์ คงสว่าง¹, ชุติกายุจนี ศรีทองแดง¹, ขาวพอน สะพังทอง¹, อนุสรณ์ เชิดทอง², ณรkamol เล่าห์รอดพันธ์³ และ สุบรรณ ฝอยกลาง^{1*}

Duangchane Sombathebphaly¹, Nattapong Kongsawang¹, Chutikan Sonthongdaeng¹, Khaophone Saphangthong¹, Anusorn Cherdthong², Norakamol Laorodphan³ and Suban Foiklang^{1*}

¹ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹ Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University Chiang Mai 50290

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรอาหารสัตว์เขตร้อน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² Topical Feed Resources Research and Development Center, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University

³ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร หลักสูตรสาขาวิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

³ Faculty of Food and Agriculture Technology, Animal Science, Pibulsongkram Rajabhat University

บทคัดย่อ: เปลือกแป้งมันสำปะหลังเป็นเศษเหลือจากกระบวนการปอกเปลือกมันสำปะหลังก่อนที่จะนำไปสกัดแป้งในโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่มีปริมาณมาก เป็นการนำเศษเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์และลดต้นทุนการผลิตสัตว์โดยการหมักด้วยยีสต์ เพื่อเพิ่มคุณค่าโปรตีนของเปลือกแป้งมันสำปะหลัง การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เปลือกแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊สและความสามารถในการย่อยสลายได้ในหลอดทดลอง ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 3 ซ้ำ ได้แก่ สัดส่วนรำข้าวต่อเปลือกแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ (Yeast fermented cassava peel, YFCP: Rice bran, RB) คือ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 ตามลำดับ ผลการทดลองการใช้เปลือกแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ทดแทนรำข้าว พบว่าค่า a (ส่วนที่ละลายได้ทันที) ค่า b (ส่วนที่ไม่ละลาย) ค่า c (อัตราการผลิตแก๊ส) และค่า (a+b) (ศักยภาพการผลิตแก๊ส) ของทุกกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) การย่อยสลายของวัตถุดิบและการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในหลอดทดลองในชั่วโมงที่ 12 และ 24 หลังการบ่ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สามารถใช้เปลือกแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวได้ถึง 30% ในสูตรอาหาร แสดงให้เห็นว่าเปลือกแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์มีศักยภาพเพียงพอสำหรับการใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้

คำสำคัญ: เปลือกมันสำปะหลังหมักยีสต์; การย่อยสลายได้ในหลอดทดลอง; จลนศาสตร์การผลิตแก๊ส

ABSTRACT: The cassava peels from the cassava peeling process are washed before being utilized in large-scale cassava starch production to extract starch. Because washed cassava peels are high in carbohydrates and protein, it's a good method to use leftovers and lower the cost of animal production through fermentation. The aim of this investigation was to examine the impact of utilizing yeast fermented cassava peels in lieu of rice bran on *in vitro* gas production kinetics and digestibility. Four experimental groups were created inside the trial group in a completely

* Corresponding author: bungung@hotmail.com

Received: date; May 1, 2024 Revised: date; July 24, 2024

Accepted: date; July 24, 2024 Published: date;

randomized design (CRD). Washing yeast fermented cassava peels instead of rice bran at ratios of 100:0, 90:10, 80:20, and 70:30 percent were the three repetitions for each experimental group. Results revealed that the values of washed yeast fermented cassava peel rather than rice bran were discovered to be a (immediately soluble component), b (insoluble part), c (gas production rate), and (a + b) (potential extent of gas production) were not significantly different among all the experimental sets ($p > 0.05$). There was no statistically significant difference ($p > 0.05$) in *in vitro* dry matter and organic matter degradability at 12 and 24 hours after incubation. There was no discernible difference in any level when rice bran was substituted with yeast fermented cassava peels. It seems that yeast fermented cassava peels may be a viable substitute for rice bran. Nonetheless, research on the level of dairy and beef cattle's utilization of yeast fermented cassava peels is necessary, as is an economic return study.

Keywords: Yeast fermented cassava peels; *in vitro* degradability; gas production kinetics

บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตโคในปัจจุบันได้รับผลกระทบเนื่องจากวัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาแพงขึ้น โดยเฉพาะวัตถุดิบแหล่งโปรตีน เช่น รำข้าว กากถั่วเหลือง เป็นต้น ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตรเช่น เปลือกมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง และเปลือกข้าวโพดที่เป็นแหล่งอาหารหยาบ อาหารสัตว์ที่ผลิตจากกระบวนการทางเคมีและทางกล ได้แก่ (1) อาหารสัตว์ผสมตามสูตร (เช่น อาหารสัตว์ที่ผสมจากวัตถุดิบและสารปรุงแต่งต่างๆ ที่เป็นผง เม็ด หรือเกล็ด) (2) อาหารสัตว์สดและแห้ง (ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ หญ้าแห้ง และหญ้าหมัก) หรือ ส่วนผสมวัตถุดิบพิเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร และอาหารให้พลังงานที่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ แต่การมีอยู่ของปัจจัยต่อต้านโภชนาการเช่น ไฮโดรเจนไซยาไนด์ มีส่วนในข้อจำกัดด้านความพร้อมของสารอาหารและการย่อยได้ภายในอาหารอาหารสัตว์และของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร (Yafetto et al., 2024) รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว โดยปกติแล้วในกระบวนการสีข้าวที่เป็นแบบหัวเดียว ใช้การขัดสี 2 ครั้ง ได้ผลพลอยได้เรียกว่า รำละเอียด (rice bran) นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยใช้เป็นแหล่งพลังงานรวมถึงอาหารโคด้วย ในประเทศไทยนิยมใช้รำละเอียดในรูปไม่ผ่านการสกัดน้ำมัน มีผลการศึกษาของ นันทนา และคณะ (2553) พบว่า รำละเอียดมีองค์ประกอบเคมี คือ วัตถุแห้ง 88.29% อินทรีย์วัตถุ 90.87% โปรตีน 14.32% ไขมัน 17.50% เยื่อใย NDF 18.68 เยื่อใย ADF 8.82 และ เถ้า 9.14% รำละเอียดมีไขมันค่อนข้างสูง และจากผลการศึกษาของ บุญพริกา และคณะ (2562) พบว่า รำข้าวขามีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมในการนำมาประกอบในสูตรอาหารชั้น เมื่อเพิ่มปริมาณรำข้าวขาวเสริมในสูตรอาหารชั้น (10, 20 และ 30% ตามลำดับ) จะทำให้ปริมาณไขมันและเยื่อใยเพิ่มขึ้นตามปริมาณรำข้าวขาว ส่งผลให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง และยังทำให้ส่วนที่ละลายน้ำได้ของอาหารเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของโค อาหารชั้นที่เสริมรำข้าวขาวในระดับที่ 10% จึงเหมาะสมที่สุด ในปัจจุบัน รำข้าวมีราคาเพิ่มสูงขึ้นมาก ทำให้เกษตรกรจำเป็นต้องหาแหล่งวัตถุดิบอื่นมาใช้ทดแทนเพื่อช่วยลดต้นทุนการเลี้ยงสัตว์ และมีศักยภาพที่ใกล้เคียงรำข้าวด้วย มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta*) เป็นพืชที่นิยมปลูกมากเป็นอันดับ 6 ของโลก แถบละตินอเมริกา แอฟริกา และเอเชียใต้ (Zhang et al., 2024) การผลิตและการบริโภคมันสำปะหลังในรูปแบบสดหรือแปรรูปได้เพิ่มขึ้นทั่วโลก โดยไนจีเรียเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังรายใหญ่ของโลก รองลงมาคือ คองโก และไทย โดยประเทศไทยมีการผลิตมันสำปะหลังและพื้นที่เพาะปลูกสำคัญ ปี 2567 มีเนื้อที่เพาะปลูก 9,392 พันไร่ มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 8,682 พันไร่ ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด 26,877 พันตัน ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 3,096 ตัน ปลูกมากที่สุดคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลาง สำหรับการผลิตในภาคเหนือ มีพื้นที่เพาะปลูก 2,414,861 ไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 2,247,401 ไร่ ผลผลิต 6,776,587 ตัน (ฉันทานนท์, 2566) อย่างไรก็ตามการบริโภคที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีเปลือกมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี ที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยมันสำปะหลังสดจะถูกส่งเข้าโรงงานผ่านการชั่งและวัดปริมาณแป้ง หลังจากนั้นจะถูกส่งเข้าเครื่องร่อนเพื่อแยกดินและทรายออก และจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องปอกเปลือกและเครื่องล้างหัวมันสำปะหลัง เศษเปลือกมันสำปะหลังจะได้ประมาณ 0.03 ตันต่อหัวมันปะหลังสด 1 ตัน (ทรงศักดิ์ และคณะ, 2560) และยังมีกรรายงานของ Leite et al. (2017) รายงานว่า ในกระบวนการปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังพบว่า ยังคงมีแป้งอยู่เป็นจำนวนมาก ได้ส่วนที่เป็นเศษและขานมีประมาณ 11 และ 12% ของสิ่งแห้ง ตามลำดับ ซึ่งหากไม่กำจัดหรือนำกลับมาใช้อย่างเหมาะสมจะทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม (Odeyemi, 2023) โดยในบางพื้นที่เปลือกมันสำปะหลังถูกรวบรวมและเก็บไว้ขายให้เกษตรกรที่จะนำไปเพาะเห็ดและยังนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ด้วย ในเปลือกมันสำปะหลังประกอบด้วยแป้งประมาณ 45% ลิกนิน 11% เซลลูโลส 14%, เฮมิเซลลูโลส 27%, โปรตีน 3.5% และ เยื่อใย 10% ของน้ำหนักสด และมีสารตกค้างที่มีชื่อว่า ลิกโน

เซลลูโลส แต่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มขึ้นได้ด้วยผลิตภัณฑ์ชีวภาพ เช่น น้ำตาล ปุ๋ย เชื้อเพลิงชีวภาพ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Rogoski et al., 2023) นอกจากนี้ยังมีความชื้นอยู่ประมาณ 75% แต่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน เมื่อนำมาคำนวณเป็นสูตรอาหารผสมเสร็จโดยใช้ร่วมกับวัตถุดิบอาหารชนิดอื่นที่เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานรวมทั้งวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงหรือแหล่งอาหารหยาบ จะทำให้สูตรอาหารเป็นสูตรอาหารผสมเสร็จในรูปแบบหมักที่มีความชื้นประมาณ 50% การทำอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักเป็นวิธีที่ง่าย สามารถเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาได้นาน (Wongnen et al., 2009) จากผลการศึกษาของ ศุภลักษณ์ และคณะ (2562) รายงานว่า เปลือกถั่วลิสงสำหรับสัตว์สามารถใช้ในการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักได้ที่ระดับ 15-30% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ และกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก เมื่อนำเปลือกถั่วลิสงสำหรับสัตว์มาใช้ในการผลิตอาหารหมักสำหรับเลี้ยงโคนม ช่วยลดปัญหาปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบ พร้อมกันนั้นยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาน้ำนมดิบไว้ได้นานขึ้น และยังเป็น การนำผลพลอยได้จาก การเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเลี้ยงสัตว์ (เมฆ, 2552) นอกจากนี้ ยังมีการใช้จุลินทรีย์ที่ช่วยในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของเปลือกถั่วลิสง เช่น การใช้ยีสต์ ส่วนใหญ่ยีสต์จะขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศด้วยการแตกหน่อ แต่ยีสต์บางสายพันธุ์ขยายพันธุ์ด้วยการสร้างสปอร์ ยีสต์สายพันธุ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) เป็นยีสต์ที่ใช้ในการผลิตอาหาร (Moncel, 2010) สอดคล้องกับการศึกษาของ ญานุรัตน์ (2021) ว่า ยีสต์มีเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์แบบแตกหน่อเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ มีความสามารถในการทนต่อความชื้นในกระเพาะอาหาร เกลือน้ำดีและมีความสามารถในการยึดเกาะกับผนังของลำไส้ การให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* สามารถปรับปรุงการผลิตน้ำนมได้ (Halfen et al., 2021) จากผลการศึกษาของ Gunun et al. (2023) ที่ได้ทำการศึกษาการใช้เปลือกถั่วลิสงหมักด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* เพื่อทดแทนอาหารชั้น พบว่า ปริมาณโปรตีนหยาบของเปลือกถั่วลิสงหมักจาก 2.1% เป็น 13.7-13.8% หลังจากการหมัก 14 วัน เปลือกถั่วลิสงหมักยีสต์สามารถทดแทนอาหารชั้นได้มากถึง 50% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินอาหาร การย่อยได้ของอาหาร ลักษณะการหมักในกระเพาะรูเมน และการเจริญเติบโต เนื่องจาก *S. cerevisiae* มีความสามารถในการหมักที่ดี มีทนทานต่อเอทานอลสูง สามารถเจริญเติบโตได้ใน pH ที่หลากหลาย (Bitew et al., 2024) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของการใช้เปลือกถั่วลิสงหมักยีสต์ เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนรำข้าวในสูตรอาหารชั้น ในระดับที่เหมาะสมต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊สและความสามารถในการย่อยสลายได้ในหลอดทดลอง

วิธีการศึกษา

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยใช้เปลือกถั่วลิสงหมักด้วยยีสต์ขนมปัง (*S. cerevisiae*) ในสูตรอาหารทดลอง จำนวน 4 กลุ่มการทดลอง แต่ละกลุ่มการทดลองมี 3 ซ้ำ โดยประกอบด้วยการใช้เปลือกถั่วลิสงหมักยีสต์ (YFCP) ทดแทนรำข้าว (RB) ในสูตรอาหารชั้นมีวัตถุดิบประกอบด้วย มันเส้น รำละเอียด กากถั่วเหลือง เปลือกถั่วลิสงหมักยีสต์ ยูเรีย แร่ธาตุผสม กากน้ำตาล กัมมะถัน และเกลือ (Tabel 1) กลุ่มการทดลองมีดังนี้

- T1 = สูตรอาหารที่มีสัดส่วนรำ: เปลือกถั่วลิสงหมักยีสต์ (RB: YFCP) เท่ากับ 100:0
- T2 = สูตรอาหารที่มีสัดส่วนรำ: เปลือกถั่วลิสงหมักยีสต์ (RB: YFCP) เท่ากับ 90:10
- T3 = สูตรอาหารที่มีสัดส่วนรำ: เปลือกถั่วลิสงหมักยีสต์ (RB: YFCP) เท่ากับ 80:20
- T4 = สูตรอาหารที่มีสัดส่วนรำ: เปลือกถั่วลิสงหมักยีสต์ (RB: YFCP) เท่ากับ 70:30

ทำการศึกษาในระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ปี 2566 ณ ห้องปฏิบัติการด้านโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การเตรียมอาหารทดลอง

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การเตรียมเปลือกถั่วลิสงหมัก และการเตรียมสารละลายในการหมัก ในส่วนของการเตรียมเปลือกถั่วลิสง นำเปลือกถั่วลิสงที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในพื้นที่ภาคเหนือ มาทำการคัดแยกสิ่งเจือปนออกให้หมด แล้ว

ทำการสับด้วยมีดให้มีขนาด 1-2 ซม. เพื่อเป็นวัตถุดิบในการหมัก และการเตรียมสารละลายในการหมัก ซึ่งประกอบด้วยยีสต์ น้ำกากน้ำตาล น้ำตาลทราย และยูเรีย ในสัดส่วนที่กำหนด ตามวิธีการของ ศรีัญญา และคณะ (2562) ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังนี้

1.เตรียมสารละลาย A ด้วยยีสต์ขนมปัง (*S. cerevisiae*) ในปริมาณ 20 g น้ำตาลทราย 20 g และน้ำกลั่น ปริมาตร 100 ml ทำการละลายส่วนผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2. เตรียมสารละลาย B (อาหารเลี้ยงเชื้อยีสต์แบบเหลว) ด้วยกากน้ำตาลปริมาณ 80 กรัม ยูเรีย 10 กรัม และน้ำกลั่นปริมาตร 100 ml

3. ทำการผสมสารละลาย A และสารละลาย B เข้าด้วยกันในอัตรา 1:1 บรรจุในถัง และทำการเติมอากาศในถังผสมโดยใช้ปั๊มตลอดเวลา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนได้สารละลายยีสต์

4. นำเปลือกมันสำปะหลังมาทำการหมักในสัดส่วนเปลือกมันสำปะหลังต่อสารละลายยีสต์ (1:0.4) โดยการหมักแบบแห้ง คือนำมาผึ่งในที่ร่ม 1-2 วัน ตามด้วยตากแดด 2-3 วัน เอาเปลือกมันสำปะหลังพร้อมส่วนผสมใส่ลงในถุงพลาสติก หมักเป็นเวลา 4 วัน

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

การศึกษาแบบ *in vitro* gas production technique ตามแบบวิธีของ Menke et al. (1979)

ทำการตวงน้ำกลั่นที่ใช้ในการเตรียมสารละลายในปริมาณ 1,095 ml แล้วทำการเตรียมสารละลายต่าง ๆ ดังนี้

1/ สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer solution) 730 ml เตรียมจากโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) 35.0 g และแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) 4.0 g ทำละลายและปรับปริมาตรเป็น 1 l ด้วยน้ำกลั่น

2/ สารละลายแร่ธาตุอาหารหลัก (Macro mineral solution) 365 ml. เตรียมจากโพตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 6.2 g ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 5.7 g โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 2.22 g และแมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.6 g ทำละลายและปรับปริมาตรเป็น 1 l ด้วยน้ำกลั่น

3/ สารละลายแร่ธาตุอาหารรอง (Micro mineral solution) 0.23 ml เตรียมจากแมงกานีสไดคลอไรด์ ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 10.0 g แคลเซียมไดคลอไรด์ ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 13.2 g โคบอลต์ไดคลอไรด์ ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 1.0 g และเฟอร์รัสไตรคลอไรด์ ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 8.0 g ทำละลายและปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น

4/ สารละลายริซาซูริน (Resazurin solution) 1.0 ml เตรียมจากริซาซูริน (Resazurin solution) 1.0 g ทำละลายและปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น เพื่อเป็นจุดสังเกตสภาวะไร้ออกซิเจนจากการเปลี่ยนแปลงสีของริซาซูรินในสารละลาย

5/ สารละลายที่ใช้ในการไล่ออกซิเจน (Reduction solution) 60.0 ml ทำการเตรียมใหม่ ๆ ก่อนการใช้เตรียมจากไดโซเดียมซัลไฟด์ ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 580.0 mg และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 M 60.0 ml

การเตรียมของเหลวจากกระเพาะหมักผสม (Rumen mixed inoculum)

1.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุอาหาร นำสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุอาหารที่ทำการเตรียมไว้ล่วงหน้า ผสมและบรรจุลงในขวดรูปชมพู่ที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านสารละลาย เพื่อไล่ออกซิเจนตลอดเวลา (ทำการเติมสารละลายที่ใช้ในการไล่ออกซิเจนประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนการเติมของเหลวจากกระเพาะหมัก สังเกตสภาวะไร้ออกซิเจนจากการเปลี่ยนแปลงสีของริซาซูรินในสารละลายจากสีฟ้าเป็นสีชมพูอ่อน) พร้อมทั้งการทำให้อุ่นรักษาอุณหภูมิที่ 39 องศาเซลเซียส บนเครื่องกวนสารให้ความร้อน ด้วยเครื่อง hotplate magnetic stirrer ในระหว่างรอการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักจากตัวสัตว์มาผสมในขั้นตอนต่อไป

1.2 การเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักจากตัวสัตว์ (Rumen fluid) ทำการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักโดยการสอดสายยางผ่านปากและดูดด้วยเครื่องดูดสุญญากาศให้ได้ประมาณ 1 l ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วทำการถ่ายเทของเหลวที่ได้ลงในกระติกน้ำร้อนที่ได้บรรจุน้ำร้อนไว้ล่วงหน้า (ทำการผสมน้ำร้อนกับน้ำอุณหภูมิปกติเพื่อรักษาอุณหภูมิที่ 39 องศาเซลเซียส) หลังจากนั้นนำของเหลวที่ได้ไปยังห้องปฏิบัติการทันที

1.3 การเตรียมของเหลวจากกระเพาะหมักจากตัวสัตว์ นำของเหลวจากกระเพาะหมักจากตัวสัตว์ มาทำการกรองผ่านผ้าขาวบางลงในกระบอกตวงขนาด 1,000 ml ที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านสารละลายเพื่อไล่ออกซิเจนตลอดเวลา หลังจากนั้นทำการตวง

ปริมาตรที่ต้องใช้ 660 ml ทำการถ่ายเทและผสมลงในขวดรูปชมพู่ที่มีการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์และแร่ธาตุอาหารไว้ล่วงหน้าแล้วในข้อ 1.1

การเตรียมอาหารทดลอง โดยนำวัตถุดิบอาหารชั้นมาผสมตามสูตร ทำการชั่งน้ำหนักอาหารชั้นในปริมาณ 0.2 g และฟางข้าวบดเป็นอาหารทดลองพื้นฐานในปริมาณ 0.3 g ตามสัดส่วนอาหารชั้นต่ออาหารหยาบ (concentrate, C 40: roughage, R 60) รวมเป็น 0.5 g แล้วบรรจุลงในขวดขนาด 50 ml ปิดจุกยางและครอบด้วยฝาอะลูมิเนียมให้สนิท ทำการบรรจุของเหลวจากกระเพาะหมักผสมลงในขวดหน่วยย่อยโดยขวดที่เตรียมอาหารทดลองไว้แล้วออกจากตู้บ่ม แล้วทำการไล่ออกซิเจนด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านทางสายยางที่ต่อเข็มฉีดยาแทงผ่านจุกยาง พร้อมทั้งมีเข็มที่แทงไว้เพื่อระบายอากาศ พร้อมกันนั้นใช้กระบอกลดความดันขนาด 60 ml ดูดของเหลวจากกระเพาะหมักผสมปริมาณ 40 ml จากขวดรูปชมพู่และบรรจุลงในขวดหน่วยย่อยโดยใช้เข็มแทงผ่านทางจุกยาง (ทำการถอดสายยางคาร์บอนไดออกไซด์ออกก่อน) หลังจากนั้นนำหน่วยย่อยกลับเข้าตู้บ่มรักษาอุณหภูมิที่ 39 องศาเซลเซียส

Table 1 Feed ingredients of the diet used in the experiment

Ingredient (kg)	Rice bran: YFCP ratios			
	100:0	90:10	80:20	70:30
Cassava chip	56.00	56.00	56.00	56.00
Rice bran (RB)	20.00	18.00	16.00	14.00
Yeast fermented cassava peel (YFCP)	0.00	2.00	4.00	6.00
SBM	20.00	20.00	20.00	20.00
Urea	1.00	1.00	1.00	1.00
Premix	1.00	1.00	1.00	1.00
Molasses	1.00	1.00	1.00	1.00
Sulfur	0.50	0.50	0.50	0.50
Salt	0.50	0.50	0.50	0.50
Total	100	100	100	100

การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

เมื่อได้เปลือกน้ำมันสำปะหลังหมักยีสต์แล้ว ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างโดยเก็บตัวอย่างละ 500 g ทำการแบ่งตัวอย่างอาหารออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (dry matter, DM) และส่วนที่ 2 นำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้แห้งและบดผ่านตะแกรงขนาด 1 mm แล้วนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ วัตถุแห้ง, เถ้า (ash), ไขมัน (ether extract, EE), โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) ตามวิธีของ AOAC (2000) วิเคราะห์เยื่อใยที่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) และเยื่อใยที่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) ตามวิธีการของ Van Soest et al. (1991) การศึกษาจลนศาสตร์ของการผลิตแก๊ส (kinetics of gas production) ดัดแปลงวิธีการของ 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) และทำการจดบันทึกปริมาณแก๊ส เพื่อนำค่าผลผลิตแก๊สที่ได้มาหาค่าคงที่ ส่วนที่ละลายได้ทันที (a) ส่วนที่ไม่ละลาย (b) อัตราการผลิตแก๊ส (c) และขอบเขตที่มีศักยภาพ การผลิตแก๊ส (a+b) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป fit curve เพื่ออธิบายจลนศาสตร์ของการผลิตแก๊สตามแบบจำลองสมการของ Ørskov and McDonald (1979) ทำการวัดค่าการย่อยสลายของ

วัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter degradability, IVDMD) และการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ (*in vitro* organic matter degradability, IVOMD) จากตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการทดลองหลังจากบ่มที่ชั่วโมงที่ 12 และ 24 มาทำการกรองเศษที่เหลือนำไปอบให้แห้งทำการชั่งน้ำหนักและนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุตามวิธีของ Tilley and Terry (1963) ดังสมการ

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

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

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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

ผลการศึกษาและวิจารณ์

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักยีสต์

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักยีสต์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า มีค่าวัตถุแห้ง 95.71% โปรตีนหยาบ 6.46% เยื่อใย NDF 20.97% เยื่อใย ADF 18.05% และเถ้า 9.17% ของวัตถุแห้ง (Table 2) สาเหตุที่องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักยีสต์ของเยื่อใย NDF และ ADF ที่ใกล้เคียงกันอาจเป็นผลมาจากการเก็บรวบรวมเปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักยีสต์ไว้นาน รวมถึงการทำให้แห้งด้วยการผึ่งในที่ร่ม และตากแดด ก่อนทำการหมัก แต่อย่างไรก็ตามยังสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโดยการเพิ่มปริมาณโปรตีนหยาบ ช่วยลดเยื่อใยด้วยเช่นกัน เมื่อเทียบกับการรายงานของ วัชรวิทย์ และคณะ (2555) ที่ทำการวิเคราะห์โภชนาการของเปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักยีสต์ พบว่า มีความชื้น 67.0-74.1% โปรตีน 2.12-3.06% เยื่อใย ADF 21.0-42.4% เยื่อใย NDF 32.0-66.7% ของวัตถุแห้ง และเมื่อนำมาทำการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้นส่งผลให้เปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักยีสต์สามารถเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกได้สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง สอดคล้องกับการรายงานของ Chemler et al. (2006) ที่ได้รายงานไว้ว่า วัตถุดิบที่ได้จากกระบวนการหมักยีสต์ *S. cerevisiae* ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกส์ (Prebiotics) ซึ่งจุลินทรีย์ในกระเพาะสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารได้ และยังช่วยเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ซึ่งใช้ในกระบวนการย่อยอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตและเยื่อใย รวมทั้งตัวเซลล์ยีสต์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อถูกย่อยสลายจะได้อาหารโปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังมีผลการศึกษาของ รัชณี และ พรรณพร (2561) ที่ได้ทำการศึกษา การใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* หมักฟางข้าวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของฟางข้าวหมักยีสต์ โดยกลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 2, 3 และ 4 ฟางข้าวหมักยีสต์ *S. cerevisiae* ในสัดส่วน 500 g: 500 ml; 1,000 g: 500 ml และ 1,500 g: 500 ml ตามลำดับ พบว่าปริมาณโปรตีนหยาบของฟางข้าวในกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 1.38, 4.65, 3.92 และ 3.80% บนฐานวัตถุแห้ง มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่ากรดแลคติกในฟางข้าวที่หมักร่วมกับยีสต์ในกลุ่มที่ 2 มีค่ากรดแลคติกสูงที่สุด คือ 2.85% ของวัตถุแห้ง และพบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 ให้ ปริมาณเชื้อยีสต์มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.9×10^7 cell/ml แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนการหมักฟางข้าวร่วมกับยีสต์ในกลุ่มทดลองที่ 2 (500: 500) มีความเหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวหมักโดยเฉพาะการเพิ่มสัดส่วนโปรตีนหยาบคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย และกรดแลคติก นอกจากนี้ยังมี ผลการศึกษาของ ทรงศักดิ์ และคณะ (2560) ที่ได้ศึกษาสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักทั้งสามสูตร พบว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่มีเปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักสัดส่วน 30, 40 และ 50 มีโปรตีนหยาบ เท่ากับ 13.74, 15.35 และ 14.24% ตามลำดับ มีเถ้า เท่ากับ 8.70, 8.19 และ 8.11% ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์เยื่อใยของอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่มีเปลือกถั่วลิสงสำหรับหมัก สัดส่วน 30, 40 และ 50% พบว่ามีผนังเซลล์ เท่ากับ 38.42, 41.63 และ 37.47% มีลิกโนเซลลูโลส เท่ากับ 27.88, 26.87 และ 26.66% และมีลิกนิน เท่ากับ 21.62, 26.49 และ 18.39% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามระดับเยื่อใยในอาหารผสมสำเร็จรูปเพียงพอต่อความต้องการโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งระดับที่

เหมาะสมของระดับเยื่อใยที่เป็นผนังเซลล์ควรมากกว่า 30% จึงจะไม่ส่งผลกระทบต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องการหมักเปลือกมันสำปะหลังด้วยยีสต์

Table 2 Chemical composition of yeast fermented cassava peels and rice straw

Item	YFCP	Rice straw
Dry matter (DM) (%)	95.71	89.2
----- % of dry matter-----		
Crude protein (CP)	6.46	2.4
Neutral detergent fiber (NDF)	20.97	87.4
Acid detergent fiber (ADF)	18.05	55.8
Ash	9.17	14.1

Note: YFCP= yeast fermented cassava peels

คุณค่าทางโภชนาการของเปลือกมันสำปะหลังยังขึ้นกับกรรมวิธีการผลิตของแต่ละโรงงานแป่งมันสำปะหลัง จากการรายงานของ Denev et al. (2007) ที่ได้รายงานไว้ว่า ผลิตภัณฑ์ได้จากกระบวนการหมักยีสต์ (*S. cerevisiae*) นำมาผ่านการทำให้แห้ง มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลเล็กน้อยมีกลิ่นหืนเล็กน้อยที่ยังมีชีวิต เมื่อนำมาทำการเลี้ยงด้วยการเติมออกซิเจนและสารละลายเป็นอาหารเลี้ยงยีสต์ในระยะเวลาที่เหมาะสมทำให้ยีสต์เพิ่มจำนวนขึ้นได้ สอดคล้องกับการรายงานของ สินีนาฏ และ เมธา (2558) ที่ได้รายงานไว้ว่า ยีสต์มีชีวิต เมื่อเสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องยังเป็นสารเสริมชีวณะ สามารถปรับปรุงกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีกลไกคือ สามารถใช้ออกซิเจนในกระเพาะรูเมนในการเผาผลาญน้ำตาลและ โอลิโกแซ็กคาไรด์สายสั้นๆ จากอาหารหรือเป็นผลผลิตที่ได้จากกิจกรรมของอะมัยโลไลติกแบคทีเรียและยีสต์ยังเป็นแหล่งวิตามิน แร่ธาตุและกรดอะมิโน โดยส่งผลให้ภายในกระเพาะรูเมนมีสภาวะที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ เนื่องจากได้รับสารอาหารจากยีสต์ รวมไปถึงการย่อยได้ของโภชนาการภายในกระเพาะรูเมนด้วย การหมักจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำจำนวนมาก ไอน้ำที่ผลิตขึ้นในการหมักเปลือกมันสำปะหลังด้วยยีสต์ มีฤทธิ์ในการทำปฏิกิริยาคลายความร้อนระหว่างการสลายตัวของสารอินทรีย์ การหมักเปลือกมันสำปะหลังเป็นเวลา 10 วัน ทำให้โภชนาการโดยเฉพาะโปรตีนเป็น 11.2% ใน D (10.80%), C (8.98%) และ B (6.81%) ตามลำดับ สำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน นอกจากนี้ ผลการศึกษาของ ศุภกิจ และคณะ (2565) ที่ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเปลือกมันสำปะหลังสด พบว่า ค่าวัตถุแห้งโปรตีน ไนโตรเจน ใย เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF คือ 24.78, 4.43, 0.73, 10.59, 34.52 และ 26.30% วัตถุแห้ง ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากการรายงานของ เมฆ และคณะ (2553) ที่ได้รายงานไว้ว่า การใช้เปลือกมันสำปะหลังสูงเกิน 40% ของวัตถุแห้ง อาจทำให้มีระดับของใยและเยื่อใยในอาหารสูงเกินไป ส่งผลต่อคุณภาพของอาหารหยาบหมักได้เพราะในเปลือกมันสำปะหลังส่วนประกอบของเปอร์เซ็นต์ NDF และ ADF ในปริมาณที่สูง

ค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊ส และค่าความสามารถในการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้ง และการย่อยสลายได้ของอินทรีย์วัตถุ

ค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊ส ค่า a (ส่วนที่ละลายได้ทันที) ค่า b (ส่วนที่ไม่ละลาย) และค่า c (อัตราการผลิตแก๊ส) ซึ่งเป็นค่าที่ได้สมการเพื่อใช้ในการแปลความหมายของผลที่ได้จากการศึกษาโดยวิธีเทคนิคการผลิตแก๊ส โดยผลของการใช้เปลือกมันสำปะหลังหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวต่อจลศาสตร์การผลิตแก๊ส พบว่าไม่ส่งผลต่อ ค่า a, b, c และ a + b โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$, Table 3) โดยค่า a การใช้เปลือกมันสำปะหลังหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวในสัดส่วนคือ 100:0 90:10, 80:20 และ 70:30 มีค่าเท่ากับ -1.58, 0.29, -0.12 และ -0.05 ตามลำดับ ค่า b ที่การใช้เปลือกมันสำปะหลังหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวในสัดส่วนคือ 100:0, 90:10 80:20 และ 70:30 มีค่าเท่ากับ 125.22, 124.18, 108.65 และ 126.61 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า (a + b) มีค่าอยู่ระหว่าง 108.52 - 126.57 ml/0.5 g ของวัตถุแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าแก๊สสะสมชั่วโมงที่ 96 หลังการบ่ม มีค่าแก๊สที่ลดลงทุกระดับเมื่อเทียบกับกลุ่ม

ควบคุม โดยมีค่าแก๊สสะสมที่ 96 ชั่วโมง การใช้เปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวที่สัดส่วน คือ สัดส่วนรองลงมาคือ 100:0 90:10, 80:20 และ 70:30 มีค่าเท่ากับ 113.00, 114.83, 102.33 และ 117.67 ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากในเปลือกของถั่วลิสงมีองค์ประกอบของเยื่อใยที่สามารถย่อยได้ง่ายกว่ารำข้าว ซึ่งรำข้าวมีองค์ประกอบของไขมันที่เป็นตัวป้องกันการย่อยสลายของเยื่อใย อีกทั้งการหมักเปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักยีสต์นี้ เป็นการทำให้เซลล์ของวัตถุดิบอาหารถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งจะเพิ่มสารอาหารให้กับจุลินทรีย์เซลล์โลไลติก ส่งผลให้จำนวนประชากรจุลินทรีย์เหล่านี้เพิ่มมากขึ้นทำให้สร้างแก๊สได้ดี ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ ทรงศักดิ์ และคณะ (2560) ที่ได้ศึกษา ผลของระดับเปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักต่อจุลศาสตร์การผลิตแก๊สและการย่อยได้ในหลอดทดลอง ที่ใช้เปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่สัดส่วน 30, 40 และ 50% ของวัตถุดิบ พบว่าการใช้ที่สัดส่วนการใช้ที่ 30% ทำให้ค่าสามารถย่อยสลายได้สูงซึ่งต่างจากค่าปริมาณแก๊สรวมทั้งหมัดและศักยภาพการผลิตแก๊สต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้ในสัดส่วน 40 และ 50% โดยค่า a (ส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย) คือ -0.18, -0.28 และ -2.16 ml. ตามลำดับ ค่า b (ปริมาณแก๊สรวมทั้งหมัด) คือ 69.49, 70.69 และ 79.28 ml ตามลำดับ และค่า d (ศักยภาพการผลิตแก๊ส) คือ 71.03, 71.53 และ 81.64 ml ตามลำดับ และยังมีการศึกษาของ Kalio (2019) ที่ได้ทำการศึกษา คุณค่าทางโภชนาการของแหล่งไนโตรเจนที่ได้รับการหมักและเสริมด้วยพืชอาหารสัตว์ จากเปลือกถั่วลิสงสำหรับหมัก โดยใช้เทคนิคการผลิตก๊าซในหลอดทดลอง เปลือกถั่วลิสงได้รับการหมักและเสริมด้วยวัสดุที่มีไนโตรเจนสูง คือ ยูเรีย (T1) วัสดุรองพื้นคอร์กโกเนื้อ (T2), ใบมันสำปะหลัง (T3) และใบมันเทศ (T4) ผลการวิจัยการใช้เปลือกถั่วลิสงสำหรับหมักและเสริมด้วยใบมันสำปะหลัง (T3) และใบมันเทศ (T4) มีปริมาณก๊าซในชั่วโมงที่ 48 หลังบ่ม สูงที่สุด (31.90 และ 32.20 ml/200 mg วัตถุแห้ง ตามลำดับ)

Table 3 Effect of yeast fermented cassava peels on *in vitro* gas production kinetics and degradability

Items	Rice bran: YFCP ratios				SEM ⁵	P-value
	100:0	90:10	80:20	70:30		
Gas Kinetics ¹						
a	-1.58	0.29	-0.12	-0.05	0.567	0.89
b	125.22	124.18	108.65	126.61	4.851	0.47
c	0.02	0.03	0.04	0.03	0.004	0.34
a+b	123.63	124.46	108.52	126.57	4.778	0.58
Gas ² (96 h) mL/0.5 g of substrate	113.00	114.83	102.33	117.67	3.868	0.67
IVDMD ³ , %						
12h of incubation	68.53	67.20	68.40	62.79	1.556	0.17
24h of incubation	68.14	68.14	67.68	64.44	1.031	0.08
IVOMD ⁴ , %						
12h of incubation	57.68	62.09	70.79	77.19	5.046	0.30
24h of incubation	72.37	76.26	71.28	75.52	1.390	0.07

Note: ¹a= 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.

²Cumulative gas after 96 hours of incubation time (mL/0.5 g of substrate). ³IVDMD = *in vitro* dry matter digestibility. ⁴IVOMD = *in vitro* organic matter digestibility., ns = non-significant. ⁵SEM=standard error of the means.

การย่อยสลายของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง (IVDMD) และการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในหลอดทดลอง (IVOMD) ในชั่วโมงที่ 12 และชั่วโมงที่ 24 หลังการบ่ม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P > 0.05, Table 3) โดย IVDMD ในชั่วโมงที่ 12 ของใช้เปลือก

น้ำมันสำปะหลังหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวที่สัดส่วนคือ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 โดยมีค่าเท่ากับ 68.53%, 67.20%, 68.40% และ 62.79% ตามลำดับ และ IVDMD ในชั่วโมงที่ 24 ของใช้เปลือกถั่วเขียวสำปะหลังหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวที่สัดส่วนคือ 100:0 และ 90:10 มีค่าเท่ากันคือ 68.14% ที่สัดส่วน 80:20 และ 70:30 โดยมีค่า 67.68% และ 64.44% ตามลำดับ การย่อยสลายได้ของ IVDMD จะลดลงเมื่อสัดส่วนของเปลือกถั่วเขียวหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ IVOMD ในชั่วโมงที่ 12 ของใช้เปลือกถั่วเขียวสำปะหลังหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวที่สัดส่วนคือ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 โดยมีค่าเท่ากับ สัดส่วนรองลงมาคือ 80:20, 90:10 และ 100:0 โดยมีค่า 57.68%, 62.09%, 70.79% และ 77.19% ตามลำดับ และในชั่วโมงที่ 24 มีค่าเท่ากับ 72.37%, 76.26%, 71.28% และ 75.52% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรายงานของ ทรงศักดิ์ และคณะ (2560) พบว่า ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบและความสามารถในการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในหลอดทดลอง ชั่วโมงที่ 48 หลังบ่ม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่มีเปลือกถั่วเขียวสำปะหลัง สัดส่วน 30, 40 และ 50% มีค่า IVDMD เท่ากับ 64.02, 53.50 และ 52.83% ตามลำดับ ในขณะที่ค่า IVOMD เท่ากับ 65.72, 55.20 และ 54.30% ตามลำดับ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และยังสามารถใช้เปลือกถั่วเขียวในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักในสัดส่วน 50% มีผลทำให้ศักยภาพในการหมักได้ดีที่สุดในกระเพาะหมัก และยังสามารถใช้เปลือกถั่วเขียวในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักในสัดส่วน 50% มีผลทำให้ศักยภาพในการหมักได้ดีที่สุด และจากผลการศึกษาของ เมฆ (2552) ที่ทำการศึกษการย่อยสลายได้ของวัตถุดิบที่ชั่วโมงต่างๆ ของเปลือกถั่วเขียวสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์ เมื่อนำไปบ่มในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะโดยวิธีการใช้ถุงไนลอน พบว่าเมื่อมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น วัตถุดิบอาหารสัตว์ทุกชนิดมีอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา โดยเปลือกถั่วเขียวสำปะหลังมีค่าการย่อยสลายวัตถุดิบคือ 57.2 ใกล้เคียงกับกากเป็ยร์ กากมันสำปะหลัง และเปลือกข้าวโพด โดยมีค่า 63.4, 68.3 และ 44.3 ตามลำดับ จากการรายงานของ Cherdthong and Wannapat (2013) ที่รายงานว่าการย่อยได้ของโภชนะมีความสัมพันธ์เชิงลบต่อปริมาณผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส ที่เพิ่มขึ้นของอาหารในหลอดทดลอง การเพิ่มความสามารถในการย่อยได้ของ NDF ด้วยการเพิ่มของ CP ในตัวอย่างอาจส่งผลต่อการกระตุ้นจุลินทรีย์ที่ละลายเซลลูโลส นอกจากนี้ ยังมีกรรายงานของ Gunun et al. (2023) ที่ได้รายงานว่าการทดแทนอาหารชั้นด้วยเปลือกถั่วเขียวสำปะหลังหมักยีสต์และจุลินทรีย์ ในอาหารแพะ ไม่มีผลเสียต่อการย่อยได้ของอาหารในกระเพาะรูเมนของแพะ และยังสามารถใช้ทดแทนอาหารชั้นได้มากถึง 50% ซึ่งช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้มากถึง 32% โดยตัวยีสต์แห่งที่มีชีวิตยังมีศักยภาพสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีคุณภาพสูง นอกจากนี้ ยีสต์มีชีวิตยังสามารถนำมาใช้เป็นสารเสริมชีวนะช่วยปรับปรุงกระบวนการหมัก มีบทบาทสำคัญในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หลายชนิดในรูเมนได้ เนื่องจากภายในกระเพาะรูเมนมีจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัวและเชื้อราอยู่อย่างหนาแน่น ภายในมีสภาวะไร้ออกซิเจน ทำหน้าที่ในการย่อยอาหารได้ถึง 60-70% ของการย่อยได้ทั้งหมด ซึ่งในนั้นมียีสต์ด้วยที่ลักษณะการจับกันกับชิ้นส่วนอาหารในกระเพาะรูเมน และมีการปฏิสัมพันธ์กับจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ด้วย (สินินาฏ และ เมธา, 2558)

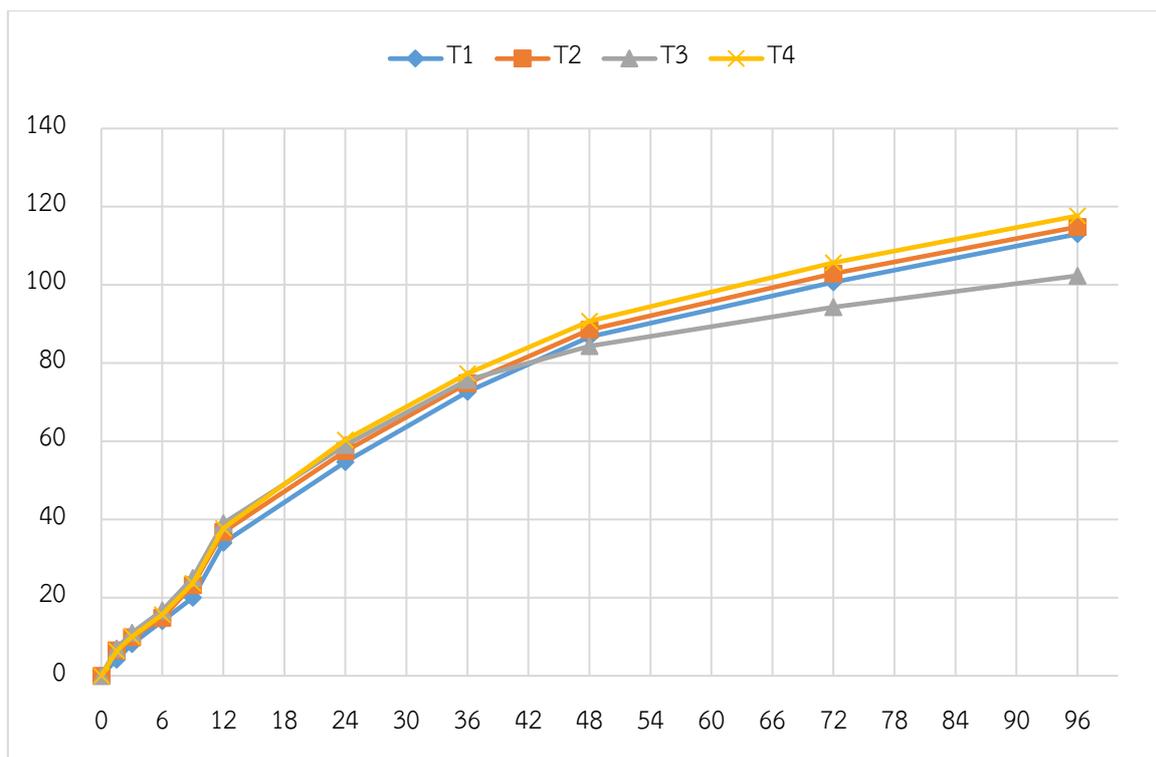


Figure 1 Effect of yeast fermented cassava peel on cumulative gas production

สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าการใช้เปลือกแป้งมันสำปะหลังหมักยีสต์ทดแทนรำข้าวในสูตรอาหารสามารถใช้ได้สูงถึง 30% ช่วยในการปรับปรุงজনস্বাস্থ্যการผลิตแก๊สและการย่อยได้ในหลอดทดลอง ซึ่งมีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกในสูตรอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ได้ในตัวสัตว์ต่อไป โดยเฉพาะในตัวสัตว์เคี้ยวเอื้องเช่น โคเนื้อและโคนม รวมถึงผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ เพื่อช่วยในการลดต้นทุนการผลิตสัตว์ได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

ฉันทานนท์ วรรณเขจร. 2566. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2566. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ณัฐนันท์ บุรณณวิชวงศ์. 2564. การผลิตเซลล์ยีสต์จากอาหารเพาะเลี้ยงจากพืชเพื่อการผลิตโปรไบโอติกอัดเม็ดแบบพองฟู. วิทยานิพนธ์. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ทรงศักดิ์ จำปาวะดี, อาณัติ จันทร์ธีระติกุล, ปาณิศรา ศิลาเกษ, ปรีดา บุญมานนท์ และสิริกาญจน์ ศรีสาระ. 2560. ผลของระดับเปลือกแป้งมันสำปะหลังในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักต่อจุลศาสตร์การผลิตแก๊สและการย่อยได้ในหลอดทดลอง. ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร. คณะเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. จังหวัดมหาสารคาม. แก่นเกษตร. 45: 698–704.

นันทนา มูลมาตย์, Makoto Otsuka, ศุภชัย อุดชาชน และกฤตพล สมมาตย์. 2553. การประเมินคุณค่าทางโภชนาและค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของรำละเอียด กากเมล็ดมัน และกากมะพร้าวในโคเนื้อพื้นเมืองไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 29: 382-388.

- บุญพริกา ปลั่งสูงเนิน, เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ และณรงมล เล่าห์รอดพันธ์. 2562. ผลของการเสริมราข้าวขาวต่อการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนและการย่อยได้ของโภชนะในโคเนื้อ. วารสารเกษตร. 35: 487-494.
- เมฆ ขวัญแก้ว, พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และวิศิษฐ์พร สุขสมบัติ. 2553. การใช้เปลือกมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง เป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารหยาบหมัก. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- เมฆ ขวัญแก้ว. 2552. การศึกษาการใช้เปลือกมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในการผลิตอาหารหยาบหมักสำหรับโคนม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- รัชณี บัวระภา และพรพรรณ กลมา. 2561. ผลของยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ต่อคุณค่าทางโภชนะ และคุณภาพของฟางข้าวหมัก. แก่นเกษตร. 46: 947-954.
- วัชรวิทย์ มีหนองใหญ่, ภาณุวัฒน์ คัมภีร์วัฒน์, ศุภรินทร์ มหาสวัสดิ์ และวัชระ เมื่อนาค. 2555. ผลของการใช้เปลือกมันสำปะหลังหมักเป็นแหล่งพลังงานและเยื่อใยในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของแกะขุนในเขตรอน. แก่นเกษตร. 17: 257-266.
- ศรัญญา ม่วงทิพย์มาลัย, สุบรรณ ฝอยกลาง, อนุสรณ์ เชิดทอง, จุฬากร ปานะถึก และจุฑารักษ์ กิตยานุภาพ. 2562. การปรับปรุงคุณภาพของกากถั่วเหลืองเปียกจากโรงงานเต้าหู้ด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* ต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊สในหลอดทดลอง. วารสารแก่นเกษตร. 47(พิเศษ 1): 131-136.
- ศุภกิจ สุนาโท, สุกัญญา คำพะแย และปฎิมา บุตรชา. 2565. การเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตของโคลูกผสมชาร์โรเลส์ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมครบส่วนที่มีเปลือกมันสำปะหลังหรือกากมันสำปะหลัง. ศูนย์วิจัยและพัฒนามาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ขอนแก่น.
- ศุภลักษณ์ เข็นสี, ทรงศักดิ์ จำปาเวดี และชนิษฐา เรื่องวิทยานุสรณ์. 2562. ผลของระดับเปลือกมันสำปะหลังในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่มีหญ้าเนเปียร์ปากช่องเป็นแหล่งอาหารหยาบ ต่อปริมาณการกินได้กระบวนกรหมักในกระเพาะหมักและการย่อยได้ของโภชนะในโคเนื้อ. วารสารวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 38: 382-390.
- สาวิตรี ลิ้มทอง. 2556. พันธุศาสตร์ของยีสต์และแนวทางการใช้ประโยชน์. น. 71-75. ใน: การประชุมวิชาการพันธุศาสตร์แห่งชาติ ครั้งที่ 18. Thai Journal of Genetics. 6: 71-75.
- สินีนานฎ พลโยราช และเมธา วรณพัฒน์. 2558. ศักยภาพในการใช้ยีสต์เป็นแหล่งโปรไบโอติกส์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. แก่นเกษตร. 43: 191-206.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analysis Chemists. 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, AV, USA.
- Bitew, D., M. Alemu, A. Tesfaye, and B. Andualem. 2024. Ethnological yeasts from Ethiopian fermented beverages and optimization of fermentation conditions. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 190. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114090>.
- Chemler, J.A., Y. Yanand, and M.A. Koffas. 2006. "Biosynthesis of isoprenoids polyunsaturated fatty acids and flavonoids in *Saccharomyces cerevisiae*". Microbial Cell Factories. 5-20.
- Cherdthong, A., and M. Wanapat. 2013. Manipulation of *in vitro* ruminal fermentation and digestibility by dried rumen digesta. Livestock Science. 153: 94-100.
- Denev, S.A., Tz. Peeva, P. Radulova, N. Stancheva, G. Staykova, G. Beev, P. Todorova, and S. Tchobanova. 2007. Yeast cultures in ruminant nutrition. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 13: 357-374.

- 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.
- Gunun, P., A. Cherdthong, P. Khejornsart, M. Wanapat, S. Polyorach, W. Kaewwongsa, and N. Gunun, 2023. Replacing concentrate with yeast- or EM-Fermented Cassava Peel (YFCP or EMFCP): Effects on the feed intake, feed digestibility, rumen fermentation, and growth performance of goats. *Animals*. 13: 551.
- Halfen, J., N. Carpinelli, F. A. B. Del Pino, J. D. Chapman, E. D. Sharman, J. L. Anderson, and J. S. Osorio. 2021. Effects of yeast culture supplementation on lactation performance and rumen fermentation profile and microbial abundance in mid-lactation Holstein dairy cows. *Journal Dairy Sciences*. 104: 11580–11592.
- Kalio, G. A. 2019. *In vitro* gas production from cassava peels supplemented with unconventional nitrogen sources and forages by small ruminants. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*. 4: 28-33.
- Leite, A.L.M.P., C.D. Zanon, and F.C. Menegalli. 2017. Isolation and characterization of cellulose nanofibers from cassava root bagasse and peelings. *Carbohydrate Polymers*. 157: 962–970.
- 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 feed in stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *The Journal of Agricultural Science*. 93: 217-222.
- Moncel, B. 2010. “What is yeast?”. Available.http://foodreference.about.com/od/Ingredients_Basics/a/What-Is-Yeast.htm. ค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2566.
- Odeyemi, S. O., K. O. Iwuozor, E. C. Emenike, O. T. Odeyemi, and A. G. Adeniyi. 2023. Valorization of waste cassava peel into biochar: An alternative to electrically - powered process. *Total Environment Research Themes*. 6.
- 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.
- Rogoski, W., G. N. Pereira, K. Cesca, D. D. Oliveira, and C. J. D. Andrade. 2023. An Overview on Pretreatments for the production of cassava peels-based xylo-oligosaccharides: State of art and challenges. *Waste and Biomass Valorization*. 14: 2115–2131.
- Tilley, J.M.A., and R.A. Terry. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and Forage Science*. 18: 104–111.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson, and A.B. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Sciences*. 74: 3583-97.
- Wongnen, C., C. Wachirapakorn, C. Patipan, D. Panpong, K. Kongweha, N. Namsaen, P. Gunun, and C. Yuangklang. 2009. Effects of Fermented Total Mixed Ration and Cracked Cottonseed on Milk Yield and Milk Composition in Dairy Cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 22: 1625–1632.
- Yafetto, L., G.T. Odamtten, and M. Wiafe-Kwagyan. 2024. Valorization of agro-industrial wastes into animal feed through microbial fermentation: A review of the global and Ghanaian case. *Review article. Heliyon*. 9: 14814.

Yuanklang, C., T. Wensing, L. Van den Broek, S. Jittakhot, and A.C. Beynen. 2004. Fat digestion in veal calves fed milk replacers low or high in calcium and containing either casein or soy protein isolate. *Journal Dairy Sciences*. 87: 1051–1056.

Zhang, Y., J. Xie, W.O. Ellis, J. Li, W.O. Appaw, and B.K. Simpson. 2024. Bioplastic films from cassava peels: Enzymatic transformation and film properties. *Industrial Crops and Products*. 213: 118427.