Content List Available at ThaiJo
Khon Kaen Agriculture Journal
Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

ผลของการใช้เมล็ดข้าวโพดผ่านการแปรสภาพด้วยกรรมวิธีต่างกัน เป็นแหล่งพลังงานในอาหารผสมสำเร็จต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายของเหลวจากกระเพาะรูเมน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊สในหลอดทดลอง

Effect of modified grain corn using different processing as energy source in total mixed ratio on rumen fluid degradability and metabolizable energy using *in vitro* gas production technique

รัชนี บัวระภา[1]* , เกชา คูหา[1], กฤษณธร สินตะละ[1], วุฒิกร สระแก้ว[1] และ ธนนันท์ ศุภกิจจานนท์[2]

Ratchanee Bourapa[1]*, Kecha Kuha[1], Kitsanathon Sintala[1], Wuttikron Srakaew[1] and Thananan Supphakitchanon[2]

[1] สาขาวิชาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน จังหวัด น่าน 55000
[1] Department of Animal Science and Fisheries, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangalg University of Technology Lanna ,Nan Campus, Nan 55000
[2] คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัด เชียงใหม่ 50290
[2]Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University, Chiang Mai, 50290

บทคัดย่อ : การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เมล็ดข้าวโพดผ่านการแปรสภาพด้วยกรรมวิธีต่างกัน เป็นแหล่งพลังงานสูตรอาหารผสมสำเร็จ ต่อประสิทธิภาพการย่อยของเหลวจากกระเพาะรูเมน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊สในหลอดทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยจัดให้มีอาหารผสมสำเร็จหมัก สำหรับอาหารทดลอง 4 สูตรๆ ละ 3 ซ้ำ โดยจัดให้มีอาหารผสมสำเร็จ ที่มีความแตกต่างกันของวัตถุดิบพลังงาน 4 สูตร ได้แก่ เมล็ดข้าวโพด (ควบคุม) เมล็ดข้าวโพดนึ่งสุกหมักยีสต์ เมล็ดข้าวโพดมอลต์สดหมักยีสต์ และ เมล็ดข้าวโพดมอลต์แห้งหมักยีสต์ ผลศึกษาพบว่า เมล็ดข้าวโพดแปรสภาพในรูปของข้าวโพดนึ่งสุกหมักยีสต์ และข้าวโพดมอลต์หมักร่วมกับเชื้อยีสต์ มีผลทำให้โปรตีนและพลังงานรวมสูงขึ้น และเมื่อนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารมีแนวโน้มทำให้ค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น และส่งผลทำให้ค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊สในส่วนของค่าการย่อยสลายส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ศักยภาพในการย่อยสลายและปริมาณผลผลิตแก๊สรวมมีค่าสูงขึ้น ($P<0.05$) รวมถึงส่งผลทำให้ปริมาณกรดไขมันสายสั้นมีค่าสูงขึ้น ($P<0.05$) และมีแนวโน้มทำให้ที่ระเหยง่ายรวมและกรดอะซิติกเพิ่มสูงขึ้น ($P=0.09$) จากข้อมูลผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้วัตถุดิบข้าวโพดแปรสภาพในรูปของข้าวโพดนึ่งและข้าวโพดมอลต์ร่วมกับการหมักยีสต์เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารผสมสำเร็จหมักน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายและกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนได้
คำสำคัญ: ข้าวโพดมอลต์; ยีสต์; อาหารผสมสำเร็จหมัก; เทคนิคผลผลิตแก๊สในหลอดทดลอง

ABSTRACT: The objective of this experiment was to investigate the effects of yeast treated malted-corn as energy source in total mixed rations (TMR) on rumen degradability and metabolizable energy by using in vitro gas production technique. This experiment was arranged in completely randomized design (CRD) including four TMR, three replications which diets which different in energy sources 4 TMR as followed: ground corn (Control), yeasts fermented with steamed corn (YSC), yeasts fermented fresh with malted-corn (YFMC) and yeasts fermented with dry malted-corn (YDMC). The results showed that ensiling of steamed and malted corn with yeast were increased protein and gross energy content. Using yeast treated steamed and malted corn in diet had trends to higher organic matter

* Corresponding author: Ratchaneebourapa@gmail.com

Received: date; June 9, 2020 Accepted: date; February 16, 2021 Published: date; October 5, 2021

digestibility (P=0.09) and metabolizable energy (P=0.06). Kinetic gas production in a fraction of insoluble fraction, potential extent of gas production and cumulative gas production were significantly increased P<0.05) and also increased SCFA (P<0.05) with trend to higher total volatile fatty acid and acetic (P=0.09) when using yeast treated steamed and malted corns in diet. The study suggested that ensiling of steamed and malted corns with yeast for use as an energy source in TMR silage is the way to increase the efficiency of feed utilization and ruminal fermentation.
Keywords: malted corn; Yeast; TMR; *In vitro* gas technique

บทนำ

ข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นวัตถุดิบหลักในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่เป็นแหล่งพลังงาน มีค่าการย่อยได้ของโภชนะ (total digestible nutrients; TDN) ประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ และมีโปรตีนรวมประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ (กรมปศุสัตว์, 2551; NRC, 2000) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าเมล็ดข้าวโพดอาหารสัตว์จะเป็นที่นิยมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารให้พลังงานในอาหารสัตว์ แต่ในการนำใช้เป็นแหล่งพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง กล่าวคือข้าวโพดมีอัตราการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนไม่สูงมากนักและรวมถึงมีข้อจำกัดของการย่อยจากเอนไซม์ที่ผลิตจากตับอ่อนและท่อทางเดินอาหารทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดอาหารสัตว์นั้นเมื่อแห้งแล้วจะมีความแข็งและประกอบด้วยผิวหุ้มเมล็ดที่หนาและแข็งแรงทำให้มีความทนทานต่อการย่อยทั้งจากน้ำย่อยจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนและในท่อทางเดินอาหาร และเมื่อนำมาใช้ในสูตรอาหารก็จะส่งผลให้การย่อยของอาหารลดลงเช่นเดียวกัน จากรายงานของ Owens and Zinn (2005) พบว่า การย่อยได้ของข้าวโพดในกระเพาะรูเมนมีเพียง 68.3 เปอร์เซ็นต์ และการย่อยได้รวมตลอดท่อทางเดินอาหารเพียง 85.0-90.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sommart (1998) ที่พบว่า การใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารในปริมาณสูงมีผลต่อการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนที่ต่ำ เป็นผลจากโปรตีนสารเคลือบที่เคลือบอยู่ที่ผิวของเมล็ดข้าวโพด อีกทั้งการใช้ข้าวโพดในสูตรอาหาร อาจทำให้เกิดประสิทธิภาพการย่อยสลายแป้งในกระเพาะรูเมนต่ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการผลิตจุลินทรีย์โปรตีนและการย่อยได้ของอาหารโดยรวม (McNiven et al., 1994) ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของข้าวโพดทั้งในด้านองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยได้ของข้าวโพดจึงเป็นแนวทางที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้

ข้าวโพดมอลต์เป็นการปรับปรุงข้าวโพดโดยการเปลี่ยนรูปของแป้งให้อยู่ในรูปของน้ำตาลและเพิ่มระดับโปรตีนจากการงอกของต้นอ่อน โดยพบว่าข้าวโพดมอลต์มีระดับน้ำตาลสูงและมีโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 8 เปอร์เซ็นต์เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ (ไกรฤกษ์ และคณะ, 2562) และมีรายงานว่าการใช้มอลต์เป็นวัตถุดิบเสริมในอาหารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ และการให้ผลผลิตน้ำนมในโคนมได้ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์ (Biagi et al., 2007) นอกจากนั้นยังพบว่าการหมักวัตถุดิบอาหารพลังงานร่วมกับเชื้อยีสต์ ทำให้ปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้นและส่งผลทำให้ค่าการย่อยได้เพิ่มสูงขึ้นได้ด้วย (Krisada et al., 2009) สอดคล้องกับรายงานของ Khampa (2006) รายงานว่า การใช้เชื้อยีสต์หมักร่วมกับมันเส้นสามารถเพิ่มระดับโปรตีนได้และเมื่อนำไปใช้เป็นอาหารเสริมเลี้ยงโค ส่งผลให้การย่อยได้สูงขึ้น ซึ่งคุณสมบัติของยีสต์และเชื้อราสามารถใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ดี เนื่องจากยีสต์และเชื้อราสามารถใช้ประโยชน์จากยูเรียในการเจริญเติบโตได้ดีกว่าแอมโมเนียมฟอสเฟต โมโนและไดแอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต แอมโมเนียมทาร์เตรท จากข้อมูลเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าการผลิตข้าวโพดในรูปของข้าวโพดมอลต์และหรือการผลิตข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์น่าจะช่วยเพิ่มระดับโปรตีนและการย่อยได้ในข้าวโพดและรวมถึงเมื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์แล้วสามารถส่งผลดีต่อการย่อยได้ในของอาหารได้ ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เมล็ดข้าวโพดผ่านการแปรสภาพด้วยกรรมวิธีต่างกันเป็นแหล่งพลังงานสูตรอาหารผสมสำเร็จ ต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายจากของเหลวในกระเพาะรูเมน และการเพิ่มขึ้นของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้

วิธีการศึกษา

การเตรียมเมล็ดข้าวโพดนึ่ง เมล็ดข้าวโพดมอลต์สดและมอลต์แห้งหมักยีสต์

1. การขยายเชื้อยีสต์ *S. cerevisae* นำหัวเชื้อยีสต์ผง *S. cerevisae* จำนวน 10 กรัม ละลายน้ำให้หมด ในถังที่มีฝาปิด จากนั้นทำการเติมกากน้ำตาล 100 กรัม ร่วมกับแป้ง 150 กรัม จากนั้นเติมน้ำให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร และทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำปั๊มผลิตออกซิเจนขนาดเล็ก ให้ทำหน้าที่คน หรือใช้ไม้พายหมั่นคน ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการปรับ pH ของ

อาหารเลี้ยงเชื้อให้อยู่ในช่วง 3.5-4.5 โดยใช้กรดซัลฟุริก (H_2SO_4) เข้มข้น ปิดฝาถัง เมื่อครบ 3 วัน (ประภาส, 2553) ทำการเปิดฝาถังหมักยีสต์ นำยีสต์ไปวิเคราะห์หาปริมาณยีสต์ ก่อนนำมาใช้ในการหมักร่วมกับข้าวโพดมอลต์และข้าวโพดนึ่งสุกหมักยีสต์

2. การเตรียมเมล็ดข้าวโพดนึ่งสุก

โดยการนำเมล็ดข้าวโพดหัวแข็งสีเหลืองซึ่งเป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกกัน ในเขตพื้นที่ จังหวัดน่าน มาผ่านขบวนการแปรสภาพเมล็ดข้าวโพดให้อยู่ในสภาพเป็นเมล็ดข้าวโพดนึ่งสุก โดยนำเมล็ดข้าวโพดมาแช่น้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดข้าวโพดมานึ่งสุกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบระยะเวลาการนึ่งแล้วนำข้าวโพดนึ่งผึ่งเพื่อลดความร้อน จากนั้นมาคลุกกับน้ำขยายหัวเชื้อยีสต์ ในอัตราส่วน 2 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ Thongnum (2018) ทำการหมักในถังหมักเป็นระยะเวลา 14 วัน จากนั้นนำมาทำให้แห้งโดยการผึ่งแดดเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงก่อนนำไปอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้ในการทดลอง

3. การผลิตข้าวโพดมอลต์สดหมัก และข้าวโพดมอลต์แห้งหมัก มีขั้นตอนดังนี้ เริ่มจากการนำเมล็ดข้าวโพดมาล้างให้สะอาดและแยกเมล็ดตายออกจากเมล็ดมีชีวิตโดยวิธีลอยน้ำ จากนั้นทำลายระยะพักตัวของเมล็ด (steeping) โดยการ แช่น้ำเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลานำเมล็ดข้าวโพดเข้าสู่ขั้นตอนการทำให้งอก (germination) ถังพลาสติก ขนาด 250 ลิตร โดยการใช้กระสอบป่านที่มีความชื้นรองพื้น และนำเมล็ดข้าวโพดมาวางเกลี่ยให้กระจาย เป็นชั้น ๆ จากนั้นปิดฝาถังพลาสติก ทิ้งไว้ประมาณ 72 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดนำข้าวโพดมอลต์ที่งอกดีแล้วแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำมาผลิตข้าวโพดมอลต์สดหมัก โดยนำมอลต์สดมาหมักร่วมกับหัวเชื้อยีสต์ขยาย โดยการนำน้ำเชื้อยีสต์ที่ขยายในอัตราส่วน 2 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ Thongnum (2018) ทำการหมักในถังหมักเป็นระยะเวลา 14 วัน จากนั้นนำมาทำให้แห้งโดยการผึ่งแดดเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงก่อนนำไปอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้ในการทดลอง ส่วนที่ 2 นำมาผลิตมอลต์แห้งหมักโดยนำเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการงอก (ข้าวโพดมอลต์สด) มาทำให้แห้งโดยการผึ่งแดดเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงก่อนนำไปอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงก่อนนำมาหมักร่วมกับน้ำยีสต์ที่ผ่านกระบวนการขยายโดยผสมเชื้อยีสต์ขยายในสัดส่วน (ข้าวโพดมอลต์แห้ง 100 กิโลกรัม ต่อ หัวเชื้อขยาย 2 กิโลกรัม น้ำเปล่า 80 กิโลกรัม) โดยคำนวณให้มีความชื้น 50-60 เปอร์เซ็นต์ ทำการบรรจุลงในถังหมัก เป็นระยะเวลา 14 วัน จากนั้นนำมาทำให้แห้งโดยการผึ่งแดดเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงก่อนนำไปอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้ในการทดลอง

การวางแผนการทดลองและสูตรอาหารทดลอง

งานทดลองครั้งนี้ทำการวางแผนการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทดลองครั้งนี้ใช้สูตรอาหารผสมเป็นอาหารผสมสำเร็จ (total mixed ration, TMR) ใช้อัตราส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ 40:60 โดยมีการใช้เมล็ดข้าวโพดแปรสภาพในสูตรอาหาร ร่วมกับการใช้ฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ สัดส่วนของวัตถุดิบในสูตรอาหารทดลอง **Table 1** คำนวณสูตรอาหารให้มีความชื้นที่ 50-60 เปอร์เซ็นต์ และมีโปรตีนรวม ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารทดลองมีแหล่งพลังงานแตกต่างกัน ดังนี้

ทรีทเมนต์ที่ 1 ข้าวโพดธรรมดา (กลุ่มควบคุม)

ทรีทเมนต์ที่ 2 เมล็ดข้าวโพดนึ่งสุกหมักยีสต์ (Yeast fermented with streamed corn; YSC)

ทรีทเมนต์ที่ 3 เมล็ดข้าวโพดมอลต์สดหมักยีสต์ (Yeast fermented with fresh malted corn; YFMC)

ทรีทเมนต์ที่ 4 เมล็ดข้าวโพดมอลต์แห้งหมักยีสต์ (Yeast fermented with dry malted corn; YDMC)

Table 1 Ingredients and composition of total mixed ration used in the experiment (% on DM basis.)

Items	Treatment (Kg/100 Kg)
Rice straw	60
Corn meal	7.0
Corn dust	8.0
Rice bran	3.0
Soybean meal	14.5
Urea	2.1
Molasses	4.0
Di-calcium phosphate	0.7
Salt	0.35
Premixed	0.35
Total	100

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหาร

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง ข้าวโพด และข้าวโพดผ่านการแปรสภาพหมักยีสต์ โดยเก็บตัวอย่างละ 500 กรัม ทำการแบ่งตัวอย่างอาหารแต่ละชนิดออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก นำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (dry matter, DM) และส่วนที่ 2 นำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อทำให้แห้งและบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ วัตถุแห้ง, เถ้า (ash), ไขมัน (Ether extract, EE), โปรตีนหยาบ (crud protein, CP), เยื่อใย (crude fiber) และค่าพลังงาน (GE) (ตามวิธีของ AOAC (2000)

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองทั้งสูตร 4 สูตร ทำการแบ่งตัวอย่างอาหารแต่ละชนิดออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก นำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (dry matter, DM) และส่วนที่ 2 นำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อทำให้แห้งและบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ วัตถุแห้ง, เถ้า (ash), ไขมัน (Ether extract, EE), โปรตีนหยาบ (crud protein, CP), ค่าพลังงาน (GE) (ตามวิธีของ AOAC (2000) และองค์ประกอบของเยื่อใยได้แก่ neutral-detergent fiber (NDF) และ acid-detergent fiber (ADF) ตามวิธีของ Goering and Van Soest (1970) และทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และ ค่าความเป็นกรด- ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องวัด pH-meter (COMPACT pH METER LAQUAtwin-pH-11) และประเมินคุณภาพโดยให้ระดับคะแนนตามเกณฑ์ประเมินคุณภาพทางกายภาพของพืชหมักของกองอาหารสัตว์ (กรมปศุสัตว์, 2547ข)

การศึกษาการย่อยได้ จลศาสตร์การผลิตแก๊สและผลผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน

ทำศึกษาการจลศาสตร์การผลิตแก๊ส ตามวิธีการของ Markkar et al. (1995) โดยการเก็บของเหลวในรูเมนจากกระเพาะรูเมนจากโรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐาน เพื่อใช้ในเตรียมสารละลายของเหลวจากกระเพาะหมักผสม (rumen inoculums) ทำการบรรจุสารละลายของเหลวจากกระเพาะหมักผสม ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ในขวดที่บรรจุวัตถุดิบอาหารทดลองและบ่มรอไว้แล้ว ขวดละ 40 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าบ่มในตู้อบร้อนแห้งที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เพื่อทำการวัดปริมาตรแก๊ส และพร้อมกันนี้ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายของเหลวจากกระเพาะหมักผสมโดยไม่เติมลงในขวดที่มีตัวอย่างอาหารเพื่อทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายทั้งหมด (total volatile fatty acids; TVFAs) ทำการจดบันทึกปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้น โดยใน 12 ชั่วโมงแรก จะบันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมง ต่อมาบันทึก ทุก ๆ 3 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่ 24 จากนั้นบันทึกทุก ๆ 6 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่ 78 และสุดท้ายทำการบันทึกที่ชั่วโมงที่ 96

(ได้แก่ 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง เพื่อนำมาคำนวณจลศาสตร์การผลผลิตแก๊สตามสมการของ Orskov and McDonals (1979) คือ $Y = a + b\ (1 - e^{(-ct)})$ เมื่อค่า Y คือ ผลผลิตแก๊ส ณ เวลา (t) ใดๆ , ค่า a คือ ค่าปริมาณการผลิตแก๊ส ณ เวลาที่ 0 (จุดตัดแกน y) เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายที่เกิดจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนค่า b หมายถึง ปริมาณแก๊สรวมทั้งหมด ณ จุดเส้นกราฟราบเรียบ (asymptote) บ่งบอกถึงส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลาย ค่า c หมายถึง อัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมัก มีหน่วยเป็นร้อยละต่อชั่วโมง และ ค่า t เท่ากับ ระยะเวลาในการบ่มที่ชั่วโมง 0,1 ,2,3,4,....96 ชั่วโมงวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter digestibility: IVDMD) และอินทรียวัตถุ (*In vitro* organic matter digestibility: IVOMD) องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร วิเคราะห์ และกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย ตามวิธีการของ AOAC (2000), Van Soest et al. (1991) และ Samuel et al. (1997) ตามลำดับ นำค่าแก๊สสุทธิที่ 24 ชั่วโมงมาเข้าสมการทำนายการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและพลังงาน และคำนวณหาค่าเยื่อใย จากสมการของ Harris (1972) ดังนี้

Metabolizable energy (ME, MJ/Kg DM)	=	2.20 + 0.136Gv + 0.057CP + 0.0029CF
Organic matter digestibility (OMD, %)	=	14.88 + 0.88Gv + 0.45CP + 0.651XA
Short chain fatty acid (SCFA, mol)	=	0.0239Gv – 0.0601

เมื่อ Gv = net gas production (ml/200mg, DM) ที่ 24 ชั่งโมง, CP = crude protein, CF = crude fiber, XA = ash

สมการหาค่าเยื่อใย (CF)	=	(ADF x 0.75) + 3.56

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลจากการวิเคราะห์ มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วย Duncan’s New Multiple Range Test, DMRT ตามแผนการทดลองแบบ CRD ที่ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (SAS, 1996)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบข้าวโพดแปรสภาพ

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดและข้าวโพดแปรสภาพแสดงใน **Table 2** พบว่า เมล็ดข้าวโพดไม่แปรรูป เมล็ดข้าวโพดนึ่งสุกหมักยีสต์ เมล็ดข้าวโพดผลิตเป็นมอลต์สดแล้วหมักยีสต์ และ เมล็ดข้าวโพดผลิตเป็นมอลต์แห้งแล้วหมักเชื้อยีสต์ พบว่า มีค่าโปรตีนของระดับโปรตีนเท่ากับ 8.44, 11.59, 10.85 และ 10.13 เปอร์เซ็นต์ และ เยื่อใย มีค่าเท่ากับ 3.65 ,3.56, 3.50 และ 3.59 เปอร์เซ็นต์ และ ค่าพลังงาน เท่ากับ 3.70, 3.98, 3.87 และ 4.18 เมกะแคลอรี่ต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงค่าโปรตีนรวม พบว่า เมล็ดข้าวโพดผ่านการแปรสภาพด้วยกรรมวิธีต่างกัน ระดับของโปรตีนรวมเพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันเยื่อใยรวมมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ประโยชน์จากเยื่อใยเพิ่มขึ้น จากการได้รับอาหาร ส่งผลต่อการผลิตจุลินทรีย์โปรตีน (ภูวดล และคณะ, 2561) และจากการการนำเมล็ดข้าวโพดมาแปรสภาพหมัก ร่วมด้วยส่ายีสต์มีแนวโน้มทำให้ระดับโปรตีนหยาบและพลังงานในรูปของพลังงานรวม (gross energy, GE) เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งน่าจะส่งผลดีต่อระดับโปรตีนและระดับพลังงานที่สัตว์ได้รับได้เมื่อนำมาประกอบสูตรอาหารผสมสำเร็จสำหรับเลี้ยงโคขุนได้

Table 2 Chemical composition of modified corn with yeast

Items	Diets (%)			
	Corn	Steam corn-yeast	Fresh malt-yeast	Dry malt-yeast
Dry matter, DM (%)	90.60	54.78	61.56	52.50
	--------------------------------% of DM----------------------------------			
Protein	8.44	11.59	10.85	10.13
Crude fiber	3.65	3.56	3.50	3.59
Fat	4.95	3.45	3.06	3.59
Ash	1.62	1.65	0.81	0.89
Gross energy, GE (Mcal/kg DM)	3.70	3.98	3.87	4.18

ลักษณะทางกายภาพของสูตรอาหารผสมสำเร็จหมัก

การประเมินคุณภาพของอาหารผสมสำเร็จหมักทั้ง 4 สูตร แสดงใน **Table 3** โดยทำการประเมินกลิ่น เนื้อพืชหมัก(เนื้อสัมผัส) และสี พบว่า ในสูตรแต่ละสูตรการทดลอง มีกลิ่นหอมคล้ายผลไม้ดอง มีเนื้อสัมผัสแน่น มีสภาพคงเดิม ไม่เปื่อยยุ่ย และมีสีน้ำตาลอมเขียว ซึ่งมาตรฐานทางกายภาพของอาหารหมักที่ดีควรมีกลิ่นหอมเปรี้ยวอ่อนๆ คล้ายผลไม้ดอง ไม่มีกลิ่นเหม็นเน่า เนื้อสัมผัสต้องไม่เป็นเมือก และไม่เละ ในส่วนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางกายภาพรวมของอาหารทั้ง 4 สูตร มีคะแนน อยู่ในช่วง 12.37-14.66 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับคะแนนดี แสดงให้เห็นว่าสูตรอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร มีความเหมาะสมตามเกณฑ์ที่บ่งบอกว่าสามารถนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้ ตามรายงานมาตรฐานทางกายภาพของอาหารหมัก (กรมปศุสัตว์, 2547ก)

Table 3 Effects of modified malt yeast on physical assessment of total mixed ration silages.

Items	Treatment					
	Control	YSC	YFMC	YDMC	SEM	P-value
Smell (12 score)	8.89	8.93	8.93	8.93	0.63	1.00
Texture crops of fermentation (4 score)	2.73	2.74	2.64	2.77	0.24	0.98
Color (3 score)	2.02	2.00	2.02	2.10	0.07	0.95
Total score (19 score)	13.65	13.68	13.58	13.76	0.49	0.99

Score level: 15 -19 = excellent, 6 – 14 = good, 5 = medium

YSC = yeast fermented with steamed corn, YFCM = yeast fermented with fresh malted corn, YFDM = yeast fermented with dry malted corn

องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารผสมสำเร็จ

Table 4 แสดงผลของสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดแปรสภาพเป็นวัตถุดิบผสมในสูตรอาหารผสมสำเร็จ พบว่า สูตรอาหารที่ใช้อาหารสำเร็จรูป สูตรอาหารที่ใช้เมล็ดข้าวโพดนึ่งหมักส่ายีสต์ เมล็ดข้าวโพดมอลต์สดหมักส่ายีสต์และสูตรอาหารที่ใช้เมล็ดข้าวโพดมอลล์แห้งหมักส่ายีสต์ เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหาร มีระดับโปรตีน เท่ากับ 15.97, 15.70, 15.53 และ 15.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่า NDF อยู่ที่ระดับ 24.93, 19.03, 24.08 และ 19.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีค่าเยื่อใย ADF และพลังงานรวมอยู่ระหว่าง 36.19-43.16 เปอร์เซ็นต์ และ 3,900-4,190 กิโลแคลลอรี่ต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ และจากการศึกษา ค่า pH ของอาหารทั้ง 4 สูตร มีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05) โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.43-6.30 (**Table 4**) ทั้งนี้ค่า pH ในอาหารทั้ง 4 สูตรทดลองสูงกว่ามาตรฐานทางกายภาพของอาหารหมักที่มีคุณภาพ ควรมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.5 -4.2 (กรมปศุสัตว์, 2547ก) ซึ่งโดยปกติในพืชอาหารสัตว์พบว่ามีแบคทีเรียธรรมชาติที่ช่วยในกระบวนการหมักติดมากับพืช ซึ่งแบคทีเรียเหล่านั้นจะย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ผลิตเป็นกรดแลคติค (lactic acid) และกรดอะซิติค (acetic acid) ซึ่งส่งผลทำให้พืชหมักมีค่า pH ลดลงประมาณ 4.2 หรืออาจต่ำกว่านั้น (สายัณห์, 2540) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้การผสมอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร มีการใช้ฟางข้าวผสมร่วมกับอาหารข้นต่ออาหารหยาบในสัดส่วน 40 : 60 และไม่มีการใช้อาหารหยาบสดจึงอาจส่งผลทำให้ค่า pH สูงกว่าการหมักพืชอาหารสัตว์สด

Table 4 Effects of modified malt yeast on chemical composition

Items	Treatment				SEM	P-value
	Control	YSC	YFMC	YDMC		
pH	6.30 ^{a}	5.63 ^{b}	5.53 ^{b}	5.43 ^{b}	0.30	0.02
Dry matter, DM (%)	60.88^{a}	53.65^{b}	51.29 ^{b}	57.41 ^{b}	3.16	0.01
	----------------------------%DM----------------------------------					
Crude protein,%	15.07	15.70	15.53	15.11	0.54	0.16
ADF,%	24.93	19.03	24.08	19.17	9.67	0.08
NDF,%	43.17	37.36	36.99	38.19	3.99	0.06
Ash,%	5.80^{a}	4.10^{b}	3.51 ^{b}	3.57 ^{b}	0.52	0.01
Gross energy, (Mcal/kg DM)	4.19^{a}	4.10^{b}	3.97 ^{b}	3.90 ^{b}	0.06	0.01

^{a,b} Means with different superscript in row are significantly different (P<0.05)

YSC = yeast fermented with steamed corn, YFCM = yeast fermented with fresh malted corn, YFDM = yeast fermented with dry malted corn, NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber

ผลของข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ในสูตรอาหารต่อสัมประสิทธิ์การย่อยได้

Table 5 แสดงผลการศึกษาผลของการใช้เมล็ดข้าวโพดผ่านการแปรสภาพเป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้โดยเทคนิค *in vitro* gas production พบว่าค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุ ของสูตรอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร ในชั่วโมงการบ่มที่ 24 และ 48 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสูตรอาหารทั้ง 4 สูตรนี้มีองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและสัดส่วนของการใช้อาหารหยาบต่ออาหารข้นที่ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามผลการทดสอบค่าการย่อยได้ของสูตรอาหารในครั้งนี้เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งให้ผลไม่สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตแก๊ส และจลศาสตร์การให้ผลิตแก๊ส ด้านปริมาณผลผลิตแก๊สและค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊ส สามารถบ่งบอกถึงค่าการย่อยได้นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ข้าวโพดแปรสภาพทั้ง 3 ชนิดในสูตรอาหาร อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในส่วนของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ พบว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น (P=0.08) และ (P=0.06) ตามลำดับ ในสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดแปรสภาพมอลต์หมักยีสต์ทั้ง 3 สูตรเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ข้าวโพดธรรมดา แสดงให้เห็นว่าการใช้ข้าวโพดแปรสภาพมอลต์หมักร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ยีสต์เป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารผสมสำเร็จหมักมีแนวโน้มเพิ่มการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และมีแนวโน้มเพิ่มพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูตรอาหารได้ นอกจากนั้นอาจส่งผลทำให้ปริมาณผลผลิตของกรดไขมันสายสั้นในกระเพาะรูเมนได้ (P<0.05) จากรายงานของ นพพล และคณะ (2556) พบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยการหมักร่วมกับยีสต์ มีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยได้สูงขึ้น รวมถึงการนำข้าวโพดในรูปมอลต์มาเลี้ยงสัตว์ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้และการย่อยได้ของอาหารสูงขึ้นรวมถึงส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย (Biagi et al., 2007)

Table 5 Effects of modified malt yeast on in vitro dry matter digestibility, in vitro organic matter digestibility, metaboliazble energy, OM digestibility and Short chain fatty acid concentration

Items	Control	YSC	YFMC	YDMC	SEM	P-value
In vitro dry matter digestibility (IVDMD)						
24 h.	42.10	43.10	42.04	42.01	0.28	0.99
48 h.	43.24	43.10	43.00	43.00	0.31	0.98
In vitro organic matter digestibility (IVOMD)						
24 h.	48.69	47.88	47.43	47.31	0.63	0.38
48 h.	39.30	39.22	39.18	39.11	0.62	0.44
Metabolizable energy, ME, MJ/Kg DM	6.07	6.73	7.36	6.42	0.31	0.08
Organic matter digestibility (OMD, %)	38.55	41.75	44.23	39.57	1.58	0.06
Short chain fatty acid (SCFA, mol/100mol)						
	0.28^{a}	0.41^{b}	0.48^{b}	0.36^{b}	0.14	0.02

^{abc} Means with different superscripts in row are significant different (P<0.05)

YSC = yeast fermented with steamed corn, YFCM = yeast fermented with fresh malted corn, YFDM = yeast fermented with dry malted corn

ผลของข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ในสูตรอาหารต่อปริมาณผลผลิตแก๊สและจลศาสตร์การผลิตแก๊ส

จากผลการศึกษาใน (**Figure 1**) แสดงปริมาณผลผลิตแก๊ส และค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊ส (**Table 6**) ของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร พบว่าค่า a คือ ค่าการย่อยสลายของวัตถุดิบอย่างรวดเร็ว หรือ ค่าที่แสดงความสามารถในการย่อยสลายที่เกิดจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ของวัตถุดิบอาหาร (water soluble) ที่อยู่ระหว่าง -0.20 ถึง -3.22 มิลลิลิตร และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ขณะที่ b และค่า d มีค่าเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดแปรสภาพร่วมกับการหมักยีสต์ (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารควบคุม อย่างไรก็ตามค่าอัตราการผลิตแก๊สซึ่งแสดงในค่า c มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม (P>0.05) (**Table 6**) นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาในส่วนของปริมาณผลผลิตแก๊สตลอดระยะเวลาการบ่ม พบว่า มีความสอดคล้องกับค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊สกล่าว คือ ปริมาณผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 96 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อใช้วัตถุดิบข้าวโพดแปรสภาพร่วมกับการหมักยีสต์ในสูตรอาหาร (P<0.05) (**Figure 1**) ซึ่งจากผลการทดลองที่กล่าวข้างต้นอาจประเมินได้ว่า ค่าการย่อยได้ของสูตรอาหารผสมสำเร็จหมักน่าจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้วัตถุดิบข้าวโพดแปรสภาพร่วมกับการหมักยีสต์ในสูตรอาหาร ทั้งนี้อาจเนื่องจากวัตถุดิบข้าวโพดแปรสภาพทั้ง 3 ชนิดนั้นผ่านกระบวนการหมักร่วมกับเชื้อยีสต์ที่มีความสามารถเปลี่ยนโครงสร้างเยื่อใยให้กลายเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่ายเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้เกิดกระบวนการหมักย่อยอย่างรวดเร็วทำให้เกิดปริมาณผลผลิตแก๊สที่สูงกว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จหมักที่ใช้ข้าวโพดธรรมดา สอดคล้องกับ Sallam et al. (2007) รายงานว่า ผนังเซลล์มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้ตลอดเวลาของการบ่ม และผนังเซลล์อาจจะลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่อการย่อยอาหาร นอกจากนี้ผลของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่ายและมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายได้ในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้น รวมถึงการย่อยสลายของแป้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการใช้ประโยชน์ของพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนทำให้ประชากรในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นและส่งผลทำให้การย่อยได้เพิ่มสูงขึ้นสัตว์ (Nocek and Tamminga, 1991) นอกจากนั้นยังพบว่าการแปรสภาพของข้าวโพดในงานทดลองครั้งนี้ใช้เชื้อยีสต์ซึ่งเป็นเชื้อยีสต์ชนิด *Saccharomyces cerevisiae* อาจเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่สามารถอธิบายผลของการเพิ่มขึ้นของค่าการย่อยได้เมื่อใช้ข้าวโพดแปรสภาพในสูตรอาหาร สอดคล้องกับรายงานของ Dias et al. (2017) รายงานว่าการเสริมยีสต์ร่วมกับแป้งในอาหารอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อการย่อยได้และการกินได้ของโคเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากสามารถย่อยสลาย NDF ได้เยอะส่งผลให้การย่อยได้และกินได้เพิ่มขึ้น

และมีส่วนช่วยในส่วนของการหมักในกระเพาะรูเมนทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ รวมถึง สารอาหารจากเชื้อยีสต์ยังส่งผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (เมธา, 2533)

Table 6 Effects of modified malt yeast on kinetic gas production

Items	Control	YSC	YFMC	YDMC	SEM	P-value
Kinetics of gas production						
a	-0.20	-2.29	-3.22	-1.95	0.38	0.07
b	46.48[a]	78.23[c]	68.97[b]	79.86[c]	0.90	0.02
c	0.05	0.05	0.05	0.04	0.02	0.43
d	47.34[a]	80.53[b]	72.19[ab]	81.82[b]	0.96	0.02
Gas production volume (ml/0.5 g DM)						
12 h.	6.30	5.45	4.00	3.93	0.83	0.88
24 h.	11.23	14.93	18.00	12.67	2.66	0.76
48 h.	24.33	33.53	38.03	31.33	2.56	0.36
96 h.	34.50[b]	53.53[a]	48.73 [a]	49.47 [a]	1.83	0.03

[abc] Means with different superscripts in row are significant different (P<0.05)

YSC = yeast fermented with steamed corn, YFCM = yeast fermented with fresh malted corn, YFDM = yeast fermented with dry malted corn

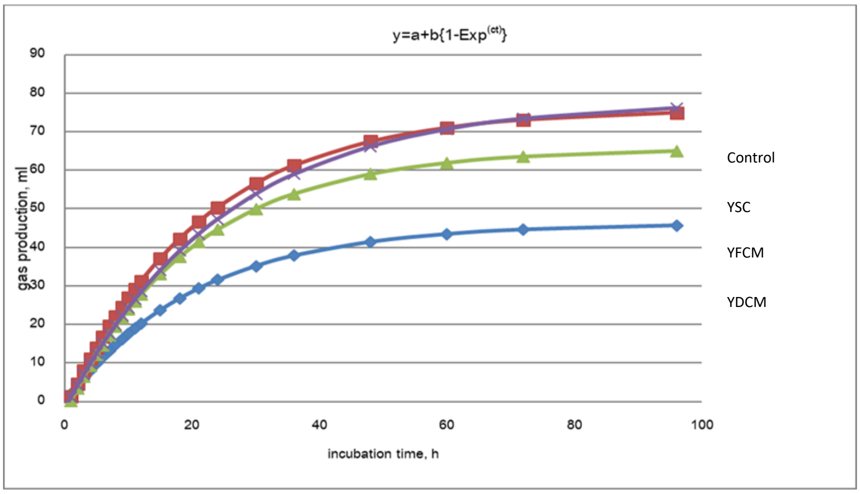

Figure 1 Accumulative gas production of experimental formula incubated in *in vitro* gas production technique

YSC = yeast fermented with steamed corn, YFCM = yeast fermented with fresh malted corn, YFDM = yeast fermented with dry malted corn

ผลของข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ในสูตรอาหารต่อปริมาณกรดไขมันที่ระเหยง่าย

สัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยง่ายรวม กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิค กรดบิวทิริคและสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อโพรพิออนิคในชั่วโมงที่ 24 ชั่วโมง และ 48 หลังการบ่ม ในสูตรอาหารทั้ง 4 สูตรมีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) อย่างไรก็ตามพบว่า ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยง่ายรวมและกรดอะซิติคมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (P=0.09) และ (P=0.12) ตามลำดับ ในสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดแปรสภาพหมักร่วมกับเชื้อยีสต์เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดธรรมดา สอดคล้องกับผลการทดลองจากการคำนวณใช้สมการคำนวณ

ปริมาณกรดไขมันสายสั้นที่ระเหยได้ ใน **Table 7** ที่พบว่า มีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้วัตถุดิบข้าวโพดแปรสภาพหมักร่วมกับเชื้อยีสต์ ทั้งนี้ยังพบว่าปริมาณกรดไขมันที่ระเหยง่ายรวมที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณการย่อยได้ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ข้าวโพดแปรสภาพหมักร่วมกับเชื้อยีสต์ในสูตรอาหาร สอดคล้องกับรายงานของ Nagaraja et al. (1992) ที่พบว่าปริมาณผลผลิตของกรดไขมันที่ระเหยง่ายในกระเพาะรูเมนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุกล่าวคือเมื่อการย่อยได้มีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของกรดไขมันที่ระเหยง่ายเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน นอกจากนั้นยังพบว่าความเข้มข้นของกรดอะซิติค กรดโพรพิออนิคและกรดบิวทิริคในการทดลองครั้งนี้มีค่าอยู่ในระดับที่ปกติและสอดคล้องกับรายงานของ เมธา (2533) ที่รายงานเกี่ยวกับสัดส่วนของกรดอะซีติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสมควรอยู่ที่ระดับ 65-75, 15-25 และ 8-15 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้งหมด

Table 7 Effects of modified malt yeast on rumen fermentation end-product

Items	Control	YSC	YFMC	YDMC	SEM	P-value
Total of volatile fatty acids, Mmol						
24 h.	90.63	99.88	90.38	98.42	5.32	0.32
48 h.	95.12	105.94	99.53	98.08	4.87	0.09
Acetic acid, mol/100 mol						
24 h.	67.77	73.41	76.30	70.48	0.87	0.09
48 h.	75.34	76.25	81.01	70.62	0.12	0.12
Propionic acid, mol/100 mol						
24 h.	23.00	20.14	18.03	23.10	0.66	0.12
48 h.	18.23	16.69	15.40	21.68	0.76	0.11
Butyric acid, mol/100 mol						
24 h.	9.23	6.46	5.67	6.41	0.67	0.32
48 h.	6.40	7.06	3.59	7.71	0.84	0.41
Acetic acid : Propionic acid						
24 h.	4.27	4.15	4.60	4.00	0.14	0.55
48 h.	4.13	4.70	5.40	3.30	0.24	0.11

YSC = yeast fermented with steamed corn, YFCM = yeast fermented with fresh malted corn, YFDM = yeast fermented with dry malted corn

สรุป

จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้ข้าวโพดแปรสภาพในรูปของข้าวโพดนึ่งและข้าวโพดมอลต์หมักร่วมกับยีสต์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดธรรมดาในสูตรอาหารผสมสำเร็จหมัก มีแนวโน้มทำให้ค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร และค่าปริมาณผลผลิตของกรดไขมันที่ระเหยง่ายมีค่าเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงมีผลทำให้ค่าการย่อยได้โดยการประเมินจากจลศาสตร์การผลิตแก๊สและปริมาณของผลผลิตแก๊สเพิ่มสูงขึ้น จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้ข้าวโพดแปรสภาพหมักร่วมกับเชื้อยีสต์ทั้ง 3 รูปแบบส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายของวัตถุแห้งและค่าจนศาสตร์การผลิตแก๊สเพิ่มสูงขึ้น ผลจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปศึกษาเพิ่มในตัวสัตว์ในด้านของ digestion trial และ production trial เพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบข้าวโพดอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องต่อไป

คำขอบคุณ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายเกษตร ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย และขอขอบคุณสาขาวิชาสัตวศาสตร์และประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน เป็นอย่างสูงที่อนุเคราะห์สถานที่ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการและอำนวยความสะดวกในการดำเนินการทดลองด้านอื่นๆ จนเสร็จสมบูรณ์ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ไกรฤกษ์ อำมะลา, นิรชา พลธนู, และอรุณ แซ่โซ้ง. 2562. ผลของการทดแทนข้าวโพดหมักยีสต์ในอาหารสำเร็จทางการค้าต่อประสิทธิภาพการผลิตและต้นทุนค่าอาหารของสุกรขุน. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, น่าน.

กรมปศุสัตว์. 2547ก. มาตรฐานพืชอาหารหมักของกองอาหารสัตว์. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

กรมปศุสัตว์. 2547ข. มาตรฐานพืชอาหารสัตว์หมักของกองอาหารสัตว์. เอกสารคำแนะนำกองอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมปศุสัตว์. 2551. ความต้องการโภชนะของโคเนื้อในประเทศไทย. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

นพพล ชุบทอง, จิรวัฒน์ พัสระ และเสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ. 2556. ผลของขนาดและการใช้เชื้อจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายของเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในกระเพาะรูเมนของโคขาวลำพูนและโคดอย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 44 (1): 31-34.

ประภาส โฉลกพันธ์รัตน์. 2553. การเพาะเลี้ยงยีสต์. ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ภูวดล เหมะชะรา ปิ่น จันทร์จุฬา และ อนุสรณ์ เชิดทอง. 2561. การประเมินอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารผสมเสร็จที่ใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักเชื้อราเป็นแหล่งอาหารหยาบโดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส. วารสารแก่นเกษตร. 46 (4): 687-698.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สายัณห์ ทัดศรี. 2540. พืชอาหารสัตว์เขตร้อนการผลิตและการจัดการ. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

A.O.A.C. 2000. Association of Official Analytical Chemists International (AOAC). Official Methods of Analysis. 17th Edition. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.

Biagi, G., A. Piva., M. Moschini., E. Vezzali, and F.X, Roth. 2007. Performance intestinal microflora, and wall morphology of weanling pigs fed sodium butyrate. Journal of Animal Science. 85: 1184-1191.

Dias, A. L. G., J. A. Freitas, B. Micai, R. A. Azevedo, L. F. Greco, and J. E. P. Santos. 2017. Effects of supplementing yeast culture to diets differing in starch content on performance and feeding behavior of dairy cows. Journal of Dairy Science. 101: 186–200.

Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis (apparatus, Reagent, Procedures and some Application). Agric. Handbook. N. 397. ARS, USDA, Washington, D.C.

Harris, L.E., L.C. Kearl, and P.V. Fonnesbeck. 1972 Use of regression equations in predicting availability of energy and protein. Journal of Animal Science. 35: 658-665.

Khampa, S. and M. Wanapat. 2006. Influences of energy sources and levels supplementation on ruminal fermentation and microbial protein synthesis in dairy steers. Pakistan Journal of Nutrition. 5: 294-300.

Makkar, H.P., 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(6): 897-913.

Mcniven, M. A., M. R. Weisbjerg, and T. Hvelplund. 1994. Influence of roasting or sodium hydroxide treatment of barley on digestion in lactating cows. Journal of Dairy Science. 78: 1106-1115.

Menke, K. H. and H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. Animal Research and Development. 28(1): 7-55.

Nagaraja, T.G., G. Towne, and A.A. Beharka, 1992. Moderation of ruminal fermentation by ciliated protozoa in cattle fed a highgrain diet. Applied and Environmental Microbiology. 58: 2410–2414.

Nocek, J.E., and S. Tamminga. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of Dairy cows and its effect on milk and composition. Journal of Dairy Science. 74: 3598-3629.

NRC. 2000. National research council Nutrient requirement of beef cattle. 70 th Edition. Academy Press, Washington, DC.

Owens, F. H. and R. A. Zinn. 2005. Corn grain for cattle: Influence of processing on site and extent of digestion. Proc. Southwest Nutrition Interhospital Conference. 29: 86-112.

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.

Sallam, S. M. A.; M. E. A Nasser; A. M El-Waziry; I. C. S Bueno, and A. L. Abdalla. 2007. Use of an *in vitro* rumen gas production technique to evaluate some ruminant feedstuffs. The Journal of Applied Sciences Research. 1: 34-41.

Samuel, M., S. Sagathewan, J. Thomas, and G. Mathen. 1997. An HPLC method for estimation of volatile fatty acids of ruminal fluid. The Indian Journal of Animal Sciences. 67:805–807.

SAS. 1996. User's Guide: Statistics, Version 6 Edition. SAS.Inst., Cary, N.C.

Sommart, K. 1998. The Use of Cassava in Ruminant Diets Based on Low Quality Roughages. Ph.D. Dissertation. University of Newcastle upon Tyne. England, UK

Thongnum, A., P. Khongphetsak, W. Sarkaew, S. Poojit, S. Potirahong and C. Wachirapakorn. 2018. Effects of fiber feed improvement with urea on chemical composition and kinetic ruminal gas production of both rice straw and sugar cane top. In: The 7th National Animal Science Conference of Thailand 2018 (NASCoT 2018). 22-24 August 2018. Chiangmai, Thailand.

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