

การใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้ผลผลิตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

The use of microbes to increase production performance in ruminants

รัศมี นามภักดี¹ และ สินีนาฏ พลโยราช^{1*}

Rutsamee Nampukdee¹ and Sineenart Polyorach^{1*}

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.กรุงเทพมหานคร 10520

¹ Department of Animal Production Technology and Fisheries, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

บทคัดย่อ: บทความฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้ผลผลิตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง จุลินทรีย์ถูกนำมาใช้มีหลายวัตถุประสงค์ รวมถึงช่วยปรับปรุงโภชนาการต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพิ่มองค์ประกอบของโปรตีนและลดองค์ประกอบของเยื่อใยของอาหารสัตว์ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่เพิ่มแหล่งของโปรตีนที่สำคัญ ประกอบด้วยกลุ่มเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เชื้อรา *Rhizopus oryzae*, *Aspergillus niger* และแบคทีเรีย *Lactobacillus delbrueckii*, *Bacillus* spp. มีคุณสมบัติในการย่อยโปรตีนและเปลี่ยนไปเป็นเปปไทด์ กรดอะมิโน และแอมโมเนีย นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่ช่วยลดเยื่อใยประกอบด้วยเชื้อราที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลส เช่น *Trichoderma harzianum* กลุ่มที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลส เช่น *R. oryzae* และมีกลุ่มของเชื้อราที่สามารถผลิตเอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่สำคัญอีก ได้แก่ *A. niger*, *A. oryzae*, *A. phoenicis* และแบคทีเรีย *Penicillium* sp. การใช้จุลินทรีย์ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการหมักภายในกระเพาะรูเมน ส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตที่สำคัญต่อสัตว์ ได้แก่ กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA), แอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia nitrogen, NH₃-N) และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน (microbial protein synthesis) เนื่องจากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นจุลินทรีย์จึงนิยมนำมาใช้ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มศักยภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การย่อยได้ของโภชนาการ เพิ่มผลผลิตทั้งทางด้านน้ำหนักและคุณภาพเนื้อ อย่างไรก็ตามการนำจุลินทรีย์มาใช้จะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้ง สภาวะแวดล้อม ปริมาณ วัสดุที่ใช้ สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น รวมไปถึงความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ : จุลินทรีย์รวม; ยีสต์; กระเพาะรูเมน; กระบวนการหมัก; กรดไขมันระเหยได้

ABSTRACT: This article was prepared from available literatures on the use of microbes to increase production performance in ruminants. Microbes have been used for several purposes in which improving nutrient content especially crude protein and reducing fiber content in animals feed are primarily reviewed. Information about the microbes capable to improve crude protein content such as *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhizopus oryzae*, *Aspergillus niger*, *Lactobacillus delbrueckii* and *Bacillus* spp. are provided. The microbes utilizing proteins and changing them into peptides, amino acids, and ammonia, are also reviews. In addition, cellulase-producing fungal zoospore such as *Trichoderma harzianum* capable of reduce crude fiber by breaking down cellulose and amylase-producing fungal zoospore such as *R. oryzae* used for fiber decomposition are included in this article. Other groups of fungi producing fiber-degrading enzymes such as *A. niger*, *A. oryzae*, *A. phoenicis* and *Penicillium* sp. are also explained. The use of these microbes can improve ruminant fermentation thus improving the animal production. However, the microbe may yield other fermentation products such as volatile fatty acid (VFA) and ammonia nitrogen (NH₃-N). They also carry out microbial protein synthesis. Due to the properties mentioned above, microorganisms are commonly used in ruminant feed as a guideline for increasing the growth of microorganisms, nutrients digestibility, productivity of

* Corresponding author: neenart324@hotmail.com, sineenart.po@kmitl.ac.th

both milk and meat quality. However, other factors contributing to the success of using microbes in ruminant production including surrounding environment, quantity and type of feed, microbe's species, proportion of roughage to concentrate, and suitability for the animals must be concerned.

Keywords: mixed microbe; yeast; rumen; fermentation; volatile fatty acid

บทนำ

การเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมีการพัฒนาไปในทิศทางที่ดีขึ้น มีการพัฒนาความรู้ทางด้านพันธุ์สัตว์ อาหาร และการจัดการ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ยังเป็นต้นทุนหลักถึง 60-70% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ในขณะที่ประเทศไทยยังประสบปัญหาในการขาดแคลนอาหารหยาบที่มีคุณภาพส่งผลทำให้ผลผลิตของสัตว์ลดต่ำลง (วาสนา และคณะ, 2557) และปัจจุบันการผลิตสัตว์มุ่งเน้นไปในทางอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้งปริมาณและคุณภาพ เกษตรกรส่วนใหญ่จึงหันมาใช้แหล่งวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารสัตว์ ลดการขาดแคลนและลดการขาดทุนในการผลิต อย่างไรก็ตามแหล่งวัตถุดิบอาหารที่มีใช้ในท้องถิ่นและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยเฉพาะแหล่งอาหารหยาบยังมีคุณค่าทางโภชนาการที่ต่ำแต่มีเยื่อใยสูง ฟางข้าวที่นิยมนำมาเลี้ยงสัตว์โดยเฉลี่ยแล้วฟางข้าวมีองค์ประกอบของโปรตีนหยาบประมาณ 3-4% ผนังเซลล์ (NDF) สูงประมาณ 70.2% และยังพบว่าความสามารถในการย่อยได้ต่ำอยู่ที่ 46% (เมธา, 2533; สนินาฎ และคณะ, 2560) นอกจากนี้ Anantasook et al. (2014) พบว่าชานอ้อยซึ่งได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายมีคุณภาพโปรตีนหยาบ (crude protein; CP) 2.8% ซึ่งถือว่าเป็นค่าโปรตีนที่ค่อนข้างต่ำ และเยื่อใยรวม (crude fiber; CF) สูงอยู่ที่ 49.50% (Fatma et al. 2011) ดังนั้นเพื่อให้เกิดการตอบสนองต่อการใช้ประโยชน์ของสัตว์ให้ได้มากที่สุดจึงต้องมีการมุ่งเน้นในการปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบอาหารที่นำมาใช้เลี้ยงสัตว์ การใช้จุลินทรีย์ถือว่าเป็นแนวทางในการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแหล่งอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยสามารถปรับปรุงกิจกรรมของจุลินทรีย์ กระบวนการหมัก และประสิทธิภาพในการใช้อาหารได้ดียิ่งขึ้นจากการรายงานของ Polyorach et al. (2014a) พบว่ากากถั่วเหลืองหมักที่มีจุลินทรีย์ประกอบด้วย ยีสต์ (yeast) และ แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria; LAB) สามารถเพิ่มระดับโปรตีนจาก 48.6 เป็น 70.6% วัตถุแห้ง และปรับปรุงการใช้อาหารของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน สอดคล้องกับการรายงานของ Foiklang et al. (2017) พบว่าสารละลายยีสต์ (yeast medium solution; YMS) สามารถเพิ่มระดับโภชนาโปรตีนและลดองค์ประกอบของเยื่อใย ได้แก่ เยื่อใยที่ละลายได้ในสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber; NDF) และเยื่อใยที่ละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรด (acid detergent fiber; ADF) นอกจากนี้ Polyorach et al. (2017a) ศึกษาฟางข้าวที่หมักด้วยจุลินทรีย์สามารถเพิ่มระดับโปรตีน รวมถึงสามารถลดองค์ประกอบเยื่อใยได้แก่ NDF และ ADF ได้อีกด้วย อีกทั้งจากรายงานของ Xu et al. (2017) พบว่าเมื่อทำการเสริม *Lactobacillus casei* Zhang และ *L. plantarum* p-8 ส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตน้ำนม ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการเขียนบทความนี้คือ เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มศักยภาพการให้ผลผลิตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง และแก้ไขปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์เพื่อให้เกิดการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างสูงสุด

1. การใช้จุลินทรีย์เพื่อปรับปรุงคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์

เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องมีการใช้เศษเหลือทางการเกษตรหรือทางโรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งวัตถุดิบอาหารที่มีในท้องถิ่นมาใช้เพื่อเป็นแหล่งอาหารสัตว์ เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายและราคาถูก ส่งผลต่อการลดต้นทุนการผลิตทางด้านอาหารสัตว์ แต่ถึงอย่างไรก็ตามแหล่งวัตถุดิบในท้องถิ่นบางชนิดยังมีคุณค่าทางโภชนาการที่ต่ำ ในขณะที่มีองค์ประกอบของเยื่อใยค่อนข้างสูง ทำให้การนำใช้ประโยชน์ในสัตว์ลดลง ดังนั้นการใช้จุลินทรีย์เป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เสริมในอาหารสัตว์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการหมักย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง การเสริมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เสริมในอาหารหรือเป็นการเติมจุลินทรีย์ลงไปเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของทางเคมีอาหารให้อยู่ในรูปที่สัตว์สามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น (Chaji et al., 2010) โดยจุลินทรีย์ที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอาหารสัตว์ได้แก่ กลุ่มเชื้อรา *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhizopus oryzae*, *Aspergillus niger* และแบคทีเรีย *Lactobacillus delbrueckii*, *Bacillus* spp. จุลินทรีย์เหล่านี้มีคุณสมบัติในการเพิ่มโภชนา

โปรตีนในอาหาร นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ที่ช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใยซึ่งประกอบด้วยเชื้อรากลุ่มที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลส เช่น *Trichoderma harzianum* กลุ่มที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลส เช่น *Rhizopus* spp. และยังมีกลุ่มของเชื้อราที่สามารถผลิตเอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่สำคัญได้แก่ *A. niger*, *A. oryzae*, *A. phoenicis* และกลุ่มแบคทีเรีย *Penicilium* sp. เป็นต้น (โชค, 2556)

1.1 การใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์

การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาของโปรตีนมีการใช้จุลินทรีย์กลุ่มเชื้อราเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของอาหารสัตว์ทางด้านโปรตีน จากการรายงานของ Polyolarch et al. (2012) ทำการศึกษามันเส้นหมักยีสต์ (*S. cerevisiae*) พบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนของ มันเส้นได้ถึง 47.5% สอดคล้องกับการรายงานของ Oboh and Akindahunsi (2003) พบว่าเมื่อทำการหมักกากมันสำปะหลังด้วยยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* เป็นเวลา 3 วัน สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนของกากมันหมักได้จาก 4.4 เป็น 10.9% รวมถึงลดสารพิษไซยาไนด์ (cyanide) จาก 21.3 เหลือ 9.5 มก./กก. สารไซยาไนด์เมื่อพบที่ระดับ 50-100 มก. สามารถทำให้สัตว์ตายได้หรือก่อให้เกิดโรคต่างๆ (Okpako et al., 2008) ทั้งนี้ยีสต์จัดเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพ ซึ่งในเซลล์จะอุดมไปด้วยโปรตีนประมาณ 40-60% และเป็นแหล่งของกรดอะมิโน (amino) ไลซีน (lysine) และ ฮิสทีดิน (histidine) (Rossi et al., 2004) รวมถึงเมื่อเซลล์ยีสต์ที่ตายลงจะผ่านการถูกย่อยโดยน้ำย่อยทำให้สัตว์ได้รับสารอาหารที่มีอยู่ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน แร่ธาตุ และวิตามินได้อีกด้วย

นอกจากนี้การใช้เชื้อจุลินทรีย์หลากหลายชนิดผสมกัน (mixed microbe) สามารถปรับปรุงคุณภาพโปรตีนในอาหารสัตว์ได้ ซึ่งได้มีการรายงานของ Polyorach et al. (2014a) ศึกษาจากถั่วเหลืองหมักนมที่มีจุลินทรีย์ประกอบด้วยยีสต์ (yeast) และแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (LAB) ทำการหมักเป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนของกากถั่วเหลืองโดยเพิ่มจาก 48.6 เป็น 70.6% นอกจากนี้ มนัสนันท์ และคณะ (2557) ศึกษาการผลิตโปรตีนจากกากปาร์มน้ำมันร่วมกับ *S. cerevisiae* และ *B. subtilis* ในอัตราส่วน 50:50 โดยใช้ระยะเวลาในการหมักอยู่ที่ 0, 15, 30 และ 45 วัน พบว่าค่าโปรตีนหยาบ (crude protein; CP) เพิ่มขึ้น 2.61, 9.44, 11.93 และ 14.77% ตามลำดับ Oboh (2006) รายงานการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาของเปลือกมันสำปะหลังโดยการหมักซึ่งจะใช้การหมักร่วมกับ *Lactobacillus delbruckii*, *L. coryneformis* และ *S. cerevisiae* โดยผสมเชื้อสด 10 กรัม (อัตราส่วน 2:1:1) และเปลือกมันสำปะหลัง 1 กก. ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 3 วัน พบว่าสามารถเพิ่ม CP จาก 8.20 เป็น 21.50% ใกล้เคียงกับการรายงาน Polyorach et al. (2017b) ศึกษาผลของการปรับปรุงโภชนาของมันสำปะหลังโดยทำการหมักร่วมกับจุลินทรีย์ ได้แก่ ยีสต์ (yeast; Y) จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (effective microorganism; EM) และจุลินทรีย์ผสมของยีสต์ และ EM (EMY) พบว่ามันสำปะหลังที่หมักร่วมกับจุลินทรีย์ดังกล่าวส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับ CP อยู่ที่ 42.1 44.2 และ 45.3% ของวัตถุแห้ง จากข้อมูลดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่าอาหารสัตว์ที่ได้รับการเสริมด้วยจุลินทรีย์สามารถเพิ่มปริมาณโภชนาของโปรตีน ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักภายในกระเพาะรูเมนสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนประชากรจึงทำให้มีโปรตีนเพิ่มขึ้น (วาสนา และ กิตติ, 2557)

1.2 การใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของเยื่อใยในวัตถุดิบอาหารสัตว์

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีศักยภาพในการย่อยอาหารที่มีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบหลัก โดยส่วนมากจะอยู่ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate; SC) จำพวก เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยมีสัดส่วนประมาณ 15-70% นอกจากนี้อาหารสัตว์ยังประกอบด้วยผนังเซลล์และมีโครงสร้างที่รวมตัวกันอย่างแน่นหนาไม่สามารถเข้าถึงได้ง่ายด้วยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ภายในกระเพาะรูเมน ดังนั้นการใช้จุลินทรีย์เพื่อปรับปรุงองค์ประกอบของเยื่อใย ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยส่งผลเพิ่มสมรรถนะของกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยเยื่อใย (cellulolytic microbe) จึงเป็นอีกทางเลือกที่นิยมนำมาใช้กับวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยจุลินทรีย์ที่นิยมนำมาใช้จะประกอบไปด้วยแบคทีเรีย และเชื้อรา จากการรายงานของ Foiklang et al. (2017) ทำการหมักฟางข้าวที่สับขนาดต่างกันคือ สั้นและยาว ด้วยสารละลายยีสต์ (yeast medium solution; YMS) ที่ระดับ 1:0, 1:0.5 และ 1:1 (ฟางข้าว:YMS) ทำการหมักเป็นเวลา 21 วัน พบว่าการหมักด้วย YMS ทั้ง 2 ระดับ สามารถลดเยื่อใยได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber; NDF) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) ของฟางข้าวทั้ง 2 ขนาดโดย ฟาง

ข้าวสับยาวมีค่า NDF และ ADF ลดลงจาก 80.5 เป็น 69.6% และ 38.9 เป็น 28.0% ส่วนฟางข้าวสับสั้นมีค่า NDF และ ADF จาก 75.8 เป็น 63.4% และ 37.8 เป็น 25.9% ตามลำดับ สอดคล้องกับการรายงานของ Cherdthong et al. (2019) อิทธิพลของการทดแทนกากถั่วเหลืองที่มีผงซีเมนต์หลังการหมัก (post-FYeB) ที่ระดับการเสริม 0, 33, 67 และ 100% สามารถลดเยื่อใย NDF และ ADF ของกากถั่วเหลืองได้ นอกจากนี้จากการรายงานของ Zhao et al. (2019) พบว่าฟางข้าวที่หมักด้วย LAB (*Lactobacillus plantrorum*) ร่วมกับกากน้ำตาลเป็นระยะเวลา 60 วัน ส่งผลต่อการลดลงของเยื่อใย ได้แก่ NDF, เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส โดยคาร์โบไฮเดรตเชิงโครงสร้างอาจถูกย่อยสลายด้วยกรดไฮโดรไลซิสที่ค่า pH ต่ำ ซึ่งเกิดจากการผลิตกรดแลคติกที่เป็นผลผลิตที่ได้จาก *L. plantrorum* อีกทั้งการใช้กากน้ำตาลร่วมสามารถกระตุ้นการหมักกรดแลคติก และส่งเสริมการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตเชิงโครงสร้างได้อีกด้วย (Chen et al., 2017) นอกจากนี้ Polyorach et al. (2017a) พบว่าฟางข้าวที่หมักด้วย *Aspergillus niger* สามารถลดเยื่อใย NDF และ ADF จาก 77.3 เป็น 70.2% และ 54.8 เป็น 49.2% ตามลำดับ เนื่องจากเชื้อรา *A. niger* มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซแลนเนส ที่ส่งผลต่อการเพิ่มระดับโปรตีนและลดระดับของเยื่อใยได้ (พิมพ์ชนา และคณะ, 2559) นอกจากนี้ *Aspergillus* spp. สามารถผลิตเอนไซม์ β -glucosidase ที่สามารถใช้อองค์ประกอบของ lignocelluloses ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ ลิกนิน เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส ทำให้เกิดการใช้ประโยชน์ในสัตว์ตัวได้สูงสุด

ทั้งนี้ยังมีการใช้จุลินทรีย์แบบผสม (mixed microbe) เพื่อเพิ่มศักยภาพในการย่อยเยื่อใยได้ จากการรายงานของ Samsudin et al. (2013) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณค่าของฟางข้าวด้วยเชื้อรา แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) ฟางข้าวหมักโดยไม่เติมเชื้อ 2) ฟางข้าวหมักด้วยเชื้อรา *A. niger* และ 3) และฟางข้าวหมักเชื้อราร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (effective microorganism; EM) ทำการหมักเป็นเวลา 10 วัน พบว่ากลุ่มที่ 3 มีผลต่อเยื่อใย NDF ลดลงอยู่ที่ 82.83, 79.54 และ 74.02% ตามลำดับ รวมถึง ADF ลดลงอยู่ที่ 66.45, 63.96 และ 59.74% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Syomiti et al. (2010) ที่ทำการเสริม EM และเชื้อรา ในฟางข้าวสามารถลด lignocellulos แสดงให้เห็นถึงระดับการลดลงของ NDF และ ADF รวมไปถึง ลิกนิน (acid detergent lignin; ADL) ของฟางข้าวได้ นอกจากนี้จากการรายงานของ Polyorach et al. (2017b) ศึกษาการปรับปรุงโภชนะของมันสำปะหลังที่เสริมด้วยจุลินทรีย์โดยแบ่งออกเป็น 1) ไม่ได้เสริม 2) เสริมด้วยยีสต์ (yeast; Y) 3) เสริมด้วย EM และ 4) เสริมด้วยจุลินทรีย์รวม Y และ EM (EMY) พบว่ามันสำปะหลังที่เสริมด้วย EMY สามารถลดเยื่อใย NDF จาก 7.8 เป็น 6.3% และ ADF จาก 6.2 เป็น 4.8% ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของโภชนะที่สำคัญโดยเฉพาะโปรตีนและการลดลงของเยื่อใยส่งผลต่อการนำใช้เศษวัตถุดิบ เหลือใช้ทางการเกษตรที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในสัตว์ (Table 1)

Table 1 Improving nutritional value of agricultural by-products by using microorganisms.

Type of microbial	Type of by-products		Chemical composition (% of DM)						Sources
			CP	EE	OM	CF	NDF	ADF	
<i>S. cerevisiae</i>	Cassava pulp	Not ferment	4.4 ^b	3.6	-	3.8	-	-	Obob and Akindahunsi (2003)
		Fermented	10.9 ^a	4.5	-	3.2	-	-	
<i>S. cerevisiae</i>	Rice straw	Not ferment	3.1	-	83.4	-	87.7	44.3	Foiklang et al. (2017)
		Fermented (1:0.5)	11.2	-	84.9	-	80.5	38.9	
		Fermented (1:1)	15.7	-	86.4	-	69.6	28.0	
Yeast (post-FYeB)	Soybean meal	0	13.6	-	87.1	-	73.2	55.4	Cherdthong et al. (2019)
		33	13.7	-	87.3	-	72.5	53.1	
		67	13.7	-	87.3	-	71.9	52.7	
		100	14.0	-	87.4	-	71.5	52.6	
<i>A. niger</i>	Rice straw	Not ferment	2.1	-	83.7	-	77.3	54.8	Polyorach et al. (2017a)
		Fermented	9.3	-	89.7	-	70.2	49.2	
<i>L. delbrückii</i> + <i>L. coryneformis</i> + <i>S. cerevisiae</i>	Cassava peel	Not ferment	8.2 ^b	3.1 ^a	-	12.5	-	-	Obob (2006)
Fermented	21.5 ^a	2.1 ^b	-	11.7	-	-			
<i>A. niger</i> +EM	Rice straw	Not ferment	5.0	-	83.84	-	82.83	66.45	Samsudin et al. (2013)
		Fermented	6.1	-	68.90	-	74.02	59.74	
Yeast+LAB	Soybean meal	Not ferment	46.8	3.2	93.3	6.6	12.8	10.2	Polyorach et al. (2014)
		Fermented	70.6	5.6	95.2	5.8	10.6	6.8	
Yeast+EM	Cassava	Not ferment	3.5	2.5	96.0	-	7.7	6.1	Polyorach et al. (2017b)
		Fermented	45.3	5.8	98.8	-	6.3	4.8	

^{a,b,c} Means in the same row with different superscripts, CP= Crude Protein, EE= Ether Extract, OM= Organic Matter, CF= Crude Fiber, NDF= Neutral Detergent Fiber, ADF= Acid Detergent Fiber. LAB= Lactic acid bacteria, EM= Effective microorganism

2. การใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.1 การเพิ่มปริมาณการกินได้และการย่อยได้โภชนะ

ปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของโภชนะในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความน่ากิน ความชื้น และลักษณะทางกายภาพของอาหาร ซึ่งลักษณะทางกายภาพของอาหารถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญ เกิดจากเกษตรกรส่วนใหญ่จะให้อาหารโคโดยไม่มีการสับหรือหั่นให้มีขนาดที่เหมาะสม (10-15 มม.) ทำให้มีผลต่อกระบวนการเคี้ยวเอื้อง เพราะอาหารที่มีขนาดยาว ต้องใช้เวลาในการเคี้ยวเอื้องให้มีขนาดชิ้นเล็กลงในระยะเวลาอันจึงย่อยได้เข้า อีกทั้งทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะเข้าย่อยได้ลำบาก อาหารไหลผ่านจากกระเพาะได้ช้า ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการกินได้ (วิโรจน์, 2560) นอกจากนี้เศษเหลือจากมันสำปะหลังต่างๆ ถูกนำมาใช้แพร่หลายในการเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ แต่มีข้อจำกัดทางด้านคุณค่าทางโภชนาการ จากการรายงานของ วาสนา และกิตติ (2557) กล่าวว่า แป้งมันมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างต่ำอยู่ที่ 3% และเปลือกมัน 1.66% ดังนั้นอาจส่งผลต่อความต้องการโภชนาการที่ไม่เพียงพอในตัวสัตว์เคี้ยวเอื้องได้จึงมีการศึกษาการเพิ่มการใช้ประโยชน์โดยการเสริมจุลินทรีย์ในอาหาร

จากการรายงานของ Piamphon et al. (2014) ศึกษาหญาเนเปียร์หมักผสมรากลันสำปะหลัง โดยหมักหญาเนเปียร์ด้วย จุลินทรีย์ที่แตกต่างกันคือ *A. niger* และ *S. cerevisiae* พบว่าหญาเนเปียร์ที่ทำการหมักด้วยจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดส่งผลต่อ ปริมาณการ กินได้ของวัตถุดิบแห้ง (Dry matter intake; DM) (7.7 เป็น 8.5 กก./วัน) การกินได้ของโภชนะและการย่อยได้ของโภชนะโดยเฉพาะแหล่ง ของโปรตีนหยาบ เพิ่มขึ้นจากกลุ่มที่ไม่ได้หมักจุลินทรีย์ (0.8 เป็น 1.0 และ 0.9% และ 55.1 เป็น 63.3 และ 64.0% ตามลำดับ) สอดคล้องกับการรายงานของ Wanapat et al. (2011) รายงานว่าเมื่อทำการเสริมยีสต์หมักมันเส้น สามารถเพิ่มการย่อยได้ของ CP, ไขมัน (Ether extract; EE) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber; NDF) นอกจากนี้ Jiang et al. (2017) พบว่าผลของการเสริมยีสต์ *S. cerevisiae* มีความสามารถในการเพิ่มการย่อยได้ของผนังเซลล์และปริมาณการกินได้สูงขึ้น ส่งผล ต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการเจริญเติบโตเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริม เนื่องจากยีสต์เป็นแหล่งของสารอาหารที่จำเป็นต่อการ เจริญเติบโตและแตกหน่อของเชื้อรา ยีสต์บางสายพันธุ์สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตและกิจกรรมของแบคทีเรียที่ย่อยเยื่อใย เช่น *Fibrobacter succinogenes* S85 และส่งผลในการลดระยะพักของ *Ruminococcus albus*7, *R. flafacins* FD1 และ *Butyivibrio fibrisolvens* D1 ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้มีหน้าที่สำคัญในการย่อย cellulose ซึ่งเป็นผนังเซลล์พืช

นอกจากนี้ Francia et al. (2008) พบว่าการรวมตัวกันของจุลินทรีย์ของ *A. niger* และ *S. cerevisiae* ที่ระดับ 6.0 และ 26 กรัม/กก. สามารถปรับปรุงการย่อยได้ของ NDF ทั้งนี้ปริมาณการกินได้ที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการย่อยได้ที่สูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของการ ย่อยได้ของเยื่อใยเกิดจากการเพิ่มจำนวนประชากรของ cellulolytic bacteria โดยเชื้อราและยีสต์จัดได้ว่าเป็นแหล่งสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินและแร่ธาตุ ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเยื่อใย นอกจากนี้การย่อยได้ของโภชนะโปรตีนเป็นผลมาจาก *A. niger* และ *S. cerevisiae* เป็นตัวกระตุ้น proteolytic bacteria (Piamphon et al., 2014) มากไปกว่านี้ ณรงค์ม และคณะ (2562) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ พด.1 และ essential microorganism (EM) แบ่งเป็น 5 กลุ่มการทดลองคือฟางข้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ (rice straw; RS) ทำการหมักฟางข้าวด้วย พด.1 ร่วมกับรำละเอียดที่ 0 วันและ 14 วัน (T1 และ T2) และทำการ หมักฟางข้าวด้วย EM ร่วมกับกากน้ำตาลที่ 0 วันและ 14 วัน (T3 และ T4) พบว่าปริมาณโปรตีนหยาบของกลุ่ม T4 มีปริมาณสูงขึ้น (3.11 เป็น 6.94 %) เนื่องจากใน EM มีจุลินทรีย์กลุ่ม Azospirillum ที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้ (Roper and Ladha, 1995; ณรงค์ม และคณะ 2562) อาจมาจากโปรตีนเซลล์เดี่ยว (single cell protein) ที่มาจากกระบวนการเจริญเติบโตและการเพิ่ม จำนวนของจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าว รวมถึงปริมาณ NDF และเฮมิเซลลูโลส ลดลงในกลุ่ม T4 อาจเนื่องมาจาก EM มีเชื้อราในกลุ่ม *Trichoderma* sp., *Aspergillus* sp. และ *Scytalidium thermophilum* (กานตกานท์, 2557 และ จันทนา, 2558) อีกทั้งมียีสต์ใน กลุ่ม *Saccharomyces* sp. ซึ่งจุลินทรีย์ในกลุ่มดังกล่าวนี้จะมีการใช้คาร์โบไฮเดรตในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน เมื่อมีการเพิ่ม จำนวนขึ้นจะเกิดการผลิตและปลดปล่อยเอนไซม์ cellobiohydrolases และ endoglucanases มาช่วยในการย่อยเยื่อใยหยาบ เฮมิเซลลูโลสได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ (วาสนา และกิตติ, 2557)

2.2 การปรับปรุงกระบวนการหมักภายในกระเพาะรูเมน

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีการพัฒนาที่เฉพาะตัว โดยมีระบบการหมักย่อยพืชอาหารสัตว์ในกระเพาะรูเมน โดยอาศัยการทำงาน ร่วมกันของจุลินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อรา กระบวนการทำงานของประชากรจุลินทรีย์จะมีประสิทธิภาพนั้นต้อง อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 6-7 และอุณหภูมิ 39-40°C (Kamra et al., 2005) และอยู่ใน สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobes) (เมธา, 2533) ซึ่งจุลินทรีย์จะสังเคราะห์ผลผลิตสุดท้ายให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อใช้ในกระบวนการ เมทาบอลิซึมของร่างกายและการให้ผลผลิตต่างๆ ประกอบไปด้วย กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids; VFAs) จุลินทรีย์โปรตีน (microbial protein; MP) และ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia nitrogen; NH₃-N) (เมธา, 2533; นุสลิน, 2560) นอกจากนี้การจัด สัดส่วนของอาหารมีผลต่อการให้ผลผลิตสุดท้าย โดยอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับส่วนใหญ่เป็นอาหารหยาบที่มีเยื่อใยสูงเป็นหลัก ซึ่งเป็น สารตั้งต้นของ แก๊สไฮโดรเจน (hydrogen; H₂) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide; CO₂) เป็นต้น โดยจุลินทรีย์กลุ่ม methanogens สามารถนำไปใช้ในการผลิตเป็นแก๊สมีเทน (methane; CH₄) ได้ (อนุสรณ์, 2555) อีกทั้งการจัดสัดส่วนของอาหารชั้น หากมีแบ่งที่ย่อยสลายได้เร็วในปริมาณมากเกินไปความต้องการส่งผลต่อการเกิดโรคกระเพาะอาหารเป็นกรด (sub-acute ruminal

acidosis; SARA) (วิโรจน์, 2560) ดังนั้นการเสริมจุลินทรีย์ให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อช่วยเหนี่ยวนำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยเยื่อใยของจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในกระเพาะรูเมนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ได้มีการศึกษาถึงผลของจุลินทรีย์ต่อระบบนิเวศวิทยาและกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการหมัก จากรายงานของ Krehbiel et al. (2014) เมื่อทำการเสริมอาหารชั้น 100% ในแมมโคให้นมที่ได้รับผ่าน cannula เพื่อกระตุ้นให้เกิด acidosis พบว่าการให้อาหารที่เสริมด้วย *L. acidophilus* (5×10^8 cfu/วัน) สามารถลดระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ให้ต่ำกว่า 6 ได้มากกว่ากลุ่มควบคุมโดยมีผลต่อการเพิ่มจุลินทรีย์ใช้กรดแลคติกชนิด *S. ruminantium* ที่สามารถใช้กรดแลคติกเพื่อผลิตกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดซัคซินิก (succinic acid) โดยมีการผลิตไฮโดรเจนต่ำ (Asanuma and Hino, 2004) นอกจากนี้ Brossard et al. (2006) พบว่าผลของ *S. cerevisiae* สามารถรักษา pH ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ จากการศึกษาของ Chung et al. (2011) ในหลอดทดลองพบว่าการเสริม *S. cerevisiae* (1×10^{10} cfu/ตัว/วัน) มีผลต่อการเพิ่มกรดไขมันที่ระเหยได้รวม (total Volatile fatty acids; TVFA), กรดอะซิติก (acetic acid; C₂), กรดโพรพิโอนิก (propionic acid; C₃), กรดบิวทีริก (butyric acid; C₄) และสามารถลดสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิก (C₂:C₃) สอดคล้องกับการรายงานของ Polyorach et al. (2014b) พบว่ามันเส้นหมักยีสต์ (Yeast-fermented cassava chip protein; YEFECAP) ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TVFA และ C₃ ในขณะที่สัดส่วนของ C₂:C₃ ลดต่ำลง จากการศึกษาของ Doto et al. (2017) เปรียบเทียบการเสริมยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นคือ yeast culture (YEC), YEC กับ *B. licheniformis* (YBL) หรือ YEC กับ *C. butyricum* (YCB) พบว่า YBL และ YEC มีผลต่อ C₄ เพิ่มขึ้น (3.08 และ 4.76% ตามลำดับ) แต่ไม่มีความแตกต่างของ TVFA, C₂, C₃ และ NH₃ เนื่องจากยีสต์มีชีวิตจะสามารถใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญน้ำตาลและ Oligosaccharide สายสั้นๆ จากอาหารและได้มีการผลิต ethanal, glycerol, peptide และ amino ซึ่งผลผลิตเหล่านี้สามารถใช้ประโยชน์ได้โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ภายในกระเพาะรูเมน และการใช้ออกซิเจนของยีสต์ยังช่วยทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสม anaerobic ซึ่งสภาวะนี้จะทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สำคัญโดยเฉพาะ cellulolytic bacteria, proteolytic bacteria และ amylolytic bacteria เป็นต้น

Jeyanathan et al. (2016) ทำการเปรียบเทียบการเสริม *Propionibacterium freudenreichii* 53-W, *Lactobacillus pentosus* D31 และ *Lactobacillus bulgaricus* D1 โดยจุลินทรีย์ดังกล่าวถูกตั้งสมมติฐานเพื่อลดการผลิต CH₄ ผ่านกระบวนการผลิตหรือการใช้ประโยชน์ของแลคเตทและส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของ propionate ในกระเพาะรูเมน การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาในตัวแกะพบว่า *L. bulgaricus* D1 และ *P. freudenreichii* 53-W ส่งผลต่อการลดการผลิต CH₄ (0.34 เป็น 0.26 และ 0.33 เป็น 0.28) แต่ *L. pentosus* D31 เพิ่ม VFA ที่สำคัญได้แก่ C₂, C₃ และ C₄ (67.1 เป็น 60.4, 17.3 เป็น 19.5 และ 16.3 เป็น 13.2 mol/100mol ตามลำดับ) อีกทั้งยังลดสัดส่วนของ C₂:C₃ (3.9 เป็น 3.1) ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีการทำงานภายในกระเพาะรูเมนที่ต่างกันซึ่ง *L. bulgaricus* D1 และ *P. freudenreichii* 53-W จัดเป็น LAB มีผลต่อการลดค่า pH ให้อยู่ในสภาวะที่เป็นกรดทำให้จุลินทรีย์ที่ไม่เจริญเติบโตในสภาวะนี้ตายได้ รวมถึงส่งผลต่อการลดลงของแบคทีเรียที่ผลิตแก๊สมีเทน (methanogens) ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Polyorach et al. (2018) ศึกษาหมักสำปะหลังที่เสริมด้วยจุลินทรีย์แบ่งออกเป็น 1) ไม่ได้เสริม 2) เสริมด้วยยีสต์ (yeast, Y) 3) เสริมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (effective microorganism; EM) และ 4) เสริมด้วยจุลินทรีย์รวม Y และ EM (EMY) พบว่ากลุ่มที่เสริมด้วย yeast และ EMY สามารถเพิ่มขึ้นของ VFA, NH₃ และลด CH₄ ซึ่ง EM มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ LAB ที่มีผลทำให้กรดแลคติกคงที่ในกระเพาะรูเมนช่วยให้จุลินทรีย์โดยรวมในการปรับการสะสมกรดแลคติกกระตุ้นให้แลคเตทใช้แบคทีเรียทำให้กระเพาะรูเมนมีการหมักได้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งลดสัดส่วนการผลิต C₂ ส่งผลต่อการลดสารตั้งต้นของการผลิต CH₄ (Table 2)

Table 2 Effects of microbial supplementation on rumen fermentation parameter and CH₄ production in ruminants.

Species	Total VFA	Acetate (C ₂) %	Propionate (C ₃) %	Butylate (C ₄) %	C ₂ :C ₃ %	Methane (CH ₄)	Ammonia nitrogen (NH ₃ -N)	Source
Control	32.4	82.2	15.0	2.71 ^{ab}	5.24	-	9.86	
yeast culture (YEC),	34.4	79.6	18.3	2.15 ^b	4.26	-	8.78	Doto and
YEC+ <i>B. licheniformis</i>	34.7	80.8	16.2	3.08 ^{ab}	4.85	-	12.57	Wang
(YBL)	34.7	77.3	17.3	4.76 ^a	4.55	-	9.03	(2017)
YEC + <i>C. butyricum</i>								
(YCB)								
Control	47.1	72.2	17.8	9.32	4.12	-	12.8	
<i>Enterobacter</i> sp.,								Kwak et al.
<i>Bacillus</i> sp.,	47.2	73.1	16.7	9.50	4.63	-	12.5	(2016)
<i>Lactobacillus</i> sp.,								
<i>Saccharomyces</i> sp								
control	68.3	52.8	17.3	16.4	3.1	0.34	-	
<i>P. freudenreichii</i> 53-W	87.6	54.6	18.2	16.3	3.0	0.26 ^{a, b}	-	Jeyanathan
control	73.5	67.1	17.3	13.2	3.9	0.36	-	et al.
<i>L. pentosus</i> D31	98.1	60.4	19.5	14.0	3.1	0.29	-	(2016)
control	58.7	60.4	17.5	13.4	3.4	0.33	-	
<i>L. bulgaricus</i> D1	65.7	58.2	18.6	14.1	3.1	0.28 ^{1,2}	-	
control	88.3 ^{abc}	62.2 ^a	27.5 ^d	10.4	2.3 ^b	24.5 ^b	20.4 ^d	Polyorach
Yeast + EM	96.9 ^a	52.4 ^d	35.9 ^a	11.7	1.5 ^c	18.4 ^c	26.6 ^a	et al.
								(2018)

^{a,b,c} Means in the same row with different superscripts, EM: Effective microorganism

2.3 การใช้จุลินทรีย์ต่อการเพิ่มผลผลิตน้ำนม

การผลิตน้ำนมให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำนมที่ดีและมีคุณภาพถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ มีผลกระทบหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพน้ำนมที่ได้ เช่น สภาพแวดล้อม ขั้นตอนการรีดนม และอาหาร ซึ่งอาหารเป็นต้นทุนการผลิตหลักที่สูงถึง 60-70% อีกทั้งการสังเคราะห์น้ำนมเกี่ยวข้องกับโภชนาที่ได้รับโดยตรง ดังนั้นการจัดการทางด้านอาหารให้ถูกต้องเหมาะสมตามความต้องการ และสภาวะของอาหารที่มีอยู่ เพื่อให้โคนมใช้อาหารเพื่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิตได้อย่างเต็มที่ (สัญญา และคณะ, 2556) เพื่อต้องการลดผลกระทบเชิงลบแก่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมจึงได้มีการนำจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เสริมในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอาหารให้มีคุณภาพสูง เพื่อเพิ่มศักยภาพการให้แก่วัตถุและองค์ประกอบน้ำนมในโคนม ซึ่งการศึกษาของ Polyorach et al. (2015) โดยนำผงเปลือกมังกุดผสมร่วมกับกากมันสำปะหลังหมักยีสต์ (YEFECAP) มีระดับการเสริมอยู่ที่ 0, 100, 200 และ 300 กรัม/ตัว/วัน พบว่าที่ระดับการเสริม 300 กรัม/ตัว/วัน ส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้สูงกว่าระดับการเสริมอื่นๆ อยู่ที่ 14.3 กก./วัน อีกทั้งส่งผลต่อการเพิ่มองค์ประกอบน้ำนมโดยเฉพาะ โปรตีนสูงอยู่ที่ 3.6 กรัม/100 มล. สอดคล้องกับการศึกษาของ Zaworski et al. (2014) เมื่อเสริมยีสต์ในระดับ 112 กรัม/วัน ทำให้เพิ่มผลผลิตน้ำนมมากกว่าตัวที่ไม่ได้เสริมยีสต์ซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 36.1 เป็น 41.8 กก. รวมไปถึงเพิ่มองค์ประกอบของน้ำนม นอกจากนี้มีการรายงานของ Dias et al. (2018) พบว่าเมื่อทำการเสริมยีสต์ (15 กรัม) ร่วมกับแป้ง ส่งผลให้

ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นจาก 26.3 เป็น 29.6 กก./วัน รวมถึงเพิ่มองค์ประกอบน้ำนมได้แก่ ไขมันนม 0.94 เป็น 1.08 กก./วัน โปรตีนนม 0.84 เป็น 0.96 กก./วัน เมื่อเทียบกับการควบคุม ทั้งนี้การเพิ่มระดับโปรตีนในน้ำนมอาจเกิดจากกระบวนการย่อยได้ในกระเพาะรูเมนที่ดีขึ้นซึ่งส่งผลต่อการย่อยสลายของโปรตีนและปริมาณกรดอะมิโน (Stein et al., 2006) นอกจากนี้การรายงานของ Xu et al. (2017) พบว่าเมื่อทำการเสริม *Lactobacillus casei* Zhang และ *Lactobacillus plantarum* P-8 มีผลต่อการผลิตน้ำนม รวมไปถึงการทำให้อุณหภูมิประจำถิ่นมีความเสถียรภาพและลดความเสี่ยงของเชื้อก่อโรค ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณน้ำนมอาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดที่กล่าวมา ส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียที่ใช้กรดแลคติก (Lactic utilizing bacteria; LUB) (*S. ruminantium* และ *M. elsdenii*) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการผลิตกรดแลคติกมาเป็น C_3 ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของ C_3 ในกระเพาะรูเมนส่งผลให้เพิ่มการผลิตกลูโคส (glucose) ในตับ (Stein et al. 2006) โดยกลูโคสเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์แล็กโทส (lactose) เกิดจากการรวมกันของกลูโคสและกาแลคโตส ซึ่งเกิดขึ้นที่ส่วน golgi apparatus ของเซลล์สร้างน้ำนม (secretory cell) และส่งผลต่อเนื่องไปถึงการเพิ่มผลผลิตน้ำนมภายในต่อมผลิตน้ำนม (mammary gland) ปริมาณแล็กโทสที่สังเคราะห์ได้จะมีการเคลื่อนที่ผ่านเซลล์เข้าไปภายในกระเพาะนม (alveolus) เมื่อแล็กโทสมีความเข้มข้นสูง ส่งผลทำให้เกิดกระบวนการออสโมติก (osmotic pressure) จากที่มีความเข้มข้นสูงในเซลล์ไปยังที่มีความเข้มข้นต่ำภายใน alveolus เป็นกระบวนการดึงน้ำเข้าสู่เซลล์เพื่อรักษา หรือช่วยปรับสมดุลแรงดันออสโมติก และน้ำที่เข้าสู่เซลล์จะถูกนำมาสังเคราะห์เป็นน้ำนมส่งผลให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น (Weiss et al., 2008)

อย่างไรก็ตามจากการรายงานของ Jeyanathan et al. (2019) เมื่อทำการเสริม *Propionibacterium freudenreichii* 53-W (2.9×10^{10} CFU/ตัว/วัน) (PF), *Lactobacillus pentosus* D31 (3.6×10^{11} CFU/ตัว/วัน) (LP) และ *Lactobacillus bulgaricus* D1 (4.6×10^{10} CFU/ตัว/วัน) (LB) ผสมร่วมกับอาหารที่มีเยื่อใยสูงให้โคนมกินเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของกลุ่มที่ไม่ได้เสริมและกลุ่มที่เสริมด้วย PF, LP, LB ทั้งปริมาณ และองค์ประกอบน้ำนม นอกจากนี้ Choi et al. (2019) พบว่าเมื่อทำการเสริมจุลินทรีย์รวม (microbial mixture) (*L. plantarum*, *S. cerevisiae*, and *B. subtilis* อัตราส่วน 1:1:1) ในโคนมไม่มีความแตกต่างกันทั้งกลุ่มที่ไม่ได้เสริมและกลุ่มที่เสริมจุลินทรีย์รวมของปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม ผลผลิตน้ำนม (31.00 และ 30.22 กก./ตัว/วัน), ไขมัน (4.59 และ 4.43 %), โปรตีน (3.32 และ 3.20%), แล็กโทส (4.65 และ 4.80%) และของแข็งไม่รวมไขมัน (8.65 และ 8.65%) จากความแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตน้ำนม ไม่ว่าจะเป็นชนิดของจุลินทรีย์รวมและระยะเวลาให้นมของโคนม ปริมาณไขมันนม ได้รับการรายงานจาก วาสนา และคณะ (2556) โดยได้ทำการศึกษาการเสริมยีสต์สายพันธุ์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ *S. cerevisiae* ที่ระดับ 10^9 เซลล์/วัน และ *K. ohmeri* ที่ระดับ 10^9 เซลล์/วัน พบว่ามีผลต่อการเพิ่มปริมาณไขมันนม แต่ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้จากการรายงานของ Zaleska et al. (2015) ทำการเสริมยีสต์ (*S. cerevisiae*) ในหญ้าหมักร่วมกับอาหารข้นใช้เลี้ยงแกะตัวเมียเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนมไม่แตกต่างกันจากกลุ่มที่ไม่ได้เสริม สอดคล้องกับการรายงานของ Zicarelli et al. (2016) เปรียบเทียบกลุ่มที่ไม่เสริม (CTR) กลุ่มที่เสริมยีสต์ (*S. cerevisiae*) (SC) และกลุ่มที่เสริม *A. oryzae* ร่วมกับยีสต์ (AS) พบว่าปริมาณของผลผลิตน้ำนมไม่มีความแตกต่างกัน (1480, 1630 และ 1630 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันลดลงของกลุ่ม SC และ AS (4.78, 4.38 และ 4.31% ตามลำดับ) (Table 3)

Table 3 Effects of microbial supplementation on milk production and milk composition in ruminants

Species	Level	Milk yield (kg/d)	Fat (%)	Protein (%)	Lactose (%)	Total solids (%)	Solid non-fat (%)	Source
<i>S. cerevisiae</i>	0	45.3	4.11	2.99	4.77			Zaworski et al. (2014)
	30	42.6	4.38	2.89	4.74	-	-	
	60	47.8	4.33	3.04	4.84			
	90	46.7	4.17	3.12	4.85			
<i>S. cerevisiae</i>	0	11.7 ^a	3.4	3.0 ^a	4.6	12.1	8.0	Polyorach et al. (2015)
	100	12.6 ^a	3.5	3.2 ^a	4.5	12.2	8.2	
	200	13.1 ^b	3.6	3.3 ^b	4.6	12.6	8.3	
	300	14.3 ^b	3.8	3.6 ^b	4.5	12.7	8.4	
Control		23.75	4.01	3.26	5.18	-	-	xu et al. (2017)
<i>L. casei</i> Zhang และ <i>L. plantarum</i> P-8	1.3×10 ⁹ cfu/h/d	33.43	3.48	3.40	5.20	-	-	
Control		16.3	38.7	27.1	-	-	-	
Control	2.9×10 ¹⁰	16.9	41.4	27.8	-	-	-	Jeyanathan et al. (2019)
<i>P. freudenreichii</i> 53-W	cfu/h/d	17.0	41.1	27.9	-	-	-	
<i>L. pentosus</i> D31	3.6×10 ¹¹	15.6	37.7	26.3	-	-	-	
<i>L. bulgaricus</i> D1	cfu/h/d							
	4.6×10 ¹⁰ cfu/h/d							
Control		31.00	4.59	3.32	4.65	-	8.65	Choi et al. (2019)
<i>L. plantarum</i> ,	1	30.22	4.43	3.20	4.80	-	8.65	
<i>S. cerevisiae</i>	1							
<i>B. subtilis</i>	1							

^{a,b,c} Means in the same column with different superscripts

2.4 การใช้จุลินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพเนื้อ

การเลี้ยงโคเนื้อจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพของอาหารที่มีปริมาณโภชนาที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต การเลือกใช้อาหารที่มีคุณภาพเมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับจะถูกแปลงสภาพไปเป็นผลผลิตทั้งทางด้าน การเจริญเติบโตและคุณภาพซาก แต่ถึงอย่างไรก็ตามอาหารที่มีคุณภาพอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้เพื่อการสร้างผลผลิตได้ จึงมีการนำจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์มาช่วยในการเพิ่มการให้ผลผลิต ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย เชื้อรา เป็นต้น Lesmeister et al. (2004) รายงานว่าเมื่อเสริมยีสต์ในโคเนื้อหรือสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ยังเล็กอยู่สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต (average daily gain; ADG), น้ำหนักสุดท้าย (final weight), ปริมาณการกินวัตถุดิบแห้งได้ (dry matter intake; DMI) และอัตราของอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (feed to gain ratio) เนื่องจากยีสต์เป็นแหล่งสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียที่ย่อยเยื่อใย อีกทั้งยีสต์สามารถใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ภายในกระเพาะรูเมนให้ต่ำลงส่งผลต่อสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนโดยเฉพาะกลุ่มแบคทีเรียย่อยเยื่อใย

(fibrolytic bacteria) (Polyorach et al., 2015) อีกทั้งผนังเซลล์ยีสต์มีวิตามินจาก cytosol, B-D-glucans และ mannoproteins ซึ่งเป็นสารอาหารให้กับจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน (สินีนานู และเมธา, 2558) ส่งผลต่อความสามารถในการย่อยได้โภชนะ เพิ่มปริมาณการกินได้และน้ำหนักตัว นอกจากนี้ Hamdon and Farhaly (2016) เมื่อเสริมยีสต์ (*S. cerevisiae*) ที่ระดับการเสริม 0, 0.5 และ 1% ในแพะเนื้อพบว่าไม่มีความแตกต่างของการเพิ่มน้ำหนักตัว (44.43, 44.51 และ 44.41 กก.) และการเจริญเติบโต/ตัว/วัน (117.6, 116.76 และ 114.66 กรัม ตามลำดับ) สอดคล้องกับการรายงานของ Ozsoy et al. (2013) เมื่อทำการเสริมยีสต์ที่ระดับการเสริม 1.5, 3.0 และ 4.5% ในแพะเนื้อพบว่าไม่ได้รับผลต่อน้ำหนักสุดท้าย (27.9 28.9 และ 29.8 กก.) อีกทั้งจากการรายงานของ วรธนา และคณะ (2558) ศึกษาการเจริญเติบโตของโคเนื้อภูพาน ที่เลี้ยงโดยใช้ถั่วท่าพระสโตโลหมักร่วมกับกากมันสำปะหลังที่เสริมและไม่เสริมยีสต์เป็นอาหารหยาบหลัก พบว่าอัตราการเจริญเติบโต (704.8 และ 746.0 กรัม/วัน) ปริมาณการกินได้ (5.3 และ 5.1 กก.วัตถุแห้ง/วัน) เปอร์เซ็นต์ซากอ่อน (56.6 และ 54.7%) เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง (78.6 และ 78.2%) และ เกรตไขมันแทรก (3.0 และ 2.9) โดยทุกค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบของอาหารที่ให้กิน และค่า pH ซึ่งถั่วท่าพระสโตโล หมักมีค่า pH ต่ำอยู่ที่ 3.6 ซึ่งค่า pH ที่ความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยแป้ง (amylolytic bacteria) อยู่ในช่วง 5.2-6.0 และ pH ที่ความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเยื่อใย (cellulolytic bacteria) ในช่วง 6.2-6.8 หากสภาวะ pH ในกระเพาะรูเมนมีค่าต่ำกว่า 5.0 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะลดลง ส่งผลต่อการย่อยอาหาร และมีผลต่ออัตราการไหลผ่านของอาหารจากกระเพาะทำให้มีผลต่อการกินอาหาร

จากการศึกษาของ Nokkaew et al. 2019 ศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพซากของโคขุนที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จหมัก (fermented total mixed ration, FTMR) แบ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ได้เสริม (FTMR1), กลุ่มที่มีการเสริมด้วย *Lactobacillus plantarum* ที่ระดับ 1×10^5 cfu/g (FTMR2) กลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จหมักที่เสริม *S. cerevisiae* ที่ระดับ 1×10^5 cfu/g (FTMR3) และกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จหมักที่เสริม *L. plantarum* ร่วมกับ *S. cerevisiae* (FTMR4) พบว่าซากของโคที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จหมัก ในกลุ่ม FTMR2, FTMR3 และ FTMR4 มีความหนาไขมันสันหลังต่ำกว่ากลุ่มควบคุมเท่ากับ 0.50, 0.48, 0.48 และ 0.53 ซม. อย่างไรก็ตามพบว่า เปอร์เซ็นต์ซากอ่อน ไขมันแทรก และคุณภาพของเนื้อสันนอกไม่แตกต่างกัน ตามลำดับ นอกจากนี้ Alexis et al. (2018) ทำการศึกษาผลการเสริมจุลินทรีย์ในอาหารทดลองคือ *E. faecium*, *L. acidophilus*, *L. casei*, *L. plantarum* โดยแบ่งโคเนื้อออกเป็น 3 กลุ่ม 1) ลูกโคหย่านมตัวอายุ 7-10 เดือน 2) โคเพศเมียอายุมากกว่า 1 ปี และ 3) ลูกโคอายุ 3-4 เดือน โดยมีปริมาตรนม 2 กลุ่ม กลุ่มแรกควบคุมการให้อาหารโดยไม่เสริมจุลินทรีย์ และกลุ่มสองเสริมจุลินทรีย์ในอาหาร 10 กรัม/ตัว/วัน พบว่ากลุ่มที่ 1 หลังจากรับอาหารเสริมจุลินทรีย์ในอาหาร 10 กรัม/ตัว/วัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ลูกโคเนื้อหย่านมมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตและอาหารต่อน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเท่ากับ 29.96 ± 3.40 กก. 1.39 ± 0.13 และ 0.31 ± 0.03 กก./วัน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ สุปรินา และคณะ (2562) ใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วย *A. oryzae* และ *S. cerevisiae* เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ DMI (kg/d) และ CPI (g/d) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอาจเพราะระดับการใช้กากมันสำปะหลังหมักทุกสูตรไม่มีผลทำให้มีระดับของเยื่อใยเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยปกติแล้วเยื่อใยจากอาหารที่สัตว์กินเข้าไปอาจจะมีผลทำให้การย่อยได้ลดลงและส่งผลทำให้ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งอาหารหยาบลดลงอีกด้วย

สรุป

จากการศึกษาทางวิจัยข้างต้นการใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มศักยภาพการให้ผลผลิตในสัตว์เคี้ยวเอื้องสรุปได้ว่า จุลินทรีย์สามารถเพิ่มคุณภาพโภชนะของอาหารซึ่งส่วนใหญ่เป็นเศษเหลือจากวัสดุทางการเกษตร ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในสัตว์ได้เป็นอย่างดี โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่เพิ่มแหล่งของโปรตีนที่สำคัญ ยีสต์ *S. cerevisiae* เชื้อรา *R. oryzae*, *A. niger* และแบคทีเรีย *L. delbrueckii*, *Bacillus* spp. และจุลินทรีย์ที่ช่วยลดเยื่อใยประกอบด้วยเชื้อราที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลส เช่น *T. harzianum* กลุ่มที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลส เช่น *R. oryzae* นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังช่วยเพิ่มกระบวนการหมักย่อยอาหาร รักษาระดับความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม โดยส่งผลต่อการกระตุ้นแบคทีเรียที่มีหน้าที่ย่อยเยื่อใย เพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้และการกินได้ของโภชนะ ส่งผลต่อการเพิ่มศักยภาพในการให้ผลผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งเพิ่มผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม อีกทั้งเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และคุณภาพเนื้อของโค

ขุน ทั้งนี้การเสริมด้วยจุลินทรีย์รวมอาจให้ผลที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์หรือส่วนผสมของสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ร่วมกัน ปริมาณที่นำมาใช้ รวมไปถึงอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ มากไปกว่านั้นหากจำเป็นที่จะต้องใช้จุลินทรีย์รวมได้อย่างมีประสิทธิภาพต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบของการใช้จุลินทรีย์และการใช้ร่วมกับวัตถุดิบอาหารเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มศักยภาพของอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำขอบคุณ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทีมพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ภายใต้สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) รหัสผู้ได้รับทุน MSD60I0059 และภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

- กานตกานท์ เทพณรงค์. 2557. ประสิทธิภาพการใช้น้ำหมักชีวภาพและอีเอ็มบอลในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์ น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริ ญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- จันทนา พันธุ์ประดิษฐ์. 2558. คุณภาพปุ๋ยหมักชนิดของจุลินทรีย์ต่อปุ๋ยหมักใบไม้จากโรงพยาบาลธรรมศาสตร์ที่หมักด้วยจุลินทรีย์. โครงการวิจัยเพื่อพัฒนางานของโรงพยาบาลธรรมศาสตร์ เฉลิมพระเกียรติ. กรุงเทพฯ: โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ.
- โชค ไสร์จกุล. 2556. การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เพิ่มคุณค่าทางโภชนาวัตุดิบอาหารสัตว์เพื่อเลี้ยงโคขุนคุณภาพ. สาขาสัตวศาสตร์ และสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเกษตรศาสตร์ และทรัพยากรธรรมชาติ.
- ณรงมล เล่าห์รอดพันธ์, ประวิทย์ ห่านใต้, ทศพร อินเจริญ, บุญชริกา ปลั่งสูงเนิน, เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ และ วิรัตน์ นาคเยี่ยม. 2562. การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวด้วยหัวเชื้อพ.ด.1 และหัวเชื้ออีเอ็มต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในหลอดทดลอง. แก่นเกษตร. 47(ฉบับพิเศษ 2): 777-782.
- นุสริน เส้นหละ. 2560. ผลของการให้อาหารในรูเมนแบบแห้งเสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 34: 1-10.
- พิมพ์ชนา วงศ์พิศาล, พรศิลป์ สีเผือก, ชัยสิทธิ์ ปรีชา และวุฒิชัย สีเผือก. 2559. การคัดเลือกเชื้อราที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซแลนเนสจากซากใบปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.). แก่นเกษตร. 44(1): 948-952.
- มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี, จิรัฏฐวัฒน์ ศรีอ่อนเลิศ, วุฒิกกร สระแก้ว และ วรางคณา กิจพิพิธ. 2557. การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาของกากปาล์มน้ำมันรวมโดยใช้ยีสต์และบาซิลลัสซับติลิสเพื่อเป็นแหล่งอาหารโปรตีนสำหรับสัตว์. แก่นเกษตร. 42: 354-357.
- เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- วาสนา ศิริแสน, วิโรจน์ ภัทรจินดา, คณิต วิชิตพันธุ์ และรัตนภรณ์ ลีสิงห์. 2556. ผลของการเสริมยีสต์ต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตในโคนม. แก่นเกษตร. 41(1): 105-109.
- วาสนา ศิริแสน และกิตติ วิรุณพันธุ์. 2557. กลยุทธ์การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาของเศษเหลือทางการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรมด้วยจุลินทรีย์โปรไบโอติก เพื่อเป็นอาหารสัตว์. การเกษตรราชภัฏ. 13: 1-10.
- วิโรจน์ ภัทรจินดา. 2560. TMR เพิ่มคุณภาพน้ำนม. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- วรรณภา อ่างทอง, โสภณ ชินเวโรจน์ และ ศุภกิจ สุนาโท. 2558. สมรรถนะการเจริญเติบโตของโคเนื้อภูพาน ที่เลี้ยงขุนโดยใช้ถั่วทำพระสไตโลหมักร่วมกับกากมันสำปะหลัง ที่เติมและไม่เติมยีสต์เป็นอาหารหยาดหลัก. ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์, ขอนแก่น.
- สินีนานู พลโยราช และเมธา วรรณพัฒน์. 2558. ศักยภาพในการใช้ยีสต์เป็นแหล่งโปรไบโอติก. แก่นเกษตร. 43: 191-206.
- สุปรีณา ศรีใสคำ, ปิตุณา หนูเสน และ พิพัฒน์ เหลืองลาวัญญ์ 2562. ผลการใช้กากมันสำปะหลังหมักในอาหารโคเนื้อ ต่อการกินได้และการย่อยได้ของโภชนา. แก่นเกษตร. 47: 771-776.

- สัญญา นารีแพงสี ศิริลักษณ์ วงศ์พิเชษฐ์ และเลอชาติ บุญเอก. 2556. การจัดการอาหารที่มีผลต่อองค์ประกอบน้ำนมของสมาชิกสหกรณ์โคนมไทยมิลค์จำกัด อำเภอมวกเหล็กจังหวัดสระบุรี. ใน: การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4.
- อนุสรณ์ เขตทอง. 2555. แนวทางปัจจุบันสำหรับการลดการผลิตแก๊สเมเทนจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง. วารสารแก่นเกษตร. 40: 93-106.
- Alexis, J.K., and D.C. Jessica. 2018. Effects of dietary probiotics on beef cattle performance and stress. *Journal of Veterinary Behavior*. 27: 8-14.
- Anantasook, N., M. Wanapat, P. Gunun, A. Cherdthong, and W. Kaewwongsa. 2014. Effect of sugarcane bagasse treatment on gas production and ruminal degradability by using *in vitro* gas production technique. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 42(4): 35-40.
- Asanuma, N., and T. Hino. 2004. Prevention of rumen acidosis and suppression of ruminal methanogenesis by augmentation of lactate utilization. *Nihon Chikusan Gakkaiho*. 75: 543-550.
- Brossard, L., F. Chaucheyras-Durand, B. Michalet-Doreau, and C. Martin. 2006. Dose effect of live yeasts on rumen microbial communities and fermentations during butyric latent acidosis in sheep: new type of interaction. *Journal of Animal Science*. 82: 829-836.
- Chaji, M., T. Mohammadabadi, and A. Aghaei. 2010. The effect of different methods of processing on nutritive value and degradation of rice straw by rumen mixed bacteria. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 15: 2004-2007.
- Chen, X., W. Li, C. Gao, X. Zhang, B. Weng, and Y. Cai. 2017. Silage preparation and fermentation quality of kudzu, sugarcane top and their mixture treated with lactic acid bacteria, molasses and cellulase. *Animal Science Journal*. 88: 1715-21.
- Cherdthong, A., P. Sumadong, S. Foiklang, N. Milintawisamai, M. Wanapat, P. Chanjula, N. Gunun, and P. Gunun. 2019. Effect of post-fermentative yeast biomass as a substitute for soybean meal on feed utilization and rumen ecology in Thai native beef cattle. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 28: 238-243.
- Choi, Y., J. Rim, H. Lee, H. Kwon, Y. Na, and S. Lee. 2019. Effect of fermented spent instant coffee grounds on milk productivity and blood profiles of lactating dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 32: 1007-1014.
- Chung, Y.H., N. Walker, S. McGinn, and K. Beauchemin. 2011. Differing effects of 2 active dried yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) strains on ruminal acidosis and methane production in non-lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 94: 2431-2439.
- Dias, A.L., J. A. Freitas, B. Micai, R.A. Azevedo, L.F. Greco, and J.E.P. Santos. 2018. 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.
- Doto, S.P., J.X. Liu, and J.K. Wang. 2017. Effect of yeast culture and its combination with direct fed microbials on growth performance and rumen fermentation of weaned lambs. *Tanzania Journal of Agricultural Sciences*. 16: 56-61.
- Fatma, M. S., R. Salama, A. E. Khattab, S. M. Soliman and Y. A. El-Nomeary. 2011. Chemical, biological, and biochemical treatments to improve the nutritive values of sugarcane bagasse (SCB): 1- Chemical

- composition, scanning electron microscopy, *In Vitro* evaluation, nutrients digestibility and nitrogen utilization of untreated or treated SCB. *Life Science Journal*. 8(4): 351-363.
- Foiklang, S., P. Upama, W. Kolyanee, R. Japanya, P. Ounpon, K. Pengsiri, M. Wanapat, and S. Yammuenart. 2017. *In vitro* gas kinetics and digestibility as influenced by yeast media solution ratios and physical forms of rice straw. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 45: 74-79.
- Francia, D.A., F. Masucci, G. De Rosa, M.L. Varricchio, and V. Proto. 2008. Effect of *Aspergillus oryzae* extract and a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on intake, body weight gain and digestibility in buffalo calves. *Animal Feed Science and Technology*. 140: 67-77.
- Hamdon, H.A., and M.M. Farghaly. 2016. Improving growth performance and carcass characteristics of lambs as a result caring management via dietary yeast supplementation. *Egyptian Journal of Animal Production*. 53(2): 103-110.
- Jeyanathan, J., C. Martin, and D. P. Morgavi. 2016. Screening of bacterial direct fed microbials for their antimethanogenic potential *in vitro* and assessment of their effect on ruminal fermentation and microbial profiles in sheep¹. *Journal of Animal Science*. 10.2527: 2015-9682.
- Jeyanathan, J., C. Martin, M. Eugène, A. Ferlay, M. Popova, and D.P. Morgavi. 2019. Bacterial direct fed microbials fail to reduce methane emissions in primiparous lactating dairy cows. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 10: 41.
- Jiang, Y., I. Ogunade, K. Arriola, M. Qi, and D. Vyas. 2017. Effects of the dose and viability of *Saccharomyces cerevisiae*. 2. Ruminal fermentation, performance of lactating dairy cows, and correlations between ruminal bacteria abundance and performance measures. *Journal of Dairy Science*. 100(10): 8102-8118.
- Kafilzadeh, F., S. Payandeh, P. Gómez-Cortés, D. Ghadimi, A. Schiavone, and A.L. Martínez Marín. 2019. Effects of probiotic supplementation on milk production, blood metabolite profile and enzyme activities of ewes during lactation. *Italian Journal of Animal Science*. 18: 134-139.
- Kamra, D.N. 2005. Rumen microbial ecosystem. *Current Science*. 89: 124-135.
- Kwak, W.S., Y.I. Kim, D.Y. Choi, and Y.H. Lee. 2016. Effect of feeding mixed microbial culture fortified with trace minerals on ruminal fermentation, nutrient digestibility, nitrogen, and trace mineral balance in sheep. *Journal of Animal Science and Technology*. 58: 21.
- Lesmeister, K.E., A.J. Heinrichs, and M.T. Gabler. 2004. Effects of supplemental yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) culture on rumen development, growth characteristics, and blood parameters in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 87: 1832-1839.
- Mir, Z., and P.S. Mir. 2010. Effect of the addition of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth and carcass quality of steers fed high-forage or high-grain diets and on feed digestibility and *In situ* degradability. *Journal of Animal Science*. 72: 537-545.
- Nokkaew, T., N. Chauyuchwong, and R. Chauyuchwong, 2019. Growth performance and carcass quality of fattening cattle received fermented total mixed ration supplemented with *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 47: 165-200.
- Oboh, G., and A. A. Akindahunsi. 2003. Biochemical changes in cassava products (flour & gari) subjected to *Saccharomyces cerevisiae* solid media fermentation. *Food Chemistry* 82: 599-602.

- Oboh, G. 2006. Nutrient enrichment of cassava peels using a mixed culture *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus* spp. solid media fermentation techniques. *Electronic Journal of Biotechnology*. 9(1): 46-49.
- Okpako, C. E., V. O. Ntui, A. N. Osuagwu, and F. I. Obasi. 2008. Proximate composition and cyanide content of cassava peels fermented with *Aspergillus niger* and *Lactobacillus rhamnosu*. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 6: 251-255.
- Opatpatanakit, Y., V. Yooboon, and S. Foiklang. 2016. Effect of fresh corn stover fermented with various additives on chemical composition and degradability using nylon bag technique. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 44: 107-116.
- Ozsoy, B., S. Yalçın, Z. Erdoğan, Z. Cantekin, and T. Aksu. 2013. Effects of dietary live yeast culture on fattening performance on some blood and rumen fluid parameters in goats. *Revue de Médecine Vétérinaire*. 164(5): 263-271.
- Piamphon, N., C. Wachirapakorn, P. Pornsopin, P. Sotawong, and P. Gunun, 2014. Feed intake, digestibility and blood parameters as influenced by *Aspergillus niger*, or *Saccharomyces cerevisiae* fermented Napier grass (*Pennisetum purpureum*) mixed with fresh cassava root in beef cattle. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 42: 54-60.
- Polyorach, S., O. Pongchompu, M. Wanapat, U. Supachat, O. Saihatwong, and G. chaiyayong. 2014a. The improving of soybean meal nutritive value by using yeast and lactic acid bacteria in raw milk. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 42: 362-358.
- Polyorach, S., M. Wanapat, and A. Cherdthong. 2014b. Influence of yeast fermented cassava chip protein (YEFECAP) and roughage to concentrate ratio on ruminal fermentation and microorganisms using *in vitro* gas production technique. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 27: 36-45.
- Polyorach, S., M. Wanapat, K. Phesatcha, and S. Kang. 2015. Effect of different levels of mangosteen peel powder supplement on the performance of dairy cows fed concentrate containing yeast fermented cassava chip protein. *Tropical Animal Health and Production*. 47: 1473–1480
- Polyorach, S., M. Wanapat, O. Pongchompu, C. Promkot, P. Gunun, S. Kang, A. Cherdthong, N. Gunun, and C. Mapato. 2017a. Effect of microflora-treated rice straw on rumen fermentation and digestibility using *in vitro* gas production technique. *Proceedings of the 2nd International Conference on Animal Nutrition and Environment (ANI-NUE2017)*. 1-0088: 578-583.
- Polyorach, S., M. Wanapat, O. Pongchompu, S. Kang, A. Cherdthong, P. Gunun, and N. Gunun. 2017b. The used of microorganism to improve nutritional value of cassava products on chemical composition and digestibility using *in vitro* gas production technique. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 45: 535-542.
- Polyorach, S., M. Wanapat, O. Pongchompu, A. Cherdthong, P. Gunun, N. Gunun, and S. Kang. 2018. Effect of fermentation using different microorganisms on nutritive values of fresh and dry cassava root. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*. 13(2): 1-8.
- Qiao, G. H., A.S. Shan, N.Q. Ma, Q. Ma, and Z.W. Sun. 2009. Effect of supplemental bacillus cultures on rumen fermentation and milk yield in Chinese Holstein cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 94: 429-436.

- Raeth-Knight, M.L., J.G. Linn, and H. Jung. 2007. Effect of direct fed microbials on performance, diet digestibility, and rumen characteristics of Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 90: 1802-1809.
- Roper, M. M., and J. K. Ladha. 1995. Biological N₂ fixation by heterotrophic and phototrophic bacteria in association with straw. *Plant Soil*. 174: 211-224.
- Rossi, F., A.D. Luccia, D. Vincenti, and P.S. Cocconcelli. 2004. Effects of peptide fractions from *Saccharomyces cerevisiae* culture on growth and metabolism of the ruminal bacteria *Megasphaera elsdenii*. *Animal Research*. 53: 177-186.
- Samsudin, A.A, M.F. Masori, and A. Ibrahim. 2013. The effects of effective microorganisms (EM) on the nutritive values of fungal-treated rice straw. *Malaysian Journal of Animal Science*. 16: 97-105.
- Stein, D.R., D.T. Allen, E.B. Perry, J.C. Bruner, K.W. Gates, T.G. Rehberger, K. Mertz, D. Jones, and L.J. Spicer. 2006. Effects of feeding *Propionibacterium* to dairy cows on milk yield, milk components, and reproduction. *Journal of Dairy Science*. 89: 111-125.
- Syomiti, M., M. Wanyoike, R.G., Wahome and J.K.N. Kuria. 2010. *In sacco* probiotic properties of Effective Microorganisms (EM) in forage degradability. *Livestock Research for Rural Develop*. 22: 1.
- Wanapat, M., S. Polyorach, V. Chanthakhoun, and N. Sornsongnern. 2011. Yeast-fermented cassava chip protein (YEFECAP) concentrate for lactating dairy cows fed on urea–lime treated rice straw. *Livestock Science*. 139: 258-263.
- Weiss, W.P., D.J. Wyatt, and T. R. Mckelvey. 2008. Effect of feeding propionibacteria on milk production by early lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 91(2): 646-652.
- Xu, H., W. Huang, Q. Hou, L. Kwok, A. Sun, and H. Ma. 2017. The effects of probiotics administration on the milk production, milk components and fecal bacteria microbiota of dairy cows. *Science Bulletin*. 62: 767–774.
- Zaleska, B., S. Milewski, and K. Zabek. 2015. Impact of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on reproductive performance, milk yield in ewes and offspring growth. *Archives Animal Breeding*. 58: 79–83.
- Zaworski, E. M., C. M. Shriver-Munsch, N. A. Fadden, W. K. Sanchez, I. Yoon, and G. Bobe. 2014. Effects of feeding various dosages of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 97: 3081–3098.
- Zhao, J., D. Zhihao, L. Junfeng, C. Lei, B. Yunfeng, J. Yushan, and S. Tao. 2019. Effects of lactic acid bacteria and molasses on fermentation dynamics, structural and nonstructural carbohydrate composition, and *in vitro* ruminal fermentation of rice straw silage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 32: 783-791.
- Zicarellia, F., L. Addia, R. Tudiscoa, S. Calabròa, P. Lombardia, M.I. Cutrignellia, G. Moniello, M. Grossia, B. Tozzic, N. Muscoa, and F. Infascelli. 2016. The influence of diet supplementation with *Saccharomyces cerevisiae* or *Saccharomyces cerevisiae* plus *Aspergillus oryzae* on milk yield of Cilentana grazing dairy goats. *Small Ruminant Research*. 135: 90–94.