

การปรับปรุงคุณภาพของกากถั่วเหลืองเปียกจากโรงงานเต้าหู้ด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* ต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊สในหลอดทดลอง

Improving of wet soybean waste quality from tofu factory by *Saccharomyces cerevisiae* culture on *in vitro* gas production kinetics

ศรัญญา ม่วงทิพย์มัลย์¹, สุบรรณ ฝอยกลาง^{1*}, อนุสรณ์ เชิดทอง², จุฬากร ปานะถึก¹,
และ จุฑารักษ์ กิตยานุภาพ¹

Saranya Maungthipmalai¹, Suban Foiklang^{1*}, Anusorn Cherdthong², Julakorn Panatuk¹
and Jutharak Gitiyanuphap¹

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ยีสต์หมักกากถั่วเหลืองเปียกจากโรงงานเต้าหู้ต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊ส ความสามารถในการย่อยได้และจำนวนประชากรจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิคแก๊สในหลอดทดลอง โดยแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 กากถั่วเหลืองเปียกไม่หมักยีสต์ กลุ่มที่ 2 กากถั่วเหลืองเปียกหมักด้วยสารละลายยีสต์ (กากถั่วเหลืองเปียก: สารละลายยีสต์สัดส่วน 1: 0.1; wt/v) ผลการทดลองพบว่า กากถั่วเหลืองเปียกหมักด้วยสารละลายยีสต์ มีผลต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊ส และปริมาณแก๊สสะสมเพิ่มขึ้นที่ 96 ชั่วโมงหลังการบ่ม ($P<0.01$) การย่อยได้ในหลอดทดลองในกลุ่มกากถั่วเหลืองเปียกหมักด้วยสารละลายยีสต์มีค่าสูงกว่า ($P<0.05$) กลุ่มที่ไม่หมักยีสต์ นอกจากนี้ จำนวนประชากรแบคทีเรีย และความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ในกลุ่มกากถั่วเหลืองเปียกหมักด้วยยีสต์มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมเช่นกัน ($P<0.05$) จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า กากถั่วเหลืองเปียกหมักด้วยสารละลายยีสต์ในสัดส่วน 1: 0.1 (wt/v) สามารถช่วยปรับปรุงการผลิตแก๊สในหลอดทดลอง การย่อยได้ และประชากรแบคทีเรีย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ยีสต์หมักกากถั่วเหลืองเปียกมีศักยภาพในการใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงควรมีการวิจัยเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะงานวิจัยในสัตว์ตัวในอนาคต

คำสำคัญ: กากถั่วเหลืองเปียก, สารละลายยีสต์, การย่อยได้ในหลอดทดลอง, จุลินทรีย์, เทคนิคแก๊สในหลอดทดลอง

ABSTRACT: The current study aimed to investigate the effect of using yeast culture fermented wet soybean waste from Tofu factory on gas production kinetics, *in vitro* digestibility and microbiomes using *in vitro* gas production technique. The two treatments consisted of T1: non-fermented wet soybean waste and T2: wet soybean waste fermented with yeast culture solution at the ratio 1:0.1 (wt/v). Results revealed that wet soybean waste fermented with yeast culture solution increased gas production kinetics and cumulative gas production (96h) ($P<0.01$). *In vitro* digestibility of wet soybean waste fermented with yeast culture solution higher than control group ($P<0.05$). Moreover, bacterial population and $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration of wet soybean waste fermented with yeast culture solution group found higher than the control group ($P<0.05$). Based on these results,

¹ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรอาหารสัตว์เขตร้อน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Tropical Feed Resources Research and Development Center (TROFREC) Faculty of Agriculture,
KhonKaen University

* Corresponding author: bungung@hotmail.com

it could be summarized that wet soybean waste fermented with yeast culture solution at the ratio 1:0.1 (wt/v) could improve *in vitro* gas production, digestibility and bacterial population. These results have shown the efficiency of using wet soybean waste fermented with yeast culture solution as ruminant feed, therefore it should be moved forwards to future *in vivo* trials.

Keywords: wet soybean waste, yeast culture solution, *in vitro* digestibility, microbiomes, *in vitro* gas production technique

บทนำ

กากถั่วเหลืองเปียกเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเต้าหู้ ซึ่งในประเทศไทยมีแหล่งที่ปลูกถั่วเหลืองกระจายอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะในเขตภาคเหนือ การนำกากถั่วเหลืองเปียกมาใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องจะช่วยให้ลดต้นทุนการผลิตลงได้ กากถั่วเหลืองที่ถูกบีบน้ำออกนั้นถือว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ดีอีกทางหนึ่ง การใช้เมล็ดถั่วเหลืองดิบหรือกากถั่วเหลืองเปียกดิบเลี้ยงสัตว์ จะทำให้สัตว์ได้รับประโยชน์จากโปรตีนไม่เต็มที่ มีการเจริญเติบโตต่ำหรือชงักการเจริญเติบโต เพราะเมล็ดถั่วเหลืองดิบมีสารยับยั้งการใช้ประโยชน์จากโปรตีน (Trypsin Inhibitor) นอกจากนี้ ยังมีเอนไซม์ยูรีเอส (Urease enzyme) ซึ่งจะย่อยโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองให้สลายไปเรื่อยๆ ทำให้ปริมาณ และคุณภาพของโปรตีนลดลงในขณะที่ยังรักษาไว้ แต่สารทั้ง 2 ชนิดนี้ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน ดังนั้น ในการนำเมล็ดถั่วเหลืองไปเลี้ยงสัตว์ จึงควรนำไปทำให้สุกหรือผ่านความร้อนเสียก่อน เพื่อเป็นการลดปริมาณสาร Trypsin Inhibitor และเอนไซม์ยูรีเอส นอกจากการทำให้สุกโดยใช้ความร้อน การหมักด้วยสารเสริมหรือจุลินทรีย์ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองเปียกได้ เช่น การหมักกากน้ำตาล การหมักด้วยจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก หรือแม้กระทั่งการหมักด้วยยีสต์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยกากถั่วเหลืองเปียกมีคุณค่าทางโภชนาที่ต่ำ ดังนั้นการปรับปรุงโดยการหมักด้วยสารเสริมหรือจุลินทรีย์ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองเปียกได้ เช่น จากการศึกษาการผลิต Single cell protein จากเปลือกสับปะรดหมักด้วยยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) และบาซิลลัส ซับติลิส (*Bacillus subtilis*) ที่ระยะเวลา 0,

15, 30 และ 45 วัน สามารถสรุปได้ว่า จะต้องทำการหมักเปลือกสับปะรดด้วยเชื้อผสมระหว่างยีสต์และบาซิลลัส ซับติลิส โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนจาก 3.72 เปอร์เซ็นต์เป็น 10.80 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าการย่อยโปรตีนได้ด้วยเอนไซม์เปปซินที่ 61.99 เปอร์เซ็นต์ (มนัสนันท์ และคณะ, 2556) และเนื่องจากการนำมาหมักด้วยยีสต์ซึ่งถือเป็นโปรตีนเซลล์เดียวที่กำลังได้รับความนิยมในมาจากการนำมาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาของเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาและเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของกากถั่วเหลืองเปียกในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยใช้เทคนิคแก๊สในหลอดทดลอง

วิธีการศึกษา

งานทดลองนี้แบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 กากถั่วเหลืองเปียกไม่หมักยีสต์ และกลุ่มที่ 2 กากถั่วเหลืองเปียกหมักด้วยสารละลายยีสต์ในอัตราส่วน 1:0.1 (wt/v) โดยการเตรียมสารละลายในการหมักได้ทำการดัดแปลงวิธีการจาก Polyorach et al. (2013) ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังนี้

1. เตรียมสารละลาย A โดยใช้ยีสต์ขนมปังทางการค้า Bakers' yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) ปริมาณ 20 กรัม และน้ำตาลทรายขาว 20 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2. เตรียมสารละลาย B โดยใช้กากน้ำตาล 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตรตามด้วยไฮยูเรีย 80 กรัม แล้วทำการปรับค่าความเป็นกรดต่างให้อยู่ระหว่าง 4-5 โดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

3. ทำการผสมสารละลาย A และ B เข้าด้วยกันในอัตรา 1:1 ในถัง และทำการเติมอากาศในถังผสมโดยใช้ปั๊มตลอดเวลา แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมงจึงจะได้สารละลายยีสต์ (yeast culture solution)

จากนั้นนำกากถั่วเหลืองเปียกหมักกับสารละลายยีสต์มาหมักในกลุ่มที่ 2 ในสัดส่วน 1:0.1 (Wt/V) โดยการหมักแบบแห้ง (Solid state fermentation) แล้วนำตัวอย่างกากถั่วเหลืองเปียกทั้งกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ไปผึ่งในร่มเป็นเวลา 1 วัน แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12-24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างที่ผ่านการอบมาชั่งน้ำหนักแล้วนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของกากถั่วเหลืองเปียกทั้งสองกลุ่ม เพื่อทำการทดลองในหลอดทดลอง โดยใช้เป็นอาหารทดลองในปริมาณ 0.2 กรัม และใช้ฟางบด 0.3 กรัม (รวมเป็น 0.5 กรัม)

ทำการศึกษาในหลอดทดลอง ตามวิธีการของ Menke et al. (1979) โดยทำการวัดผลผลิตแก๊สในชั่วโมงที่ 0, 1.5, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72 และ 96 หลังจากการบ่มตามวิธีการของ Foiklang et al. (2016) และใช้สมการของ Ørskov and McDonald (1979) ในการหาค่าจุลินทรีย์การผลิตแก๊สในหลอดทดลอง ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาของอาหารทดลองตามวิธีมาตรฐานของ (AOAC, 1995) ในชั่วโมงที่ 0, 2, 4 และ 6 หลังการบ่ม ทำการเก็บตัวอย่างน้ำรูเมนในขวดทดลองและวัดค่าความเป็นกรดต่าง แล้วทำการปั่นเหวี่ยงที่ $16,000 \times g$ เป็นเวลา 10 นาที แล้วเก็บน้ำส่วนที่ใสปริมาตร 10 มิลลิตร มาวิเคราะห์หาแอมโมเนียไนโตรเจน โดยใช้วิธี micro-Kjeldahl (AOAC 1995) ในชั่วโมงที่ 4 หลังจากการบ่ม ทำการเก็บน้ำรูเมนเพื่อนำมานับเชื้อแบคทีเรีย โปรโตซัว และยูโอสปอร์ของเชื้อรา ด้วยเทคนิค total direct counts ตามวิธีของ Galyean (1989) ส่วนในชั่วโมงที่ 24 และ 48 หลังจากการบ่มทำการหาการย่อยได้ของ

วัตถุแห้ง (*in vitro* true dry matter digestibility: IVTDMD) ตามวิธีการของ Van Soest and Robertson (1985) นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ T-test (SAS, 1996).

ผลการศึกษาและวิจารณ์

Table 1 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในงานทดลอง ซึ่งพบว่า การเสริมสารละลายยีสต์สามารถเพิ่มโปรตีนหยาบในกากถั่วเหลืองเปียกจาก 18.1 เป็น 38.4% วัตถุแห้งนอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 กากถั่วเหลืองเปียกหมักด้วยสารละลายยีสต์ (YEWSW) มีค่าเยื่อใย NDF เท่ากับ 30.1% และ 14.3% และเยื่อใย ADF เท่ากับ 14.7% และ 8.3% ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่ม YEWSW มีค่า b, a+b สูงกว่า ส่วนค่า a และ c ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ สายสมร และฉลง (2560) ที่พบว่าการเสริมผนังเซลล์ยีสต์ในหลอดทดลองส่งผลต่อการลดลงของค่า a และ c นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตแก๊สสะสมชั่วโมงที่ 96 ของกลุ่ม YEWSW มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และค่าการย่อยได้ในชั่วโมงที่ 48 พบว่ากลุ่ม YEWSW มีค่าการย่อยได้สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่า กลุ่ม YEWSW มีจำนวนประชากรแบคทีเรีย และ $\text{NH}_3\text{-N}$ สูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) โดยมีค่า เท่ากับ 7.7×10^{11} cells/mL และ 18.3 mg/dL ตามลำดับอย่างไรก็ตาม Malekhi et al. (2016) ได้รายงานว่าการเสริมยีสต์แห้งที่ระดับ 10 กรัม/อาหาร 100 กิโลกรัม/ตัว/วัน ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงส่งผลให้ประชากรของจุลินทรีย์กลุ่ม *Fibrobacter succinogenes* และ *Megasphaera elsdenii* มีจำนวนเพิ่มขึ้น

Table 1 Chemical composition of yeast culture solution fermented wet soybean waste used in the experiment

Items	Control (wet soybean waste)	YEFSW ¹
Chemical composition		
Dry matter, %	20.6	11.2
	----- % of dry matter -----	
Organic matter	96.5	95.4
Crude protein	18.1	38.4
Neutral detergent fiber	30.1	14.3
Acid detergent fiber	14.7	8.3

¹YEFSW = yeast culture solution fermented wet soybean waste

Table 2 Effect of yeast culture solution fermented wet soybean waste on gas kinetics, *in vitro* true dry matter digestibility, rumen micro biomes and fermentation

Items	Control	YEFSW ¹	SEM	Comparison
Gas Kinetics ²				
a	0.5	-3.5	0.29	*
b	94.8	142.3	4.57	**
c	0.057	0.035	0.002	*
a+b	94.3	138.8	4.31	**
Gas ³ (96 h) mL/0.5 g of substrate	98.1	133.4	3.56	**
IVTDM ⁴ , %				
24h of incubation	69	72	2.1	ns
48h of incubation	76	83	2.0	*
<i>In vitro</i> rumen microbiomes, cells/mL				
Bacteria, × 10 ¹¹	7.1	7.7	0.31	*
Protozoa, × 10 ⁶	5.1	5.2	0.38	ns
Fungal zoospores, × 10 ⁵	3.4	3.3	0.29	ns
pH	6.81	6.90	0.03	ns
NH ₃ -N, mg/dL	15.8	18.3	0.41	*

¹ YEFSW= yeast culture solution fermented wet soybean waste. ²a= 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. ³Cumulative gas after 96 hours of incubation time (mL/0.5 g of substrate). ⁴IVTDM = *in vitro* true dry matter digestibility. *P<0.05, **P< 0.01, ns = non-significant. SEM=standard error of the means.

Table 3 แสดงผลของการเสริมกากถั่วเหลือง เปียกหมักยีสต์ต่อปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total VFA) กรดอะซิติก (C2) กรดไพรูพิก (C3) กรดบิวทีริก (C4) และสัดส่วนระหว่างกรดอะซิติก: กรดไพรูพิก (C2: C3) ซึ่งพบว่า ความเข้มข้นของกรดอะซิติก และกรดบิวทีริก ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่กลุ่มที่เสริมกากถั่ว

เหลืองเปียกหมักด้วยสารละลายยีสต์ มีปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดสูงกว่ากลุ่มควบคุม (P<0.05) ในช่วงเวลาที่ 2, 4 และ 6 โดยมีค่าอยู่ที่ 97.1, 108.4 และ 133.1 mM/L ตามลำดับ ในขณะที่ กรดไพรูพิก กลุ่มที่เสริมกากถั่วเหลืองเปียกหมักด้วยสารละลายยีสต์ในช่วงเวลาที่ 2 และ 6 มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม (P<0.05) โดยมีค่าอยู่ที่ 25.6 และ 24.8 mol/100mol

ตามลำดับ และอัตราส่วน C3:C2 ที่ 2 และ 6 ชั่วโมงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.6 และ 2.8 mol/100mol ตามลำดับ

สอดคล้องกับการรายงานของ Polyorach et al. (2014) ที่พบว่า การเสริมยีสต์ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์กรดไขมันและกรดไขมันที่ระเหยได้รวม แตกต่างจากบางรายงานที่พบว่า การเลี้ยงเชื้อยีสต์ไม่มีผลต่อสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ (Guedes et al.,

2008) และมีบางรายงานพบว่า การเสริมยีสต์มีผลต่อการลดลงของกรดไขมันที่ระเหยได้รวม (Throne et al., 2009) ซึ่งอิทธิพลของยีสต์ต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหมักมีผลค่อนข้างหลากหลาย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างทางด้านสิ่งแวดล้อมในการทดลอง อย่างไรก็ตาม ผลของยีสต์ต่อผลผลิตในกระเพาะรูเมนยังต้องการการศึกษาค้นคว้าอย่างต่อเนื่องเพื่ออธิบายถึงกลไกในกระบวนการที่เกิดขึ้น

Table 3 Effect of yeast culture solution fermented wet soybean waste on volatile fatty acids proportion in various incubation times

Items	Control	YEFSW ¹	SEM	Comparison
Total VFA, mM/L				
0 h of incubation	59.7	65.5	2.90	ns
2 h of incubation	79.0	97.1	6.04	*
4 h of incubation	88.4	108.4	7.12	*
6 h of incubation	102.8	133.1	9.14	*
Acetic acid (C2), mol/100mol				
0 h of incubation	61.3	61.7	0.19	ns
2 h of incubation	67.6	66.1	0.74	ns
4 h of incubation	68.8	69.9	0.57	ns
6 h of incubation	69.5	69.2	0.19	ns
Propionic acid (C3), mol/100mol				
0 h of incubation	25.3	26.1	0.39	ns
2 h of incubation	22.2	25.6	0.68	*
4 h of incubation	22.1	22.7	0.26	ns
6 h of incubation	22.6	24.8	0.49	*
Butyric acid (C4), mol/100mol				
0 h of incubation	13.4	12.2	0.58	ns
2 h of incubation	10.1	8.3	0.94	ns
4 h of incubation	9.1	7.4	0.84	ns
6 h of incubation	7.9	6.1	0.90	ns
C2: C3 ration				
0 h of incubation	2.4	2.4	0.03	ns
2 h of incubation	3.0	2.6	0.13	*
4 h of incubation	3.1	3.1	0.01	ns
6 h of incubation	3.1	2.8	0.14	*

¹YEFSW = yeast culture solution fermented wet soybean waste.

* $P<0.05$, ** $P<0.01$, ns = non-significant. SEM=standard error of the means.

สรุป

จากการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนของสารละลายยีสต์ต่อกากถั่วเหลืองเปียกที่อัตรา 0.1:1 สามารถช่วยเพิ่มการผลิตแก๊สในหลอดทดลองเพิ่มการย่อยได้และกระบวนการหมักใน

กระเพาะรูเมนซึ่งงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ยีสต์หมักกากถั่วเหลืองเปียกมีศักยภาพและประสิทธิภาพในการใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องจึงควรมีการวิจัยเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะงานวิจัยในสัตว์ในอนาคต

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณทุนโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ปรินญาโท สัญญาเลขที่ MSD 6110077 ภายใต้สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในการสนับสนุนงบประมาณการทำวิจัย และขอขอบคุณฟาร์มโคนม-โคเนื้อ และห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ในการสนับสนุนวัสดุและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี, พรพรรณ แสนภูมิ, วรางคณา กิจพิพิธ และ กฤติยา เลิศชุมเหะเกียรติ. 2556. การศึกษาการผลิตโปรตีน เซลล์เดียวจากเปลือกสับปะรดโดยใช้ยีสต์และบราซิลชิปติลิสเพื่อพัฒนาเป็นอาหารสัตว์. แก่นเกษตร 41 ฉบับพิเศษ 1: หน้า 80-86
- สายสมร โพธิ์ระหงส์และ ฉลอง วชิราภกร. 2560. ผลของการเสริมผนังเซลล์ยีสต์ต่อผลผลิตแก๊สและการย่อยได้โดยใช้เทคนิคการวัดผลผลิตแก๊สในหลอดทดลอง. แก่นเกษตร 45 (ฉบับพิเศษ 1): 53-57.
- AOAC. 1995. Official Method of Analysis, 16th ed. Animal Feeds: Association of Official Analytical Chemists, VA, USA.
- 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. Anim. Sci. J. 87:370-377.
- Galyean, M. 1989. Laboratory Procedure in Animal Nutrition Research. Department of Animal and Life Science. New Mexico State University, USA.
- Guedes, C.M., D. Goncalves, M.A.M. Rodrigues, and Dias-da-Silva. 2008. Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* yeast on ruminal fermentation and fibre digestion on maize silages in cows. Anim. Feed Sci. and Technol. 145: 27-40.
- Malekkhahi M., A. M. Tahmasbia, A. A. Naserian, M. Danesh-Mesgaran, J.L. Kleen, O. Alzahal, and M.H. Ghaffari. 2016. Effects of supplementation of active dried yeast and malate during sub-acute ruminal acidosis on rumen fermentation, microbial population, selected blood metabolites, and milk production in dairy cows. Anim Feed Sci and Technol. 213: 29-43.
- 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 feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. J. Agric. Sci. (Camb.). 92:217-222.
- Ørskov, E.R., and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. 92:499-503.
- Polyorach, S., M. Wanapat, and A. Cherdthong. 2014. 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-Australas J. Anim. Sci.27:36-45
- Polyorach, S., M. Wanapat, and S. Wanapat. 2013. Enrichment of protein content in cassava (*Manihot esculenta Crantz*) by supplementing with yeast for use as animal feed. Emir. J. Food Agric. 25: 142-149.
- SAS, 1996. User's Guide: Statistics, Version 5th Edition. SAS. Inst, Inc., Cary, NC., U.S.A.
- Throne, M., A. Bach, M. Ruiz-Moreno, M.D. Stern, and J.G. Linn. 2009. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on ruminal pH and microbial fermentation in dairy cows Yeast supplementation on rumen fermentation. Livest. Sci. 124: 261-265.
- Van Soest, P. J., and J. B. Robertson. 1985. A Laboratory Manual for Animal Science. Cornell University Press, Ithaca, NY.