

คุณค่าทางโภชนาของกากนมถั่วเหลืองหมัก โดย *Aspergillus niger* เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ Nutritional Value of Fermented Soymilk Residue Using *Aspergillus niger* for Animal Feed

ณิฏฐา พิมพ์พา* และดร.ณิ ศรีชนะ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Nawinya pimpa* and Darunee srichana

Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Received: October 1, 2019; Accepted: October 16, 2019

บทคัดย่อ

กากนมถั่วเหลือง คือ วัสดุพลอยได้จากการผลิตนมถั่วเหลือง และกากนมถั่วเหลืองแห้งจัดเป็นแหล่งของโปรตีน พลังงาน และเยื่อใย ซึ่งหากมีการนำมาปรับปรุงค่าโภชนาอาจช่วยให้กากนมถั่วเหลืองมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์มากขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาและค่าการย่อยได้วัตถุดิบในกระเพาะรูเมนของกากนมถั่วเหลืองหมักร่วมกับรา *Aspergillus niger* TISTR3013 เป็นระยะเวลา 3, 5 และ 7 วัน ผลการศึกษาพบว่ากากนมถั่วเหลืองที่หมักกับรา *A. niger* TISTR3013 เป็นระยะเวลา 7 วัน มีค่าโปรตีนเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (33.48 เปอร์เซ็นต์ วัตถุแห้ง) ขณะที่ค่าวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ NDF, ADF และพลังงานรวมลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกากนมถั่วเหลืองที่หมักเป็นระยะเวลา 3 และ 5 วัน และกากนมถั่วเหลืองไม่ผ่านการหมัก ($p < 0.01$) อีกทั้งการหมักกากนมถั่วเหลืองร่วมกับ *A. niger* TISTR3013 ส่งผลให้ค่าการย่อยได้วัตถุดิบในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น โดยการหมักเป็นระยะเวลา 7 วัน ช่วยให้การย่อยได้วัตถุดิบในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (81.08 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่กากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมักมีค่าการย่อยได้วัตถุดิบในกระเพาะรูเมนต่ำสุด (56.23 เปอร์เซ็นต์) ($p < 0.01$) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการหมักกากนมถั่วเหลืองร่วมกับรา *A. niger* TISTR3013 ช่วยปรับปรุงให้กากนมถั่วเหลืองมีโปรตีนเพิ่มขึ้น ช่วยลดปริมาณ NDF และ ADF อีกทั้งยังช่วยเพิ่มค่าการย่อยได้วัตถุดิบในกระเพาะรูเมนอีกด้วย

คำสำคัญ : กากนมถั่วเหลือง; *Aspergillus niger*; คุณค่าทางโภชนา; รูเมน; การย่อยได้

Abstract

Soymilk residue is a by-product from soymilk production and dried soymilk residue is a source of protein, energy and fiber. Improving its nutritional value would make it more suitable for use as feed

stuff. Therefore, the objective of this study was to investigate the nutritional value and dry matter digestibility in rumen *in vitro* of fermented soymilk residue by *Aspergillus niger* TISTR3013 (FSR) for 3, 5 and 7 days. The results showed that crude protein was most increased (33.48 %DM) whereas dry matter, organic matter, NDF, ADF and gross energy were decreased for 7-day FSR when compared to those of 3-day FSR and 5-day FSR. Furthermore, dry matter digestibility in rumen was highest (81.08 %) for 7-day FSR and lowest for the non-fermented soymilk residue (56.23 %). The results from these experiments showed that fermentation of soymilk residue with *A. niger* TISTR3013 increased protein, decreased NDF, ADF and increased dry matter digestibility in rumen.

Keywords: soymilk residue; *Aspergillus niger*; nutritional value; rumen; digestibility

1. คำนำ

กากนมถั่วเหลือง คือ วัสดุพลอยได้จากการผลิตน้ำเต้าหู้และนมถั่วเหลือง ปัจจุบันความนิยมในการบริโภคนมถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของกากนมถั่วเหลืองจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตนมถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยมีรายงานว่าการใช้ถั่วเหลือง 100 กรัม เพื่อผลิตนมถั่วเหลืองจะได้กากนมถั่วเหลืองเป็นวัสดุพลอย 110 กรัมของน้ำหนักสด (ยุพร, 2550) โดยในกากถั่วเหลืองสดมีความชื้นสูงประมาณ 76-80 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่โปรตีนประมาณ 3.5-4 เปอร์เซ็นต์ และเน่าเสียง่าย ส่วนกากนมถั่วเหลืองแห้งจะมีโปรตีนประมาณ 29 เปอร์เซ็นต์ (กรมปศุสัตว์, 2559) และด้วยกากนมถั่วเหลืองเป็นวัสดุพลอยได้ที่มีสัดส่วนของกรดอะมิโนใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง อีกทั้งสารยับยั้งทริปซินในกากนมถั่วเหลืองได้ถูกทำลายไป เนื่องจากถั่วเหลืองผ่านกระบวนการต้มสุกก่อนจะนำมาแยกเอาส่วนของสารละลายออก และเหลือแต่ส่วนของกาก แต่มีโปรตีนต่ำกว่าและกากนมถั่วเหลืองมีเยื่อใยค่อนข้างสูง (12-22 เปอร์เซ็นต์) (กรมปศุสัตว์, 2559) จึงจำกัดการใช้ประโยชน์ได้ในสัตว์ ดังนั้นหากมีวิธีในการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมอาจช่วยลดต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์ได้

ปัจจุบันมีการนำจุลินทรีย์มาประยุกต์ใช้ในการหมักกับวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อปรับคุณค่าทางโภชนาการเพื่อนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ เราเป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการหมักแบบอาหารแข็ง (solid state fermentation) โดยมีรายงานการใช้ราในกลุ่ม *Aspergillus* เช่น *A. niger*, *A. oryzae* หมักร่วมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรพบว่าช่วยเพิ่มค่าโปรตีน ลดปริมาณไฟเตท และช่วยลดปริมาณเยื่อใย ส่งผลให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ดีขึ้น (อุษณีย์ภรณ์, 2550; สุภัตรา, 2556; Hamdy, 2013) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของกากนมถั่วเหลืองโดยหมักร่วมกับรา *A. niger* เพื่อนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์และเพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การวางแผนการทดลอง

โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ประกอบด้วย 4 ทรีทเมนต์ ได้แก่ กากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก (กลุ่มควบคุม) กากนมถั่วเหลืองหมักรา *A. niger* TISTR3013 เป็นระยะเวลา 3, 5 และ 7 วัน จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ตัวอย่าง

2.2 การเตรียมกากนมถั่วเหลือง

นำกากนมถั่วเหลืองสดจากบริษัท กรีนสปอต จำกัด มาตากแดดเพื่อลดความชื้น แล้วนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง จากนั้นนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และเก็บใส่ถุงเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุหมัก

2.3 การเตรียมรา *A. niger* TISTR3013

เลี้ยงรา *A. niger* TISTR3013 ที่ซื้อจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย บน potato dextrose agar บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เพื่อให้เกิดสปอร์ของรา ล้างสปอร์ออกจากจานเพาะเชื้อโดยใช้น้ำกลั่นผสม Tween ความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 20 มิลลิลิตรต่อจาน คนสารละลายสปอร์ให้เข้ากัน และตรวจนับสปอร์ ด้วยฮีมาไซโตมิเตอร์ (haemocytometer) โดยให้สารละลายสปอร์มีความเข้มข้น 10^8 สปอร์/มิลลิลิตร

2.4 การหมัก

ชั่งกากนมถั่วเหลืองแห้ง 25 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับความชื้นเริ่มต้นให้เป็น 55 เปอร์เซ็นต์ โดยการเติมน้ำกลั่น pH เริ่มต้น 7 (เป็นสภาวะที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอนไซม์แมนนาเนสของ *A. niger* TISTR3013) ปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยจุกผ้า และนำไปนิ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน รอให้วัสดุหมักเย็นจากนั้นเติมสารละลายสปอร์ 5 มิลลิลิตรต่อขวด หมักแบบใช้ออกซิเจนและบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในตู้บ่มแบบเขย่าแนวราบ (obital incubator) ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้

2.5 การศึกษาคุณค่าทางโภชนา

เมื่อครบระยะเวลาหมักให้นำกากนมถั่วเหลืองออกจากขวดรูปชมพู่ใส่ถาดและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างกากนมถั่วเหลืองหมักมาบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าโภชนา

ได้แก่ วัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และโปรตีนตามวิธีของ AOAC (1990) วิเคราะห์ค่า NDF และ ADF ตามวิธีของ Goering และ VanSoest (1970) และวิเคราะห์ค่าพลังงานโดยเครื่อง bomb calorimeter

2.6 การศึกษาค่าการย่อยได้ในกระเพาะรูเมน

ประเมินการย่อยได้ของโภชนาในกระเพาะรูเมนโดยวิธีการเพาะเลี้ยงแบบแบชคัลเจอร์ (batch culture) ตามวิธีของ Srichana และคณะ (2014) โดยนำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองเข้าอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำมาบดผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นชั่งตัวอย่างแห้งจำนวน 3 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำของเหลวจากกระเพาะรูเมนของโคนมเจาะกระเพาะในอัตรา 1:3 ในสภาพไร้ออกซิเจน และบ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในตู้บ่มแบบเขย่าแนวราบ แล้วจึงกรองตัวอย่างจากพลาสติก และนำไปวิเคราะห์ค่าวัตถุแห้ง เพื่อบำเหน็จค่าการย่อยได้วัตถุแห้ง

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 2004)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ค่าวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุ

ผลการศึกษาพบว่ากากนมถั่วเหลืองด้วยรา *A. niger* TISTR3013 เป็นระยะเวลา 3, 5 และ 7 วัน ส่งผลให้วัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุของกากนมถั่วเหลืองหมักลดลงตามระยะเวลาหมักที่เพิ่มขึ้น โดยกากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมักมีค่าวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด (97.63 และ

96.04 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง) ($p < 0.01$) ส่วนกากนมถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักมีค่าวัตถุแห้งอยู่ในช่วง 45.93-38.88 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าอินทรีย์วัตถุ 95.21-93.60 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับการศึกษาของ Chen และคณะ (2013) ที่รายงานว่าเมื่อหมักกากถั่วเหลืองด้วยรา *A. niger* เป็นระยะเวลา 5 วันขึ้นส่งผลให้ค่าวัตถุแห้งลดลง และยังพบว่าเมื่อหมักกากถั่วเหลืองเป็นระยะเวลา 6 วัน ส่งผลให้กากถั่วเหลืองสูญเสียวัตถุแห้งถึง 30

เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีการเพิ่มความชื้นซึ่งเป็นน้ำอิสระให้กับกากถั่วเหลือง และความชื้นที่เติมเข้าไปส่งผลให้พื้นผิวของวัสดุบวม เราจึงสามารถย่อยสลายสารอาหารในกากถั่วเหลือง เช่น สารอาหารที่เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน รวมถึงแร่ธาตุต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้วัสดุหมักสลายไป อีกทั้งยังส่งผลให้ค่าอินทรีย์วัตถุในกากถั่วเหลืองลดลง (Ramesh and Lonsane, 1990; Mukherjee *et al.*, 2004)

ตารางที่ 1 ค่าโภชนาของกากนมถั่วเหลืองหมักด้วย *A. niger* TISTR3013 และบ่มที่ระยะเวลาต่างกัน

ค่าโภชนา	พรีทเมนต์				P-value
	กลุ่มควบคุม	หมัก 3 วัน	หมัก 5 วัน	หมัก 7 วัน	
วัตถุแห้ง (%)	97.63±0.02 ^a	45.93 ±0.44 ^b	42.79±0.21 ^c	38.88±0.24 ^d	<0.0001
อินทรีย์วัตถุ (% ของวัตถุแห้ง)	96.04±0.02 ^a	95.21±0.13 ^b	94.84±0.07 ^c	93.60±0.02 ^d	<0.0001
โปรตีน (% ของวัตถุแห้ง)	29.63±0.29 ^c	28.45±0.08 ^d	30.58±0.13 ^b	33.48±0.37 ^a	<0.0001
NDF (% ของวัตถุแห้ง)	36.19±0.95 ^a	36.91±0.35 ^a	34.17±0.99 ^b	28.71±1.21 ^c	<0.0001
ADF (% ของวัตถุแห้ง)	23.42±0.79 ^a	24.44±0.74 ^a	24.50±0.92 ^a	16.78±0.14 ^b	<0.0001
พลังงาน (แคลต่อกรัม)	4,823.94±37.84 ^a	4,388.28±62.75 ^b	4,306.58±0.93 ^c	4,250.87±3.82 ^c	<0.0001

^{abcd} ค่าเฉลี่ยในแถวแนวนอนตามตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3.2 ค่าโปรตีน

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่ากากนมถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักร่วมกับ *A. niger* TISTR3013 เป็นระยะเวลา 5 และ 7 วัน มีค่าโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกากนมถั่วเหลืองที่หมักเป็นระยะเวลา 3 วัน และกากนมถั่วเหลืองไม่ผ่านกระบวนการหมัก โดยกากนมถั่วเหลืองที่หมักร่วมกับรา *A. niger* TISTR3013 เป็นระยะเวลา 7 วัน มีค่าโปรตีนเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (33.48 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง) และกากนมถั่วเหลืองที่หมักเป็นระยะเวลา 5 วัน มีค่าโปรตีน 30.58 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ส่วนกากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมักมีค่าโปรตีน 29.63 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ($p < 0.01$) ซึ่งการนำวัสดุเหลือใช้มาหมักจะช่วยให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จาก

วัตถุดิบได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้หมักจะเข้าไปย่อยสลายเยื่อใยและสารต้านโภชนา (Jia, 1999; Qiao *et al.*, 2008) ผลการศึกษานี้เป็นไปในแนวทางเดียวกับ Naing และคณะ (2019) ที่ศึกษาการหมักกากถั่วเหลืองกับ *A. niger* เป็นระยะเวลา 0, 3 และ 5 วัน พบว่าโปรตีนในกากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นสูงสุด (65.03 เปอร์เซ็นต์) เมื่อหมักกากถั่วเหลืองเป็นระยะเวลา 5 วัน ส่วนกากถั่วเหลืองหมัก 0 วัน มีค่าโปรตีนต่ำสุด (52.07 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากปริมาณโปรตีนจากเซลล์จุลินทรีย์ที่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ในระหว่างการหมัก (Belewu and Babalola, 2009) อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้พบว่ากากนมถั่วเหลืองที่หมักร่วมกับรา *A. niger* TISTR3013 เป็นระยะเวลา 3 วัน มีค่าโปรตีน

ต่ำสุด (28.45 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง) อาจเนื่องจากในช่วงแรกมีการย่อยสลายโปรตีนจากวัสดุหมักไปใช้เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและการผลิตเอนไซม์ต่าง ๆ (Akula and Golla, 2018)

3.3 ค่า NDF และ ADF

เมื่อหมักกากนมถั่วเหลืองร่วมกับรา *A. niger* TISTR3013 ที่ระยะเวลาหมักต่าง ๆ พบว่าการหมักเป็นระยะเวลา 7 วัน ส่งผลให้กากนมถั่วเหลืองมีค่า NDF และ ADF ลดลงต่ำที่สุด โดยมีค่า 28.71 และ 16.78 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง ขณะที่กากนมถั่วเหลืองที่หมักเป็นระยะเวลา 3 วัน และกากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักมีค่า NDF สูงที่สุด (36.91 และ 36.19 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง) รองลงมา คือ กากนมถั่วเหลืองที่หมักเป็นระยะเวลา 5 วัน โดยมีค่า NDF 34.17 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง ส่วนกากนมถั่วเหลืองที่หมักเป็นระยะเวลา 3-5 วัน และกากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักมีค่า ADF สูงที่สุด (23.42-24.50 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง) ($p < 0.01$) (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับ Safari และคณะ (2012) ที่ศึกษาการหมักกากคาโนลาด้วยรา *A. niger* ภายใต้ระบบการหมักแบบอาหารแข็ง พบว่ากากคาโนลาที่ผ่านการหมักมีค่าเยื่อใยรวม NDF และ ADF ลดลงจาก 5.10, 32.25 และ 28.85 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง เหลือ 3.33, 7.55 และ 9.76 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกากคาโนลาที่ไม่ผ่านการหมัก อีกทั้งยังสอดคล้องกับการรายงานของ Lawal และคณะ (2013) ที่พบว่ากากหมักวัสดุเหลือทิ้งจากการสีข้าวด้วย *A. niger* เป็นระยะเวลา 7 วัน ส่งผลให้ค่าเยื่อใย NDF และ ADF ลดลงจาก 15.89, 2.41 และ 6.13 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง เหลือ 10.82, 1.35 และ 4.24 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง ตามลำดับ โดยจุลินทรีย์บางชนิดรวมถึงราในกลุ่มของ *Aspergillus* หรือ *Rhizopus* มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์กลุ่มที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

(Matsuo, 1989a; Matsuo, 1989b; Moore *et al.*, 2007) ส่งผลให้ปริมาณของ NDF และ ADF ลดลงซึ่งสอดคล้องกับ Akula และ Golla (2018) ที่ศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากรา *A. niger* ภายใต้สภาวะการหมักแบบอาหารเหลว พบว่าราดังกล่าวสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ดีเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส และหมักเป็นระยะเวลา 7 วัน ซึ่งสภาวะดังกล่าวใกล้เคียงกับสภาวะที่ส่งผลให้ปริมาณของ NDF และ ADF ในการศึกษานี้ลดลงต่ำที่สุด

3.4 ค่าพลังงานรวม

ผลการศึกษาพบว่ากากนมถั่วเหลืองที่หมักร่วมกับรา *A. niger* TISTR3013 มีค่าพลังงานรวม (gross energy) ลดลงเมื่อระยะเวลาหมักเพิ่มขึ้น โดยการหมักเป็นระยะเวลา 5 และ 7 วัน ส่งผลให้กากนมถั่วเหลืองมีค่าพลังงานรวมต่ำสุด (4,306.58 และ 4,250.87 แคลอรีต่อกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับกากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมักซึ่งมีค่าพลังงานรวมสูงที่สุด (4,823.94 แคลอรีต่อกรัม) ($p < 0.01$) (ตารางที่ 1) เนื่องจากภายในกระบวนการหมักต้องย่อยสลายสารอาหารในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (non-fiber carbohydrate) ได้แก่ แป้ง น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมถึงเยื่อใยที่ละลายน้ำ เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการเกิดกิจกรรมเมแทบอลิซึมและเพื่อการเจริญเติบโต (Mabyalwa and Setati, 2006; Lin *et al.*, 2007) จึงส่งผลให้พลังงานรวมในกากนมถั่วเหลืองหมักลดลง

3.5 ค่าการย่อยได้วัตถุดิบในกระเพาะรูเมน

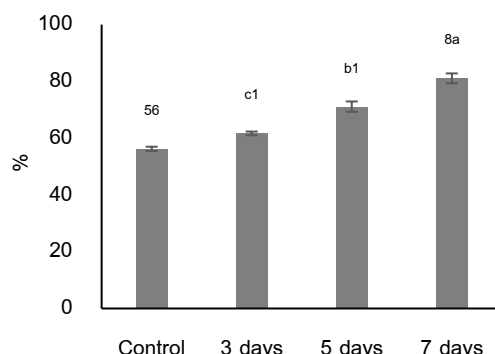
รูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการหมักกากนมถั่วเหลืองร่วมกับรา *A. niger* TISTR3013 เป็นระยะเวลา 3, 5 และ 7 วัน ส่งผลให้ค่าการย่อยได้วัตถุดิบในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก โดย

กากนมถั่วเหลืองที่หมักเป็นระยะเวลา 7 วัน มีค่าการย่อยได้วัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนสูงที่สุด (81.08 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่กากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักมีค่าการย่อยได้วัตถุแห้ง 56.23 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.01$) สอดคล้องกับ Senevirathne และคณะ (2017) ที่ศึกษาการเสริมกากถั่วเหลืองหมักด้วยราในอาหารลูกโคนม พบว่าลูกโคกลุ่มที่ได้รับอาหารทดแทนนมผสมกากถั่วเหลืองหมักมีค่าการย่อยได้วัตถุแห้ง โปรตีน NDF และ ADF เพิ่มขึ้นสูงกว่า (84.8, 89.7, 49.4, 63.1 เปอร์เซ็นต์) ลูกโคกลุ่มที่ได้รับอาหารทดแทนนมสูตรกระตุ้นการเจริญเติบโตผสมกากถั่วเหลือง (80.3, 85.1, 27.9, 58.1 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่มที่ได้รับอาหารทดแทนนมสูตรกระตุ้นการเจริญเติบโตผสมกากถั่วเหลืองหมัก (81.0, 86.4, 38.5, 54.8 เปอร์เซ็นต์) และ Piamphon และคณะ (2014) ที่ศึกษาการใช้ยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) และรา *A. niger* หมักหญ้าเนเปียร์เสริมหัวมันสำปะหลังสดเพื่อใช้เป็นอาหารโคเนื้อ พบว่าการหมักหญ้าเนเปียร์เสริมหัวมันสดด้วยยีสต์และรา *A. niger* ช่วยให้หญ้าเนเปียร์หมักมีค่าโปรตีนเพิ่มขึ้น ค่า NDF และ ADF ลดลง อีกทั้งยังส่งผลให้ค่าการย่อยได้วัตถุแห้งของหญ้าเนเปียร์เสริมหัวมันสดหมักยีสต์และราเพิ่มขึ้น (56.4 และ 55.1 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าเนเปียร์ที่ไม่ผ่านการหมัก (49 เปอร์เซ็นต์)

4. สรุป

การหมักกากนมถั่วเหลืองร่วมกับ *A. niger* TISTR3013 เป็นระยะเวลา 7 วัน ช่วยให้กากนมถั่วเหลืองมีโปรตีนเพิ่มขึ้นมากที่สุด และยังส่งผลให้ NDF, ADF และพลังงานรวมลดลง อีกทั้งพบว่าการหมักกากนมถั่วเหลืองร่วมกับ *A. niger* ยังช่วยส่งเสริมการย่อยได้วัตถุแห้งในกระเพาะรูเมน ซึ่งการนำกากนมถั่วเหลืองมาหมักเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการนั้น ถือเป็นการเพิ่มแนวทางการใช้ประโยชน์

และเพิ่มคุณค่าให้กับวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 1 การย่อยได้วัตถุแห้งของกากนมถั่วเหลืองหมักด้วยรา *A. niger* TISTR3013 เป็นระยะเวลา 3, 5 และ 7 วัน [abc แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละทรีทเมนต์ ($p < 0.05$)]

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปีงบประมาณ 2561 (ตามบันทึกข้อตกลงเลขที่ ทบ.02/2560) ทุนสนับสนุนการวิจัยประเภททุนทั่วไปสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตามสัญญาเลขที่ TUGG 106/2562 ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ บริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) และขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำงานวิจัยนี้

6. รายการอ้างอิง

กรมปศุสัตว์, 2559, การรวบรวมและการจัดทำข้อมูลด้านคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์, สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุ

- สัตว์ กระทรงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ยุพร พิชมฤต, 2550, การใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลือง, ว.พระจอมเกล้าลาดกระบัง 15(2): 34-41.
- สุภัตรา โอกระโทก, 2556, ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อรา *Aspergillus oryzae* เพื่อเป็นอาหารในไก่ไข่, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- อุษณีย์ภรณ์ สร้อยเพชร, 2550, ผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงและเอนไซม์ไฟเตทจากเชื้อรา *Aspergillus niger* ในสูตรอาหารเป็ดเนื้อ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- Akula, S. and Golla, N., 2018, Optimization of cellulase production by *Aspergillus niger* isolated from forest soil, Open Biotechnol. J. 12: 256-269.
- AOAC, 1990, Official Method of Analysis, 15th Ed. , Association of Official Analytical Chemists, Arlington, V.A.
- Belewu, M.A. and Babalola, F.T., 2009, Nutrient enrichment of waste agricultural residues after solid state fermentation using *Rhizopus oligosporus*, J. Appl. Biosci. 13: 695-699.
- Chen, L. , Madl, R.L. and Vadlani, P.V. , 2013, Nutritional enhancement of soy meal via *Aspergillus oryzae* solid-state fermentation, Cereal Chem. 90: 529-534.
- Goering, H.K. and van Soest, P.J., 1970, Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and Some Applications), U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 24 p.
- Hamdy, H. S. , 2013, Production of mini food by *Aspergillus niger*, *Rhizopus oryzae* and *Saccharomyces cerevisiae* using orange peels, Roman. Biotechnol. Lett. 18: 7929-7946.
- Jia, X. , 1999, Decomposition effect of yeast on phytic acid in okara, Shanxi Food Ind. 4: 33-35.
- Lawal, T. E. , Ademola, S. G. , Owoseni, A. , Atobatele, O.E. and Oriye, L.O., 2013, Use of *Aspergillus niger* for improving the feeding value of rice offal, Afr. J. Biotechnol. 12: 3083-3087.
- Lin, S.S. , Dou, W.F., Xu, H. , Li, H.Z., Xu, Z.H. and Ma, Y. , 2007, Optimization of medium composition for the production of alkaline β -mannanase by alkaliphilic *Bacillus* sp. N16- 5 using response surface methodology, Appl. Microbiol. Biotechnol. 75: 1015-1022.
- Mabyalwa, M. M. and Setati, M. E. , 2006, Screening and identification of endo mannanase- producing micro fungi from hypersaline environments, Curr. Microbiol. 52: 477-481.
- Matsuo, M. , 1989a, Morphological and physico chemical properties and composition of okara fermented with *Rhizopus oligosporus*, J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci. 42: 173-178.
- Matsuo, M. , 1989b, Morphological, compositional and physicochemical properties of okara fermented by *Aspergillus oryzae*, J. Agric. Chem. Soc. Jpn. 63: 1765-1770.

- Moore, J., Cheng, Z., Hao, J., Guo, G., Guo-Liu, J., Lin, C. and Yu, L., 2007, Effects of solid-state yeast treatment on the antioxidant properties and protein and fiber compositions of common hard wheat bran, *J. Agric. Food Chem.* 55: 10173-10182.
- Mukherjee, R., Ghosh, M. and Nandi, B., 2004, Improvement of dry matter digestibility of water hyacinth by solid state fermentation using white rot fungi, *Indian J. Exp. Biol.* 42: 837-843.
- Naing, H. T. H., Swe, K. H., Muu, K. S. and Oo, S. M., 2019, Solid state fermentation of soybean meal with *Aspergillus niger* for upgrading nutritive values, *Int. J. Innov. Edu. Res.* 7: 374-381.
- Piamphon, N., Wachirapakorn, C., Pornsopin, P., Sotawong, P. and Gunun, P., 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 Agr. J.*, 42: 54-60.
- Qiao, J. and Zhang, F., 2008, Research on the processing of microbial protein feed by mixed culture solid-state fermentation, *Feed Ind.* 29(22): 21-24.
- Ramesh, M.V. and Lonsane, B.K., 1990, Critical importance of moisture content of the medium in alpha-amylase production by *Bacillus licheniformis* M27 in solid-state fermentation system, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 3: 201-205.
- Safar, O., Farhangi, M., Carter, C., Yakhchali, B., Bai, S. and Sangatash, M.M., 2012, Study on the effect of solid-state fermentation with *A. niger* on antinutritional factors of canola protein concentrate with aim of using in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), pp. 1-12, In The 11th International and the 4th National Congress on Recycling of Organic Waste in Agriculture, Isfahan.
- SAS, 2004, STAT User's Guide Release 9.1.3. SAS Inst., Inc., New York, 220 p.
- Senevirathne, N.D., Anderson, J.L., Gibbons, W.R. and Clapper, J.A., 2017, Growth performance of calves fed microbially enhanced soy protein in pelleted starters, *J. Dairy Sci.* 100: 199-212.
- Srichana, D., Suttitham, W., Thongsunthiah, P., Panja, P. and Jariyapamornkoon, N., 2014, Nutrients and ruminal digestibility of baby corn by-product silages under different harvesting methods, *Thammasat Int. J. Sci. Technol.* 19(2): 30-36.