

คุณค่าทางโภชนาและจลนพลศาสตร์การย่อยสลายของกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอล โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส

เทอดศักดิ์ ปุระมมงคล^{1*} และกังวาน ธรรมแสง²

¹สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขต
จันทบุรี อ. เขาคิชฌกูฏ จ. จันทบุรี 22210

²ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาและจลนพลศาสตร์การย่อยสลายของกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลหมักโดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊สวางแผนการทดลองแบบ $3 \times 2 \times 3$ factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ โดยมี 3 ปัจจัย คือ ปัจจัย A) สัดส่วนของกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลต่อกากมันสำปะหลัง 3 ระดับ คือ 100 : 0, 85 : 15 และ 70 : 30 ปัจจัย B) การไม่ใช้ และการใช้ยีสต์ในการหมัก และปัจจัย C) ระดับของกากน้ำตาล 3 ระดับ คือ 0, 3 และ 6 % รวมทั้งหมด 18 ทรีตเมนต์ ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณโปรตีนในทรีตเมนต์ที่มีสัดส่วนของกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลต่อกากมันสำปะหลัง 100 : 0 ใช้ยีสต์ในการหมัก ร่วมกับกากน้ำตาล 0 และ 3 % มีโปรตีนสูงกว่า ($P < 0.01$) ทรีตเมนต์อื่น เมื่อพิจารณาปัจจัย A พบว่า การลดสัดส่วนของกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลลงมีผลทำให้โปรตีนลดลง ($P < 0.01$) ขณะที่ศักยภาพในการผลิตแก๊ส ความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียิวต์ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จะเพิ่มขึ้น ($P < 0.01$) ส่วนปัจจัย B พบว่า การใช้ยีสต์ในการหมักทำให้โปรตีนสูงกว่า ($P < 0.01$) ไม่ใช้ยีสต์ และยังพบว่า การใช้ยีสต์ในการหมักจะสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตแก๊ส ($P < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียิวต์และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ($P > 0.05$) สำหรับปัจจัย C พบว่า การใช้กากน้ำตาลที่ระดับ 3 % และ 6 % มีผลทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่า ($P < 0.05$) การใช้ที่ระดับ 0 %

คำสำคัญ: กากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอล และ เทคนิคผลผลิตแก๊ส

*

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: puramongkon@gmail.com

Nutritive Value and Kinetic of Degradation of Cassava Ethanol Waste by *in vitro* Gas Production Technique

Terdsak Puramongkon^{1*} Kungwan Thummasaeng²

¹Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chantaburi Campus, Chantaburi, 22210, Thailand

²Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, 34190, Thailand

Abstract

The objective of this study was to determine the nutritive value and degradation kinetics of cassava ethanol waste by *in vitro* gas production technique. The experiment was laid out in a 3 x 2 x 3 factorial in CRD, with 3 replicates. There were 3 experimental factors: factor A) three ratios of cassava ethanol waste to cassava pulp (100:0, 85:15, and 70:30); factor B) without and with yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) for fermentation and; factor C) three levels of molasses (0 %, 3 %, and 6 % w/w). There were 18 treatments combination. The result showed that treatments with the ratio of cassava ethanol waste to cassava pulp (100:0) fermented with 0 % and 3 % molasses increased crude protein ($P<0.01$) than other treatments. When the ratio of the cassava ethanol waste to cassava pulp declined, the crude protein also decreased ($P<0.01$) while the gas production potential, *in vitro* organic matter digestibility, and metabolizable energy increased ($P<0.01$). With regard to factor B, it was found that yeast fermented group resulted in an increase of crude protein ($P<0.01$). It was also found that yeast fermented group increased the gas production potential ($P<0.05$), but not significantly different ($P>0.05$) *in vitro* organic matter digestibility, and metabolizable energy. As for factor C, the metabolizable energy was not significantly different ($P>0.05$) when fermented with 3 % and 6 % molasses, but they were higher ($P<0.05$) than that of 0 %.

Keywords: Cassava ethanol waste and gas production technique

*

* Corresponding author: E-mail: puramongkon@gmail.com

ปัจจุบันประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกต้องประสบปัญหาวิกฤติด้านพลังงานเชื้อเพลิงโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยซึ่งจำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานมากกว่า 65 % ของพลังงานที่ใช้ภายในประเทศทั้งหมด และมากกว่า 80 % เป็นการนำเข้าพลังงานในรูปของน้ำมันเชื้อเพลิง (ผ่องศรี, 2556) จึงได้มีการส่งเสริมให้ ใช้พลังงานชีวมวลจากพืชพลังงานต่าง ๆ เช่น มันสำปะหลัง อ้อย กากน้ำตาล ข้าวโพด และข้าวฟ่างหวานเป็นต้นมาใช้ในการผลิตเป็นพลังงานในรูปของเอทานอลได้ และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีความพร้อมของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการผลิตเอทานอล และการส่งเสริมจากรัฐบาล จึงมีการสร้างโรงงานที่ผลิตเอทานอลขึ้นหลายแห่งซึ่งเอทานอลที่ได้เมื่อนำผสมกับน้ำมันเบนซิน 10 % จะได้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (gasohol) หรือผสมในสัดส่วน 85 % จะได้น้ำมัน E 85 ซึ่งเมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์จะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าเชื้อเพลิงทั่วไปช่วยในการรักษาสสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่มีซัลเฟอร์ และมีโมเลกุลของออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ 35 % โดยน้ำหนัก

สำหรับการผลิตเอทานอลในประเทศไทยจากพืชพลังงานต่าง ๆ พืชที่นิยมนำมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอลคือ มันสำปะหลัง เนื่องจากมีปริมาณเพียงพอต่อการนำมาผลิตเอทานอลโดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างทางอุตสาหกรรมอื่น ๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีผลผลิตส่วนเกินของ มันสำปะหลังประมาณ 4 ล้านตันสามารถผลิตเป็นเอทานอลได้ไม่ต่ำกว่า 2 ล้านลิตรต่อวัน ได้ตลอดทั้งปี ซึ่งจะช่วยลดปัญหา มันสำปะหลังล้นตลาด ตลอดจนลดการแทรกแซงราคาหัวมันสำปะหลังอีกด้วยจากการนำมันสำปะหลังไปใช้ในการผลิตเอทานอลดังกล่าว จะได้เศษเหลือจากอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ซึ่งเรียกว่า กากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลโดยใช้ข้าวโพดในการผลิตเอทานอล 100 กิโลกรัม จะได้เอทานอล 40.2 ลิตร คาร์บอนไดออกไซด์ 32.3 กิโลกรัม และเศษเหลือจากกระบวนการหมัก 32.3 กิโลกรัม (Schingoethe, 2006) กล้าณรงค์ (2550) รายงานว่า โรงงานที่ผลิต เอทานอลด้วยมันสำปะหลังที่มีกำลังการผลิต 150,000 ลิตร/วัน จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 100-120 ตัน/วัน ฟูเซลล์ออย (Fusel oil) 300 - 600 ตัน/วัน และกากมัน

สำปะหลังจากการผลิตเอทานอล 30 - 40 ตัน/วัน สุกัญญา และวราพันธ์ (2552) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า มีวัตถุแห้ง, โปรตีนหยาบ, ไขมัน, เยื่อใย, เถ้า และไนโตรเจนฟรีเอ็กแทรกซ์ เท่ากับ 25.08, 7.27, 1.07, 35.72, 12.94 และ 43.00 % ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์เคี้ยวเอื้องเนื่องจากมีเยื่อใยสูง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า กากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลมีความชื้นสูง เมื่อทิ้งไว้จะเกิดการเน่าเสียได้ ดังนั้นการศึกษาการใช้เศษเหลือของ มันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลโดยการหมักด้วยกากน้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีพลังงานสูง ร่วมกับยีสต์เพื่อช่วยในกระบวนการหมักจะสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาได้ อย่างไรก็ตามในการพิจารณาเลือกใช้วัตถุดิบเพื่อนำมาประกอบเป็นอาหารสัตว์จำเป็นต้องทราบองค์ประกอบทางโภชนา และความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้ก่อนวิธีการวัดผลผลิตแก๊ส (*in vitro* gas production technique) เป็นวิธีการที่นิยมที่พัฒนาโดย Menke and Steingass (1988) เป็นการวัดปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างการบ่ม (incubation) อาหารด้วยของเหลวจากกระเพาะรูเมนในระบบปิด ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนจะเกิดแก๊สขึ้น ซึ่งแก๊สส่วนใหญ่เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และแก๊สเมเทน (CH₄) ปริมาตรแก๊สที่วัดได้จะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการย่อยได้ของอาหาร และค่าพลังงานของอาหาร ข้อมูลที่ได้จาก วิธี *in vitro* gas production technique จึงเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ประเมินคุณภาพอาหาร (Geatchew *et al.*, 1998) จัดลำดับคุณค่าของอาหารและคัดเลือกอาหารเพื่อนำมาเลี้ยงสัตว์ได้ซึ่งการศึกษานี้วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนา และจลนพลศาสตร์การย่อยสลายของกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลในการประยุกต์ใช้เพื่อเป็นอาหารโคเนื้อ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง

ใช้การศึกษาแบบ 3 x 2 x 3 Factorial arrangement in CRD โดยมีปัจจัยทดลอง 3 ปัจจัย คือ

ปัจจัย A สัดส่วนของกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลต่อกากมันสำปะหลังจากการผลิตแป้งมัน มี 3 ระดับ คือ 100:0, 85:15 และ 70:30 (a₁, a₂, a₃)

ปัจจัย B การใช้ยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) ในการหมัก มี 2 ระดับ คือ ไม่ใช้ยีสต์และใช้ยีสต์ (b₁, b₂)

	a ₁	
T1	b ₁ c ₁	T7
T2	b ₁ c ₂	T8
T3	b ₁ c ₃	T9
T4	b ₂ c ₁	T10
T5	b ₂ c ₂	T11
T6	b ₂ c ₃	T12

ปัจจัย C การใช้กากน้ำตาล มี 3 ระดับ คือ 0, 3 และ 6 % โดยน้ำหนัก (c₁, c₂, c₃) โดยเขียนเป็น Treatment combination ได้ดังนี้ คือ

a ₂		a ₃
b ₁ c ₁	T13	b ₁ c ₁
b ₁ c ₂	T14	b ₁ c ₂
b ₁ c ₃	T15	b ₁ c ₃
b ₂ c ₁	T16	b ₂ c ₁
b ₂ c ₂	T17	b ₂ c ₂
b ₂ c ₃	T18	b ₂ c ₃

2. วิธีการหมักกากเอทานอล

ทำการหมักกากเอทานอลจากการผลิตมันสำปะหลัง ใช้วิธีการหมักกากมันสำปะหลัง ตามวิธีการของ สิทธิศักดิ์ และคณะ (2553) ซึ่งมีวิธีการเตรียมหัวเชื้อยีสต์ โดยการนำผงยีสต์ 20 กรัม (ยกเว้นในทรีตเมนต์ที่ไม่ใช้ยีสต์) ผสมน้ำตาลทราย 40 กรัม ละลายในน้ำ 200 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 10 นาที เตรียมอาหารเลี้ยงยีสต์ โดยใช้กากน้ำตาล 500 กรัม และยูเรีย 400 กรัม ละลายในน้ำ 10 ลิตร นำหัวเชื้อยีสต์ และอาหารเลี้ยงยีสต์มาผสมให้เข้ากัน ใช้ปั๊มลมเพื่อเติมออกซิเจนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำราดลงบนส่วนผสมของกากเอทานอลตามทรีตเมนต์ต่างๆจำนวน 60 กิโลกรัม เติมกากน้ำตาลจำนวน 1.8 กิโลกรัม และ 3.6 กิโลกรัมในทรีตเมนต์ที่ใช้กากน้ำตาล 3 และ 6 % ตามลำดับ ผสมให้เข้ากัน จากนั้นแบ่งใส่ถุงดำที่ซ้อนกัน 2 ชั้น ถุงละ 20 กิโลกรัมทรีตเมนต์ละ 3 ถุง (3 ซ้ำ) ทิ้งไว้เป็นเวลา 14 วัน

3. ขั้นตอนการศึกษาจลศาสตร์การผลิตแก๊ส

นำตัวอย่างกากเอทานอลจากการผลิตมันสำปะหลังที่ผ่านการหมัก 14 วัน ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำมาบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร จากนั้นทำการบรรจุตัวอย่างอาหารน้ำหนัก 0.2 กรัมลงในขวดวัดซินขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วทำการบ่มในตู้อบแห้งที่ 39°C เพื่อรอการบรรจุสารละลายของเหลวจากกระเพาะรูเมนผสม

เตรียมของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid) โดยใช้โคเนื้อลูกผสมพื้นเมืองน้ำหนักเฉลี่ย 250 กิโลกรัมจำนวน 2 ตัว ที่เลี้ยงด้วยอาหารข้นวันละ 0.5 % ของน้ำหนักตัว และให้หญ้าสดเป็นอาหารหยาบ โดยให้กินแบบเต็มที่ (*ad libitum*) เก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมนของโคทดลองโดยใช้ stomach tube สอดผ่านหลอดอาหารแล้วดูดของเหลวจากกระเพาะรูเมนโดยใช้ vacuum

pump จากนั้นนำมากรองผ่านผ้าขาวบาง แล้วอุ่นที่อุณหภูมิ 39°C พร้อมต่อกับท่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (สร้างสภาพให้คล้ายกับในกระเพาะรูเมนมากที่สุด) เพื่อรอนำมาผสมกับสารละลายน้ำลายเทียมที่เตรียมไว้ตามวิธีการของ Menke and Steingass (1988) ทำการบรรจุสารละลายของเหลวจากกระเพาะรูเมนผสม ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนในขวดที่บรรจุวัตถุดิบอาหารทดลอง ขวดละ 30 มิลลิลิตร จากนั้นนำเข้าบ่มที่ตู้อบร้อนแห้งที่อุณหภูมิ 39°C เพื่อทำการวัดปริมาตรแก๊ส (Menke *et al.*, 1979; Menke and Steingass, 1988)

3. การเก็บข้อมูล

วิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี โดยสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารในแต่ละทรีตเมนต์ เพื่อวิเคราะห์หา วัตถุแห้ง (dry matter, DM), เถ้า (ash), โปรตีนหยาบ (crude protein, CP), ไขมันรวม (ether extract, EE) ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (1980) และหาเยื่อใย NDF (neutral detergent fiber), เยื่อใย ADF (acid detergent fiber, ADF) และลิกนิน (acid detergent lignin, ADL) ตามวิธีของ Georing and Van Soest (1970) บันทึกผลผลิตแก๊ส โดยจดบันทึกปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้น ในชั่วโมงที่ 1, 3, 6, 12, 24, 48 และสุดท้ายทำการบันทึกชั่วโมงที่ 72 นำค่าผลผลิตแก๊สที่ได้มาหาค่าคงที่ a, b และ c โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป fit curve เพื่อการอธิบายจลนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊ส ตามโมเดลหรือแบบจำลองสมการของ Ørskov and McDonald (1979) ดังนี้

$$y = a + b [1 - \text{Exp}^{-ct}]$$

เมื่อ $y =$ ผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น ณ เวลา t
 $a =$ จัดตัดแกน y

b = ค่าปริมาณแก๊ส ณ จุดคงที่เมื่อปล่อยให้
อาหารถูกย่อยโดยไม่จำกัดเวลา (asymptote)
c = ค่าอัตราการผลิตแก๊ส

หลังการบ่มชั่วโมงที่ 24 และ 48 แต่ละครั้ง ทำ
การสุ่มขวดย่อยในแต่ละปัจจัยการทดลองออกมาปัจจัยการ
ทดลองละ 2 ขวด นำเข้าแช่เย็นทันทีที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อ
หยุดกิจกรรมของจุลินทรีย์ และรอการวิเคราะห์ภายหลัง
เมื่อทำการวิเคราะห์ให้น้ำออกจากตู้แช่แข็งปล่อยให้ละลาย
ทำการกรองเอาของแข็งที่เหลือจากการย่อย นำไปอบที่

อุณหภูมิ 105°Cเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำไปเผาที่
อุณหภูมิ 550°Cระยะเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อนำค่าวัตถุแห้งและ
เถ้าที่เหลือจากการย่อยไปทำการคำนวณหาความสามารถใน
การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter
digestibility : IVDMD) และอินทรีย์วัตถุ (*in vitro*
organic matter digestibility: IVOMD) ดังสมการ

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

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

ประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้
(Metabolizable energy, ME) ในแต่ละทรีตเมนต์ จาก
ผลผลิตแก๊สในชั่วโมงที่ 24 ตามสมการทำนายค่าพลังงานที่
ใช้ประโยชน์ได้ของ Menke *et al.* (1979) ดังนี้

$$\text{ME (MJ/kg DM)} = 2.20 + (0.136 \times \text{Gv}) + (0.0057 \times \% \text{ CP}) + (0.00029 \times \% \text{ EE})$$

โดย Gv = ปริมาณแก๊สสุทธิที่เกิดขึ้นใน 24
ชั่วโมง (มิลลิเมตรต่อน้ำหนักของกากมันสำปะหลังจากการ
ผลิตเอทานอลหมัก) คำนวณจากสมการดังนี้

$$\text{GV (ml)} = (\text{V24} - \text{Vo} - \text{Gpo}) \times 200 \times [(\text{Fh} + \text{Fc}) / 2]$$

เมื่อ Vo = ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นก่อนบ่ม
V24 = ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นที่ชั่วโมงที่ 24
Gpo = ค่าเฉลี่ยของแก๊สที่เกิดขึ้นในหลอดที่ไม่มี
อาหารที่ชั่วโมงที่ 24
Fh = 44.16 / (GPh - Gpo); roughage
correction factor
Fc = 62.60 / (GPC - Gpo); concentrate
correction factor

GPh = ค่าคงที่ของอาหารหยาบ มีค่าเท่ากับ 47
GPC = ค่าคงที่ของอาหารข้น มีค่าเท่ากับ 68
W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นมิลลิกรัมวัตถุแห้ง

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการ
ทดลองที่วางไว้ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง
ค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (Steel
and Torrie, 1980)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากเอ
ทานอลจากมันสำปะหลัง พบว่า มีวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ
เยื่อใย ไขมัน และเถ้า เท่ากับ 23.56, 9.72, 2.44, 36.53,
1.44 และ 11.68 % ตามลำดับ ใกล้เคียงกับ สุกัญญา และว
ราพันธ์ (2552) ที่รายงานว่ามีวัตถุแห้ง, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อ
ใย, เถ้า และไนโตรเจนฟรีเอ็กแทรกซ์ เท่ากับ 25.08, 7.27,
1.07, 35.72, 12.94 และ 43.00 % ตามลำดับศุภชาติ
(2553) รายงานว่า กากเอทานอลจากมันสำปะหลังมีวัตถุ

แห้ง 25.10 % เยื่อใย 31.46 - 38.44 % โปรตีน 6.79 - 7.29 % ไขมัน 0.91 - 1.37 % และเถ้าที่ไม่ละลายในกรด 7.50 - 12.42 % และเทอดคัสกี้ และคณะ (2557) ซึ่งรายงานว่ กากเอทานอลจากมันสำปะหลัง พบว่ มีวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เยื่อใย NDF เยื่อใย ADF ลิกนิน และเถ้า

เท่ากับ 21.83, 9.83, 2.44, 45.64, 26.21, 4.45 และ 11.98 % ตามลำดับ จากการศึกษาในครั้งนี้เมื่อทำการหมักกากเอทานอลตามวิธีดเม้นต์ต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน พบว่ ในสูตรที่ไม่มีการเติมกากแป้งมัน ไม่มีการใช้ยีสต์

Table 1 Chemical composition of cassava ethanol waste

Item	DM	CP	CF	EE	Ash
	% DM				
CPE ¹	23.56	9.72	36.53	1.44	11.68
T1(a1b1c1) ²	23.01 ^A	14.83 ^{CDE}	38.77 ^B	1.08 ^{bc}	15.09 ^{AB}
T2 (a1b1c2)	23.05 ^A	11.20 ^{EF}	34.01 ^{BCD}	1.06 ^c	14.55 ^{ABCD}
T3 (a1b1c3)	23.06 ^A	12.76 ^{DEFG}	34.04 ^{BCD}	1.14 ^{abc}	14.28 ^{ABCDE}
T4 (a1b2c1)	19.45 ^B	22.20 ^A	37.22 ^{BCD}	1.21 ^{ab}	15.02 ^{AB}
T5 (a1b2c2)	19.78 ^B	22.36 ^A	35.42 ^{BCD}	1.27 ^a	15.26 ^A
T6 (a1b2c3)	20.44 ^B	18.31 ^B	33.54 ^{BCD}	1.24 ^a	13.52 ^{CDEFG}
T7 (a2b1c1)	19.21 ^B	12.95 ^{DEFG}	46.11 ^A	1.18 ^{abc}	14.77 ^{ABC}
T8 (a2b1c2)	17.68 ^C	10.44 ^{FGH}	36.11 ^{BCD}	1.26 ^a	13.82 ^{BCDEF}
T9 (a2b1c3)	13.20 ^E	10.72 ^{FGH}	38.00 ^{BC}	1.21 ^{ab}	13.10 ^{EF}
T10 (a2b2c1)	11.28 ^F	17.03 ^{BC}	46.11 ^A	1.26 ^a	13.90 ^{BCDEF}
T11 (a2b2c2)	12.49 ^{EF}	12.49 ^{EF}	38.10 ^{CB}	1.25 ^a	12.98 ^{FGH}
T12 (a2b2c3)	13.64 ^{DE}	15.37 ^{BCD}	33.52 ^{BCD}	1.27 ^a	13.29 ^{DEFGH}
T13 (a3b1c1)	11.26 ^F	10.23 ^{GH}	36.00 ^{BCD}	1.25 ^a	12.45 ^{GHI}
T14 (a3b1c2)	12.84 ^E	9.02 ^H	34.33 ^{BCD}	1.23 ^{ab}	11.58 ^I
T15 (a3b1c3)	14.82 ^D	9.20 ^H	31.80 ^{DE}	1.27 ^a	12.19 ^{HI}
T16 (a3b2c1)	23.05 ^A	13.42 ^{DEFG}	38.56 ^B	1.23 ^{ab}	12.21 ^{HI}
T17 (a3b2c2)	14.71 ^D	14.79 ^{CD}	32.63 ^{CD}	1.27 ^a	11.30 ^I
T18 (a3b2c3)	14.66 ^D	13.70 ^{DEF}	27.04 ^E	1.22 ^{ab}	12.34 ^{GHI}
P-Value	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01
SEM	0.47	1.02	1.68	0.05	0.39

ABCDEFGHI Value on the same column with different superscripts differed (P<0.01)

abc Value on the same column with different superscripts differed (P<0.05)

¹CPE = Cassava pulp from ethanol production

²Treatment combinations : Factor A = cassava pulp from ethanol production : cassava pulp (100:0 (a₁), 85:15 (a₂) and 70:30 (a₃)), Factor B = yeast fermented (no used (b₁) and use (b₂)) and Factor C = molasses (0 % (c₁), 3 % (c₂) and 6 % (c₃))

กากน้ำตาล (T1) มีวัตถุดิบ โปรตีน เยื่อใย ไขมัน และเถ้า เท่ากับ 23.01, 14.83, 38.77, 1.08 และ 15.09 % ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณโปรตีนสูงขึ้น อาจเป็นเพราะ เกิดกระบวนการหมัก และการสังเคราะห์ เซลล์ของยีสต์ และจุลินทรีย์อื่นๆ ที่มีอยู่ในกากมันสำปะหลัง จากการผลิตเอทานอล จากการศึกษาของกานดา (2545) พบว่า ในกากมันสำปะหลังจะมีจุลินทรีย์ธรรมชาติกลุ่มแลคติกแอซิด แบคทีเรียอาศัยอยู่ด้วย นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่า กากเอทานอลหมักในสูตรที่มีการหมักด้วยยีสต์ และใช้กากน้ำตาล 3 และ 6 % มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า (P<0.01) กลุ่มอื่นๆ (22.20 และ 22.36 % ตามลำดับ) ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลจากการทำงานของยีสต์ และยูลีที่เติมลงไป ซึ่ง Boonnop et al. (2009) ได้ทำการหมักหัวมันสำปะหลังด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* และยูลี 0.5 % เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ระดับโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้นเป็น 21.1 % โดยคิดเป็นโปรตีนแท้ 18.9 % และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน 2.2 % สอดคล้องกับ Kaewwongsa et al. (2011) ที่รายงานว่า การหมักกากมันสำปะหลังหมักด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* จำนวน 5 กรัม เสริมด้วยยูลี 10 % และกากน้ำตาล 1.25 % หมักเป็นเวลา 5 วัน สามารถเพิ่มระดับโปรตีนจาก 9.0 % เป็น 26.4 % โดยคิดเป็นโปรตีนแท้ 24.7% และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน 1.7%

องค์ประกอบทางเคมีในกากเอทานอลหมักเมื่อแยกเป็นรายปัจจัย (ตารางที่ 2) พบว่า เมื่อลดสัดส่วนกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลต่อกากแป้งมันสำปะหลังลงเป็น 100:0, 85:15 และ 70:30 มีผลทำให้วัตถุดิบ โปรตีนหยาบ และเถ้าลดลง (P<0.01) ดังแสดงใน

ตารางที่ 2 โดยมีค่าโปรตีนเท่ากับ 16.82, 13.92 และ 11.73 % ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโปรตีนที่ลดลงเป็นผลมาจากปริมาณโปรตีนที่ต่ำในกากแป้งมัน สมิต และสุกัญญา (2559) รายงานว่า กากแป้งมันสำปะหลังมีโปรตีน เท่ากับ 1.83% ดังนั้นการเพิ่มสัดส่วนของกากแป้งมันจึงทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง ปัจจัยในการไม่ใช้ยีสต์ และการใช้ยีสต์ในการหมัก พบว่า การใช้ยีสต์ในการหมักมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ยีสต์ (P<0.01) (17.13 % กับ 11.18 %) และไขมันในกลุ่มที่ใช้ยีสต์ในการหมักมีปริมาณสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ยีสต์ (P<0.05) (1.25 % กับ 1.19 %) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะการทำงานและขยายพันธุ์ของยีสต์ ในเซลล์ยีสต์จะมีปริมาณโปรตีนสูง ซึ่งสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2559) รายงานว่า ในยีสต์ประกอบด้วยโปรตีน 40 - 50% ของน้ำหนักแห้ง ในส่วนของการใช้กากน้ำตาลในการหมัก พบว่า การใช้กากน้ำตาลที่ระดับ 0, 3 และ 6 % มีผลทำให้ปริมาณเยื่อใยลดลง แต่ไม่มีผลต่อไขมัน และโปรตีน เหตุที่ให้เยื่อใยลดลงเมื่อมีระดับของกากน้ำตาลเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะในกากเอทานอลมีความเป็นกรดเท่ากับ 4.17 (วราพันธุ์ และคณะ, 2551) เมื่อทำการหมักไว้เป็นเวลา 14 วัน กรดดังกล่าวจะมีการย่อยสลายเยื่อใย ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทเยื่อใยจะต้องทำลายพันธะของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสก่อนด้วยกรดซัลฟูริก หรือกรดไฮโดรคลอริก จากนั้นจึงทำการย่อยด้วยยีสต์ (วรลักษณ์, 2556) เมื่อมีการเติมกากน้ำตาลลงไปจะทำให้ยีสต์จะทำให้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีการใช้น้ำตาลจากกากน้ำตาลและน้ำตาลที่ย่อยสลายพันธะด้วยกรด

Table 2 Chemical composition of cassava ethanol waste fermented by factor effects

Item	CEP:CP (A)			yeast (B)		molasses (C)			P-value						
	100:0	85:15	70:30	-	+	0	3	6	A	B	C	A*B	A*C	B*C	A*B*C
Chemical composition (%)															
DM	21.46 ^A	14.58 ^B	13.88 ^C	17.57	15.72	16.49	16.81	16.64	<0.01	0.01	0.97	<0.01	<0.01	0.67	<0.01

CP	16.82 ^A	13.92 ^B	11.73 ^C	11.18 ^B	17.13 ^A	14.99	14.14	13.34	<0.01	<0.01	0.51	0.01	0.61	0.03	0.54
CF	35.50 ^B	39.66 ^A	33.39 ^B	36.58	35.79	40.46 ^A	35.10 ^B	32.99 ^C	<0.01	0.58	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
EE	1.17 ^b	1.24 ^a	1.25 ^a	1.19 ^b	1.25 ^a	1.20	1.22	1.23	0.02	0.01	0.70	<0.01	0.33	0.21	0.05
Ash	14.62 ^A	13.64 ^B	12.01 ^C	13.54	13.32	13.91	13.25	13.12	<0.01	0.55	0.17	<0.01	<0.01	0.56	<0.01

^{ABC} Value on the same column with different superscripts differed (P<0.01)

^{abc} Value on the same column with different superscripts differed (P<0.05)

A = cassava ethanol waste : cassava pulp (100:0, 85:15 and 70:30); B = yeast fermented (without and with); C = molasses (0, 3 and 6 %)

ค่าจนวนพลศาสตร์การผลิตแก๊สของกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลหมัก แสดงในตารางที่ 3 โดย ค่า a บ่งบอกถึงปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายองค์ประกอบที่สามารถละลายในน้ำได้ ค่า b บ่งบอกถึงศักยภาพการย่อยสลายของอาหาร ค่า c บ่งบอกถึง อัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมักของอาหาร และค่า d บ่งบอกถึง ศักยภาพในการผลิตแก๊สของอาหารจากการศึกษาพบว่า ค่า a ในทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใช้กากมันสำปะหลังหมักร่วมกับกากน้ำตาล 3 และ 6% และทรีตเมนต์ที่มีการใช้กากมันสำปะหลัง 15% หมักด้วยยีสต์ร่วมกับกากน้ำตาล 6% มีค่าสูงที่สุด ค่า b ในทรีตเมนต์ที่มีการใช้กากมันสำปะหลัง 30% หมักร่วมกับกากน้ำตาล 3 % มีค่าสูงที่สุด ค่า c ในทรีตเมนต์ที่หมักโดยไม่ใช้ยีสต์และกากน้ำตาลทรีตเมนต์ที่มีการใช้กากมันสำปะหลัง 15% หมักร่วมกับกากน้ำตาล 6 % และทรีตเมนต์ที่มีการใช้กากมันสำปะหลัง 30 % หมักร่วมกับกากน้ำตาล 3% มีค่าสูงที่สุด และค่า d ในทรีตเมนต์ที่ในทรีตเมนต์ที่มีการใช้กากมันสำปะหลัง 30% หมักร่วมกับกากน้ำตาล 3%มีค่าสูงที่สุด ค่าความสามารถในการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในทรีตเมนต์ที่ใช้กากมันสำปะหลัง 30% หมักด้วยยีสต์ร่วมกับกากน้ำตาล 6% มีค่าสูงที่สุดและการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในในทรีตเมนต์ที่ในทรีตเมนต์ที่มีการใช้กากมันสำปะหลัง 30% หมักร่วมกับกากน้ำตาล 3% มีค่าสูงที่สุด เมื่อพิจารณาแยกเป็นรายปัจจัย (ตารางที่ 4) พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของกากแป้งมันสำปะหลังเป็น 0, 15 และ 30% มีผลทำให้ค่า a ลดลง โดยค่า a ในกลุ่มที่มีสัดส่วนของกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลต่อกากแป้งมันสำปะหลัง 100:0 จะมีค่าสูงกว่า (P<0.01) กลุ่มที่มีสัดส่วน 85:15 และ 70:30 (0.50, -1.11 และ -1.73 มิลลิลิตร ตามลำดับ) ทั้งนี้เป็นเพราะในกากแป้งมันสำปะหลังยังคงมีคุณค่าทางอาหารเหลืออยู่โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (nitrogen free extract, NFE) ประมาณ 65-70 % (สมิต และสุกัญญา, 2559) โดยเฉพาะแป้งซึ่งยังคงเหลืออยู่ถึง 14 % (วราพันธ์ และคณะ, 2549) ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้

ว่าค่า a มีค่าติดลบ ซึ่ง Ørskov (1982) อ้างโดย เมธา (2533) กล่าวว่าค่า a เป็นลบ อาจเกิดขึ้นจากส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายในอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณ NFE ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การเพิ่มสัดส่วนของกากแป้งมันสำปะหลังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของศักยภาพการย่อยสลายของอาหาร (P<0.01) ศักยภาพในการผลิตแก๊สของอาหาร (P<0.01) ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ความสามารถในการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเป็นผลมาจาก NFE ในกากแป้งมัน เช่นเดียวกัน ทั้งนี้เป็นเพราะในกากแป้งมันสำปะหลังยังคงมีแป้งเหลืออยู่ประมาณ 14 % (วราพันธ์ และคณะ, 2549) และมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 3,027 กิโลแคลอรี/กก. และยอดโภชนะที่ย่อยได้ 65-70 % (สมิต และสุกัญญา, 2559) ผลของการใช้ยีสต์ในการหมักพบว่า การใช้ยีสต์ในการหมักมีผลทำให้ศักยภาพการย่อยสลายของอาหารและ ศักยภาพในการผลิตแก๊สของอาหารสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ยีสต์ (11.18 กับ 17.13 มิลลิลิตร และ 1.19 กับ 1.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ) สอดคล้องกับ วรางคณา และฉลอง (2557) ที่รายงานว่าการใช้กากเอทานอลหมักด้วยยีสต์ที่ระดับ 50 มิลลิลิตรมีผลผลิตแก๊สสะสมสูงกว่าการใช้ยีสต์ในการหมักที่ระดับ 0, 5 และ 25 มิลลิลิตร (P < 0.01) แต่การใช้ยีสต์ในการหมักไม่มีผลต่อความสามารถในการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ในส่วนของระดับของกากน้ำตาล พบว่า เมื่อเพิ่มระดับของกากน้ำตาล มีผลทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น โดยกลุ่มที่ใช้ระดับของกากน้ำตาล 3 และ 6 % จะมีค่าสูงกว่า (P<0.05) กลุ่มที่ไม่ใช้กากน้ำตาลในการหมัก (6.98, 7.37 และ 7.09 MJ/Kg DM ในกลุ่มที่ใช้กากน้ำตาล 0, 3 และ 6 % ตามลำดับ) ทั้งนี้เพราะในกากน้ำตาลจะมีค่าพลังงานสูง สอดคล้องกับ Getachew et al. (2003) ที่รายงานว่าอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายสูงจะมีการย่อยสลายและเกิดผลผลิตแก๊สสูง

Table 3 Fermentation kinetics of cassava ethanol waste fermented

Item	a (ml)	b (ml)	c (%/hr)	d (ml)	² IVDMD(%)	³ IVOMD(%)	⁴ ME(MJ)	
T1	¹ (a1b1c1)	-0.83 ^{BC}	42.54 ^G	1.117 ^a	43.81 ^{GH}	59.19 ^{ABC}	77.39 ^F	6.78 ^{EFGH}
T2	(a1b1c2)	2.54 ^A	43.69 ^G	0.083 ^b	46.23 ^{FG}	58.52 ^{ABC}	79.96 ^{CDEF}	6.98 ^{DEFGH}
T3	(a1b1c3)	2.80 ^A	42.47 ^G	0.090 ^b	45.27 ^{GF}	58.07 ^{ABC}	78.32 ^{DEF}	6.94 ^{DEFGH}
T4	(a1b2c1)	-0.96 ^{BCD}	42.72 ^G	0.087 ^b	43.67 ^{GF}	64.82 ^A	77.96 ^{EF}	6.56 ^H
T5	(a1b2c2)	-0.42 ^B	42.92 ^G	0.087 ^b	43.34 ^{GF}	57.98 ^{ABC}	78.13 ^{EF}	6.63 ^{GF}
T6	(a1b2c3)	-0.19 ^B	41.82 ^G	0.097 ^{ab}	42.24 ^F	61.39 ^{AB}	82.41 ^{ABCDE}	6.96 ^{DEFGH}
T7	(a2b1c1)	-0.50 ^B	44.55 ^{FG}	0.090 ^b	45.05 ^{GH}	47.63 ^{CD}	80.00 ^{CDEF}	6.74 ^{FGH}
T8	(a2b1c2)	1.78 ^A	47.58 ^{EF}	0.087 ^b	49.36 ^{EF}	46.48 ^D	78.29 ^{DEF}	7.28 ^{CDE}
T9	(a2b1c3)	0.27 ^B	42.80 ^G	0.117 ^a	44.31 ^{GH}	52.77 ^{BCD}	81.23 ^{BCDEF}	6.65 ^{GF}
T10	(a2b2c1)	-3.17 ^E	47.89 ^{DEF}	0.100 ^{ab}	51.0 ^{DE}	58.00 ^{ABC}	82.82 ^{ABC}	6.89 ^{EFGH}
T11	(a2b2c2)	-2.76 ^E	50.74 ^{CDE}	0.103 ^{ab}	53.51 ^{CD}	60.70 ^{AB}	82.23 ^{ABCDE}	7.24 ^{CDEF}
T12	(a2b2c3)	-2.28 ^{de}	49.52 ^{DE}	0.107 ^{ab}	51.80 ^{DE}	65.23 ^A	83.04 ^{ABC}	7.20 ^{CDEF}
T13	(a3b1c1)	-2.19 ^E	53.11 ^{BC}	0.120 ^a	56.30 ^{BC}	60.01 ^{AB}	85.23 ^{AB}	7.47 ^{BCD}
T14	(a3b1c2)	-1.96 ^{CDE}	60.17 ^A	0.100 ^{ab}	62.14 ^A	61.27 ^{AB}	82.67 ^{ABCD}	8.21 ^A
T15	(a3b1c3)	-0.94 ^{BCD}	53.25 ^{BC}	0.097 ^{ab}	54.24 ^{CD}	66.34 ^A	81.33 ^{BCDEF}	7.63 ^{BC}
T16	(a3b2c1)	-1.98 ^{CDE}	51.26 ^{CD}	0.100 ^{ab}	53.24 ^{CD}	58.55 ^{ABC}	81.59 ^{ABCDEF}	7.34 ^{CDE}
T17	(a3b2c2)	-2.23 ^{CDE}	56.16 ^B	0.103 ^{ab}	58.40 ^B	67.94 ^A	84.86 ^{AB}	7.87 ^{AB}
T18	(a3b2c3)	-0.07 ^B	48.49 ^{DE}	0.103 ^{ab}	48.76 ^{EF}	66.38 ^A	85.88 ^A	7.14 ^{CDEFG}
P-Value	<0.01	<0.01	0.04	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	
SEM	0.46	1.12	0.01	1.09	3.53	1.34	0.16	

ABCDEF^{GH} Value on the same column with different superscripts differed (P<0.01)

abc Value on the same column with different superscripts differed (P<0.05)

¹Treatment combinations : Factor A = cassava ethanol waste : cassava pulp (100:0 (a₁), 85:15 (a₂) and 70:30 (a₃)), Factor B = yeast fermented (without (b₁) and with (b₂)) and Factor C = molasses (0 % (c₁), 3 % (c₂) and 6 % (c₃))

² IVDMD = *in vitro* dry matter digestibility

³ IVOMD = *in vitro* organic matter digestibility

⁴ ME = Metabolizable energy

Table 4 Fermentation kinetics of cassava ethanol waste fermented by factor effects

Item	CEP:CP (A)			yeast (B)		molasses (C)			P-value						
	100:0	85:15	70:30	-	+	0	3	6	A	B	C	A*B	A*C	B*C	A*B*C
Gas Production															

a, ml	0.50 ^A	-1.11 ^B	-1.73 ^C	17.57	15.72	16.49	16.81	16.64	<0.01	0.10	0.97	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
b, ml	42.69 ^C	47.18 ^B	53.74 ^A	11.18 ^B	17.13 ^A	14.99	14.14	13.34	<0.01	<0.01	0.51	<0.01	<0.01	0.42	<0.01
c, %/hr	0.09	0.10	0.10	36.58	35.79	40.46 ^A	35.10 ^B	32.99 ^C	<0.01	0.58	<0.01	0.32	0.07	0.17	0.04
d, ml	44.09 ^C	49.18 ^B	55.51 ^A	1.19 ^b	1.25 ^a	1.20	1.22	1.23	0.02	0.01	0.70	<0.01	<0.01	0.36	<0.01
¹ DMD, %	59.99 ^A	55.13 ^B	63.41 ^A	56.70 ^B	62.33 ^A	58.03	58.82	61.69	<0.01	0.01	0.33	<0.01	0.02	0.08	0.01
² IVOMD,%	79.03 ^C	81.27 ^B	83.59 ^A	80.49	82.10	80.83	81.02	82.03	<0.01	0.06	0.49	<0.01	<0.01	0.17	<0.01
³ ME, MJ	6.82 ^C	7.00 ^B	7.61 ^A	7.20	7.09	6.98 ^b	7.37 ^a	7.09 ^{ab}	<0.01	0.44	0.04	<0.01	0.19	<0.01	<0.01

^{ABC} Value on the same column with different superscripts differed (P<0.01)

^{abc} Value on the same column with different superscripts differed (P<0.05)

¹ DMD = *in vitro* dry matter digestibility

² IVOMD = *in vitro* organic matter digestibility

³ ME = Metabolizable energy

A = cassava ethanol waste : cassava pulp (100:0, 85:15 and 70:30); B = yeast fermented (without and with); C = molasses (0, 3 and 6 %)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลโดยการหมัก พบว่า การหมักกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลต่อกากมันสำปะหลัง 100 : 0 ใช้ยีสต์ในการหมัก ร่วมกับกากน้ำตาล 0 และ 3% มีผลทำให้โปรตีนสูงกว่ากลุ่มอื่น เมื่อลดสัดส่วนของกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลลงมีผลทำให้โปรตีนลดลง การใช้ยีสต์ในการหมักมีผลทำให้โปรตีนสูงกว่า กลุ่มที่ไม่ใช้ยีสต์ ศักยภาพในการผลิตแก๊สความสามารถในการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุและค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อลดสัดส่วนของกากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลลง การใช้ยีสต์ในการหมักจะสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตแก๊ส การใช้กากน้ำตาลที่ระดับ 3% ทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ไม่แตกต่างจากการใช้ที่ระดับ 6% แต่สูงกว่า

การใช้ที่ระดับ 0% ดังนั้นจึงควรหมักโดยใช้กากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลด้วยยีสต์ร่วมกับกากน้ำตาล 3

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยอาหารสัตว์ท่าพระ จ.ขอนแก่น ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สัตว์ทดลอง และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ขอขอบคุณ บริษัทอุบลไบโอเอทานอล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์กากเอทานอลในการวิจัย และขอขอบคุณเป็นอย่างสูงต่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกที่สนับสนุนแหล่งทุนในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กานดา พันสุรินทร์. 2545. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลัง และข้าวโพดในสูตรอาหารต่อระดับ พีเอช ปริมาณ จุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค/ไม่ก่อให้เกิดโรคที่ปลายลำไส้สุกรระยะรุ่น และมูลสุกรระยะขุน. วิทยานิพนธ์วิทยาศา สตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เทอดศักดิ์ ประมงคณ, ทิพย์วดี ประไพวงษ์ และสุนทร บุญมีมาก. 2557. ผลของกากเอทานอลจากมันสำปะหลังต่อ ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม. การประชุมทางวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชชมงคล ครั้งที่ 6 : เทคโนโลยีและนวัตกรรมสู่อาเซียน. 23-25 กรกฎาคม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล สุวรรณภูมิ. 324 น.
- เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี้พับบลิชชิง: กรุงเทพฯ.473 หน้า.
- ผ่องศรี ศิวราศักดิ์. 2556. การผลิตเอทานอล.(สืบค้นเมื่อ 16 พฤษภาคม 2556) Available from : URL : <http://as.doa.go.th/fieldcrops/cas/eth/index.HTM>.
- วราภรณ์ แดนสีแก้ว และฉลอง วชิราภากร. 2557. ผลของการใช้กากเอทานอลหมักด้วยยีสต์ (*Saccharomyce cerevisiae*) และเชื้อรา (*Aspergillus niger*) ในสูตรอาหารผสมสำเร็จต่อการย่อยได้และजनพลศาสตร์ของการ ผลิตแก๊ส. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15 : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 28 มีนาคม. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 585-593 น.
- วราพันธ์ จินตณวิชัย, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, ฤทัยชนก มากระนิตย์, สุกัญญา ศรีมงคลงาม และณัฐธรา วิวัฒน์วงศ์วนา. 2549. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มแลคติกแอซิดแบคทีเรีย และยีสต์ในระหว่างการหมักกากมันสำปะหลัง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 : สาขาสัตว สาขาสัตวแพทยศาสตร์. 30 มกราคม -2 กุมภาพันธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 131-137 น.
- วราพันธ์ จินตณวิชัย, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, และอุทัย คันโธ. 2551. การศึกษาองค์ประกอบเศษเหลือจากการผลิตเอทานอล จากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์และเป็นปุ๋ยสำหรับพืช. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบัน สุวรรณจากกลสิกิจเพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์ และผลิต ภัณฑ์สัตว์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน. นครปฐม.
- วรลักษณ์ คงจินตมณี. 2556. การผลิตเอทานอลจากแกนข้าวโพด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม เคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศุภชาติ ปานเนียม. 2553. งานวิจัยอย่างง่ายและใช้ได้จริง.สาส์นโคนม. คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3:10-11.
- สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และวราพันธ์ จินตณวิชัย. 2552. การใช้ประโยชน์เศษเหลือจากมันสำปะหลัง. ศูนย์ค้นคว้าและ พัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันจากกลสิกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2559. ผลิตภัณฑ์ยีสต์โปรตีน. (สืบค้นเมื่อ 5 กรกฎาคม 2559) Available from : URL :<http://www.tistr.or.th/tistrblog/>.
- สิทธิศักดิ์ คำผา, ศรีญาญ เชื้อหลง, ธีระชัย ศิริอุเทน, สมมาศ อิฐรัตน์ และอุทัย ไครตดก. 2553. การใช้ผลิตภัณฑ์หัวมัน สำปะหลังสดหมักยีสต์เป็นอาหารเลี้ยงขุนโคพื้นเมืองลูกผสมเพื่อธุรกิจของฟาร์มเกษตรกรรายย่อย. วารสารแก่น เกษตร (ฉบับพิเศษ) 38(1): 20-23.
- สมิต ยิ้มมงคล และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2559.การใช้กากมันสำปะหลังแห้งเป็นอาหารสัตว์ (สืบค้นเมื่อ 5 กรกฎาคม 2559) Available from : URL :http://www.rdi.ku.ac.th/kufair50/animal/11_2_animal/11_2animal.html
- A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis: Food composition; additives; Natural Contaminants. 17th ed.

Gaithersburg, Maryland.

- Boonnop, K., Wanapat, M., Ng-armnit, N., and Wanapat, S. 2009. Enriching nutritive value of cassava root by yeast fermentation. Dept of animal science, Khon Kaen, 40002 Thailand.
- Geatchew, G., Blummel M., Makkar H. P. S., and Becker K. 1998. In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feed. A review. Anim. Feed Sci. Technol. 72(3-4): 216-218.
- Geatchew, G., P. H. Robins, E. J. Depeters and S. J. Taylor. 2003. Relationships between chemical composition, dry matter degradation and in vitro gas production of several ruminant feed. Anim. Feed Sci. Technol. 111(1-4): 57-71.
- Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis (apparatus, procedures and some applications). Agric. Handbook No. 379, ARS, ISDA, Washington DC.
- Kaewwongsa, W., Traiyakun, S., Yuangklang, C., Wachirapakorn, C., and Paengkoum, P. 2011. Protein enrichment of cassava pulp fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. J. Anim. Vet. Adv. 10(18): 2434-2440.
- 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. Anim. Res. Dev. 28: 7-55.
- 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.) 93(1):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(2):499-503.
- Schingoethe, D. J. 2006. Utilization of DDGS by Cattle. Pages 61-74 in Proc. 27th Western Nutr. Conf., Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Steel, R.G.D., and J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. New York: McGraw Hill Book Company, Inc.