

**ผลของการลดกรดไฮโดรไซยานิกในสูตรอาหารผสมสำเร็จที่ใช้หัวมัน
สำปะหลังสดเป็นแหล่งพลังงานโดยกระบวนการหมักร่วมกับการเสริม
กำมะถัน ต่อองค์ประกอบทางเคมี และจลศาสตร์การย่อยได้ในกระเพาะรูเมน**

Effects of decreasing of hydrocyanic acid in total mixed ration in which
fresh cassava root as energy source by ensiling method with sulfur on
chemical composition and gas production kinetics

อติชาต ทองน้ำ^{1*}, ดวงฤทัย สวรรค์ทอง¹, วุฒิกร สระแก้ว¹ และ ชลอง วชิราภากร¹

Athichat Thongnum^{1*}, Duangruethai Sawanthong¹, Wuttikorn Sarkaew¹
and Chalong Wachirapakorn¹

บทคัดย่อ: การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลดกรดไฮโดรไซยานิกโดยกระบวนการหมักร่วมกับการเสริมกำมะถัน ในสูตรอาหารผสมสำเร็จที่ใช้หัวมันสดเป็นแหล่งพลังงาน ต่อองค์ประกอบทางเคมี และจลศาสตร์การย่อยได้ในกระเพาะรูเมน โดยทำการจัดที่รีเทนต์ทดลองแบบ 4x3 แฟคทอเรียลภายใต้แผนงานทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ซึ่งแบ่งปัจจัยศึกษาเป็น 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) ระยะเวลาของการหมักที่แตกต่างกัน 4 ช่วง (0, 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ) และ 2) ระดับการเสริมกำมะถันที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (0, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) จากนั้นนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนา ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก และทดสอบจลศาสตร์การผลิตแก๊สในกระเพาะรูเมน ผลการทดลอง พบว่า การหมักที่ 14 วัน ร่วมกับการเสริมกำมะถันที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ปริมาณ HCN ลดลง ($P<0.01$) และทำให้ผลผลิตแก๊สค่าสูงสุด เมื่อแยกอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา พบว่า ระยะเวลาในการหมักที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีในส่วนของ โปรตีน เยื่อใย NDF, ADF รวมถึงค่า NH₃ ปริมาณผลผลิตแก๊สและการย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุมีเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ปริมาณ HCN และค่า pH มีค่าลดลง ($P<0.05$) ส่วนระดับของการเสริมกำมะถันมีผลทำให้ปริมาณเยื่อใย ADF เพิ่มขึ้น ($P<0.01$) ขณะที่ปริมาณ HCN และค่า pH มีค่าลดลง ($P<0.05$) ดังนั้นจากผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการหมักอาหารผสมสำเร็จที่ใช้หัวมันสำปะหลังสดเป็นแหล่งพลังงานร่วมกับการเสริมกำมะถันนั้นสามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาของสูตรอาหารและทำให้ค่าการย่อยได้เพิ่มสูงขึ้น รวมถึงสามารถลดปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก

คำสำคัญ: กรดไฮโดรไซยานิก, กระบวนการหมัก, กำมะถัน, หัวมันสำปะหลังสด

¹ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand 40002

* Corresponding author: petezeezat@gmail.com

ABSTRACT: : The purpose of this study was to investigate an effect of decreasing of hydrocyanic acid by fermentation with supplemented sulfur in total mixed ration in which fresh cassava root as energy source on chemical composition and gas production kinetics. The treatments were arranged in 4×3 factorial in (Completely randomized design: CRD). There were two factors including four ensiling duration (0, 7, 14 and 21 days) and three levels of sulfur supplementation (0, 0.5 and 1 %). After completed of each ensiling times the sample were taken and dried before analyzed nutrient composition and measured gas production. The result showed that at 21 days of fermentation with 0.5 % of sulfur was lowest amount of hydrocyanic acid ($P<0.01$). Accumulative gas production was highest when 14 days of fermentation with 1 % of sulfur ($P<0.01$). Influence of ensiling duration did affect to increase nutrient composition including CP, NDF and ADF, and increased NH_3 , gas production and degradability of OM and DM however decreased HCN and pH when increased of ensiling time ($P<0.05$). Influence of sulfur addition did not effect on gas production and degradability ($P>0.05$). However, ADF content was increased while HCN and pH were decreased when increased of sulfur level ($P<0.05$). Based on the result, it was concluded that ensiling method with addition of sulfur is the appropriated way to reduce hydrocyanic acid and to increase DM and OM degradation of TMR diet in which fresh cassava as energy source.

Keywords: hydrocyanic acid, fermentation, sulfur, fresh cassava root

บทนำ

มันเส้น (cassava chip) เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่ปัจจุบันราคาของมันเส้นมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยสมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย (2562) รายงานว่ามันเส้นมีราคาอยู่ที่กิโลกรัมละ 6.73 บาท ในขณะที่หัวมันสำปะหลังสดมีราคาเพียง 2.30 บาทต่อกิโลกรัม ในกรณีที่หัวมันสดมีราคาต่ำ การพิจารณาใช้มันสดจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม ทั้งนี้การใช้หัวมันสดนั้นอาจมีข้อดีกว่าการใช้มันเส้นทั้งนี้เนื่องจากไม่เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการที่ใช้ประโยชน์ได้ (Promkot and Wanapat, 2009) และยังสามารถกระตุ้นการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Onwuka et al., 1992) อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดพอสมควรในการใช้หัวมันสดในสูตรอาหารสำหรับโคนมกล่าวคือ ในหัวมันสดนั้นมีกรดไฮโดรไซยานิก (hydrocyanic acid: HCN) หรือ ไซยาไนด์ (Cyanide) ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายที่เป็นพิษ หากสัตว์ได้รับกรด HCN ที่สูงอาจทำให้สัตว์ตายได้ (Kumar, 1992) ดังนั้นควรมีการลดปริมาณกรด HCN ในหัวมันสดลงเพื่อให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีรายงานว่ามียาหลายวิธีที่

สามารถลดปริมาณของ HCN ในหัวมันสดได้ เช่น กระบวนการหมักและการเสริมกำมะถันในอาหารที่ใช้หัวมันสดเป็นแหล่งพลังงาน โดยกระบวนการหมักนั้นสามารถลดปริมาณของกรด HCN ในหัวมันสดได้ และยังสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ โดยการหมักหัวมันสด สามารถลดปริมาณกรด HCN ลงได้จนไม่เป็นอันตรายต่อตัวสัตว์ (Boonnop et al., 2009) และยังมีผลดีต่อกระบวนการหมักในรูเมน ในขณะที่ยังเสริมกำมะถัน (Sulfur, S) เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณกรด HCN ในหัวมันสดได้ ซึ่งจากการรายงานของ Promkot and Wanapat (2009) รายงานว่าการเสริมกำมะถันที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณ HCN โดยอยู่ในรูปของ SCN- ได้อย่างมีนัยสำคัญ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักและการเสริมกำมะถันเป็นวิธีการที่สามารถลด HCN ในมันสำปะหลังสด จึงเป็นที่มาของวัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้ คือ เพื่อศึกษาผลของการใช้กระบวนการหมักร่วมกับการเสริมกำมะถันในสูตรอาหารผสมสำเร็จที่ใช้หัวมันสดเป็นแหล่งพลังงานต่อองค์ประกอบทางเคมีและจุลศาสตร์การย่อยได้ในกระเพาะรูเมน

วิธีการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) โดยมีการจัดทรีทเมนต์แบบแฟคทอเรียล (factorial design) ที่มีปัจจัยศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 คือระยะเวลาที่แตกต่างกันในการหมักทั้ง 4 ช่วง (0, 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ) ปัจจัยที่ 2 คือระดับการเสริมกำมะถันที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (0, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ในสูตรอาหารผสมสำเร็จ (total mixed ration, TMR) ที่มีหัวมันสดเป็นแหล่งพลังงาน โดยจัดทรีทเมนต์ได้

ทั้งหมด 12 ทรีทเมนต์คอมบินเนชัน ทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ โดยนำหัวมันสดมาสับเป็นแผ่นบาง ๆ ส่วนกำมะถันนำมาบดให้ละเอียด เพื่อที่จะนำมาผสมร่วมกับแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่น ๆ โดยมีฟางข้าวสับ เป็นแหล่งอาหารหยาบใน TMR (Table 1) จากนั้นทำการเสริมกำมะถันที่ระดับ 0, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แล้วทำการปรับความชื้นให้เป็น 45 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการหมัก TMR เป็นระยะเวลา 0, 7, 14 และ 21 วันตามลำดับ โดยหมักในถังพลาสติกขนาด 1 ลิตร ที่ใส่อากาศออกให้หมดและปิดฝาให้สนิท

Table 1 Ingredients and estimated chemical composition of TMR used in the experiment (% dry matter (DM))

Ingredients, %	TMR (% of DM)	Estimated chemical composition, %	(% DM)
Rice straw	40.0	Dry matter DM, (%)	55.0
Fresh Cassava root	30.0	Organic matter OM, (% DM)	95.0
Rice bran	3.40	Crude protein CP, (% DM)	14.0
Palm meal	5.00	Ether extract EE, (% DM)	3.50
Soybean meal	15.3	Neutral detergent fiber NDF, (% DM)	48.0
Urea	1.00	Acid detergent fiber ADF, (% DM)	27.0
Molasses	3.00		
Salt	1.00		
Di-calcium	1.00		

หลังจากครบระยะเวลาการหมักแต่ละช่วงเวลา คือ ที่ 0, 7, 14 และ 21 วัน อาหารหมักจะถูกนำไปหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter และวิเคราะห์ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH₃-N) ตามวิธีการของ Bremner and Keeney (1965) และนำอาหารบางส่วนไปบดสด ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณ HCN ตามวิธีการของ Lambert et al. (1975) และทำการศึกษาจุลศาสตร์การผลิตแก๊ส ตามวิธีการของ Makkar et al. (1995) เติมน้ำตาลละลายน้ำรุมเนเทียมตามวิธีการของ Menke and Steingass (1988) จากนั้นทำการวัดปริมาณแก๊ส ชั่วโมงที่ 0-96 เพื่อนำมาหาค่าคงที่ a, b และ c โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป fit curve ตาม

แบบจำลองสมการของ Orskov and McDonald (1979) : $y = a + b [1 - \exp(-ct)]$ และในชั่วโมงที่ 24 และ 48 จะทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (IVDMD) การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในหลอดทดลอง (IVOMD) ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH₃-N) นอกจากนี้อาหารที่เหลือจะนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบด เพื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เพื่อหาวัตถุแห้ง (DM), เถ้า (ash), ไขมัน (EE), โปรตีนหยาบ (crude protein, CP), ตามวิธีของ AOAC (1990) และองค์ประกอบของเยื่อใยได้แก่ NDF และ ADF ตามวิธีของ Van Soest et al. (1991) แล้วจากนั้นจะนำ

ข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร (ME) ซึ่งได้ดัดแปลงมาจาก (Menke and Steingass, 1988) มีสมการดังนี้ $ME (MJ/kgDM) = [0.157 (G24h) + 0.0084 (CP) + 0.022 (EE) - 0.0081 (CC) + 1.06]/4.184$ โดยที่ $G24h$ = ค่าผลผลิตแก๊สในชั่วโมงที่ 24, CP = ค่าโปรตีนหยาบ, EE = ค่าของไขมันในอาหาร และ CC = ค่าของเถ้าทั้งหมดในอาหาร

จากนั้นนำข้อมูลจากการวิเคราะห์มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบ Analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ที่จัดทรีทเมนต์แบบแฟคทอเรียล โดยใช้ Proc GLM (SAS, 1996) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองโดย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1980)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของระยะเวลาการหมักร่วมกับระดับการเสริมกำมะถันในสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีหัวมันสดเป็นแหล่งพลังงานต่อองค์ประกอบทางเคมี

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการหมักร่วมกับระดับการเสริมกำมะถันนั้นมีผลให้ปริมาณของกรด HCN ลดลง ($P < 0.01$) โดยลดลงต่ำที่สุดในการหมักที่ระยะเวลาที่ 14 วัน ร่วมกับการเสริมระดับกำมะถันที่ 1 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ค่า Ash มีค่าเพิ่มขึ้น ($P < 0.01$) และยังมีผลทำให้เยื่อใย ADF ($P < 0.05$) (Table 2) และเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา พบว่า ผลของระยะเวลาในการหมักนั้นมีผลทำให้ปริมาณของกรด HCN ค่า pH ลดลง ($P < 0.01$) แต่ส่งผลทำให้ค่าของแอมโมเนียไนโตรเจน เยื่อใย NDF และ ADF นั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ($P < 0.01$) และเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะอิทธิพลของระดับการเสริมกำมะถันนั้นพบว่า มีผลทำให้ปริมาณของกรด HCN และค่า pH ลดลง ($P < 0.05$) แต่จะมีผลทำให้ค่าของเยื่อใย NDF และ ADF นั้นเพิ่มสูงขึ้น ($P < 0.05$) โดยเยื่อใย NDF, ADF และค่า

โปรตีนหยาบ ที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจเป็นผลเนื่องจากการสูญเสียในส่วนที่ละลายน้ำได้ง่ายในระหว่างการหมัก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุรินทร์และคณะ (2546) รายงานว่าการหมักหัวมันสำปะหลังสดที่มีความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 5 นั้นสามารถทำให้ปริมาณ HCN ลดลง จนไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ (Boonnop et al., 2009) โดยกระบวนการหมักนั้นทำให้เกิดความร้อน ส่งผลให้เอนไซม์ลินามาเรสสลายตัวไป จนไม่สามารถย่อยสลายสารไซยาโนเจนิกไกลโคไซด์ในหัวมันสดเพื่อเปลี่ยนเป็น HCN (สุรินทร์และคณะ, 2546) และการเสริมกำมะถันสามารถทำให้กรด HCN ลดลงนั้นเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ rhodanase และ β -mercaptopyruvate ซึ่งถือเป็น sulfur transferase ที่สามารถเร่งให้ HCN กลายเป็น thiocyanate และจะถูกขับออกจากตัวสัตว์ทางปัสสาวะ ซึ่งถือเป็นการลด HCN ได้ (Frankenberg, 1980)

ผลของการหมักร่วมกับการเสริมกำมะถันในสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีหัวมันสดต่อจุลศาสตร์การผลิตแก๊ส

จากการศึกษาจุลศาสตร์การผลิตแก๊สของทรีทเมนต์ต่าง ๆ พบว่า การหมักที่ระยะเวลา 14 วัน ร่วมกับการเสริมกำมะถันที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันระหว่างทรีทเมนต์ และมีผลต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบที่ 24 อินทรีย์วัตถุที่ 24, 48 และค่าประเมินพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสูตรอาหารผสมสำเร็จ มีค่าเหล่านี้สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์อื่น ($P < 0.01$) เมื่อแยกแยะระหว่างอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา พบว่า การหมักที่ระยะเวลาที่ 14 และการเสริมกำมะถันที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ทำให้มีค่าผลผลิตแก๊สสะสมสูงสุด (Figure 1; a and b) และเมื่อคำนวณค่าจุลศาสตร์ของการผลิตแก๊ส พบว่า อัตราการผลิตแก๊ส (c) มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) และเมื่อประเมินค่าศักยภาพของการผลิตแก๊ส (EP) พบว่า ระยะเวลาในการหมักมีผลต่อศักยภาพของการผลิตแก๊ส และค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุของสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีหัวมันสดในระยะเวลาต่างๆ ($P < 0.05$) (Table 3) สอดคล้องกับการศึกษาของ ไกรสิทธิ์และคณะ (2548) พบว่า การหมักอาหาร

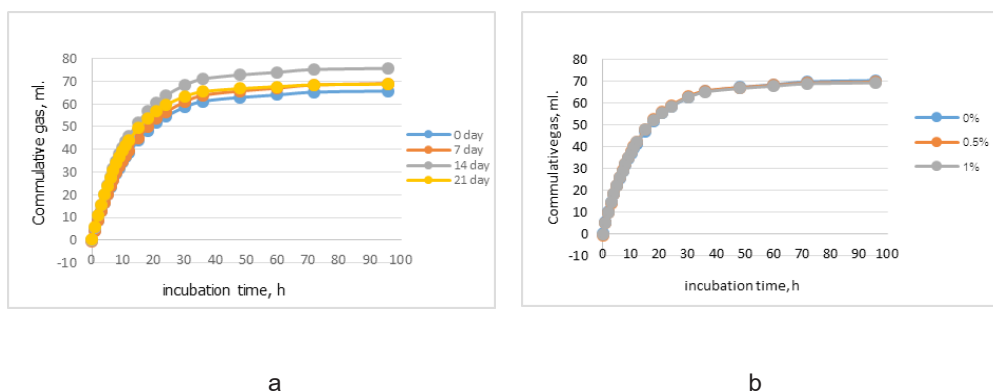


Figure 1 Effect of fermentation and supplemented sulfur levels in total mixed ration containing fresh cassava root as energy source on cumulative gas production at different times of incubation

ผสมสำเร็จที่ใช้ฟางข้าวบดเป็นแหล่งอาหารหยาบ ช่วยให้อาหารผสมสำเร็จมีการย่อยสลายของวัตถุดิบ และการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ อาหารผสมสำเร็จหมักก็มีปริมาณการย่อยได้ของโภชนะดีกว่าอาหารผสมสำเร็จที่ไม่หมัก (Yuangklang et al., 2004 อ้างโดย ไกรสิทธิ์และคณะ, 2548)

สรุปผลการทดลอง

การหมักที่ 21 วัน ร่วมกับการเสริม กากมะถันที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ปริมาณ กรดไฮโดรไซยานิคลดลงต่ำสุด และการหมักที่ 14 วัน ร่วมกับการเสริมกากมะถันที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าเยื่อใย ADF และผลผลิตแก๊สมีค่าสูงสุด เมื่อแยกอิทธิพลพบว่าระยะเวลาในการหมักที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีในส่วน ของโปรตีน เยื่อใย NDF, ADF รวมถึงค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจน ปริมาณผลผลิตแก๊สและการย่อยได้ของ วัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุมีเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคและค่า pH มีค่าลดลง ส่วนระดับของการเสริมกากมะถันที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ ปริมาณเยื่อใย ADF เพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ปริมาณกรด ไฮโดรไซยานิคและค่า pH มีค่าลดลง ดังนั้นจากผล การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการหมัก อาหารผสมสำเร็จที่ใช้หัวมันสำปะหลังสดเป็นแหล่ง พลังงานร่วมกับการเสริมกากมะถันนั้นมีความสามารถ ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของสูตรอาหารและมี แนวโน้มทำให้ค่าการย่อยได้เพิ่มสูงขึ้น รวมถึง สามารถลดปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนอุดหนุนทั่วไป ประจำปี 2561 และสาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและสถานที่ทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ไกรสิทธิ์ วสุเพ็ญ, เฉลิมพล เยื้องกลาง และสุนทร วิทยาคุณ. 2548. อาหารผสมสำเร็จและอาหารผสมสำเร็จหมักต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและค่าการย่อยได้ของโภชนะในโคนมเพศผู้. รมบพคัดย่อ : การสัมมนาวิชาการเกษตร. ณ ห้องประชุม กวีจิตกุลคณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 78-79.
- สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย. 2562. การเปลี่ยนแปลงราคาวัตถุดิบรายเดือน. ข้อมูลจาก <http://www.thaifeedmill.com/tabid/78/Default.aspx>. ค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2562
- สุรินทร์ ตั้งมันคงวรกุล, สุวิษ ศิริวัฒนโยธิน และวีระ โลหะ. 2546. การสลายตัวของสารไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังสดด้วยเอนไซม์ที่มีอยู่เอง. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 26:475-486.

- AOAC. 1990. Official Method of Analysis. 15th Ed., Association of official Agriculture Chemicals, Arlington, VA, USA.
- Boonnop, K., M. Wanapat, N. Nontaso, and S. Wanapat. 2009. Enriching nutritive value of cassava root by yeast fermentation. *Sci. Agric.* 66:616-620.
- Bremner, J. M., and D. R. Keeney. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate, and nitrite. *Anal. Chim. Acta.* 32:485-495.
- Frankenberg, L. 1980. Enzyme therapy in cyanide poisoning: Effect of rhodanese and sulfur compounds. *Arch. Toxicol.* 45:315-323.
- Kumar, R. 1992. Anti-nutritional factors, the potential risks of toxicity and methods to alleviate them. (Online) Available: <http://www.fao.org/3/a-t0632e/T0632E10.htm>. Accessed 15 Mar. 2017.
- Lambert, J. L., J. Ramasamy, and J. F. Paukstelis. 1975. Stable reagents for the colorimetric determination of cyanide by modified Konig reactions. *Anal. Chem.* 47:916-918.
- Makkar, H. P. S., M. Blummel, and K. Becker. 1995. Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in in vitro techniques. *Br. J. Nutr.* 73:897-913.
- 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.
- Onwuka, C. F. I., A. O. Akinsoyinu., and O. O. Tewe. 1992. Role of sulphur in cyanide detoxification in ruminants. *Rumin.* 8:277-284.
- Orskov, E. R., and I. McDonald. 1979. The Estimation of Protein Degradability in the Rumen from Incubation Measurements Weighted According to Rate of Passage. *J. Agri. Sci.* 92:499-503
- Promkot, C., and M. Wanapat. 2009. Effect of Elemental Sulfur Supplementation on Rumen Environment Parameters and Utilization Efficiency of Fresh Cassava Foliage and Cassava Hay in Dairy Cattle. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 22:1366 – 1376.
- Steel, R. G. D., and J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedure of Statistics. New York: McGraw Hill Book Co., U.S.A.
- Van Soest, P.J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.

Table 2 Effect of fermentation and supplemented sulfur in total mixed ration containing fresh cassava root as energy source on chemical composition.

Item	0 days			7 days			14 days			21 days			SEM	A	B	A x B
	0 %	0.5 %	1 %	0 %	0.5 %	1 %	0 %	0.5 %	1 %	0 %	0.5 %	1 %				
HCN (ppm.)	14.4 ^a	10.9 ^b	10.6 ^c	3.76 ^d	1.95 ^e	1.66 ^f	1.16 ^g	1.27 ^g	0.74 ^h	1.34 ^g	0.63 ^h	1.14 ^g	0.06	<0.01	<0.01	<0.01
pH	6.41	6.36	6.35	4.26	4.84	4.84	4.63	4.75	4.84	4.69	4.65	4.91	0.10	<0.01	0.02	0.07
NH ₃ -N (mg%)	12.1	12.1	12.1	10.9	20.6	17.0	15.8	18.2	21.8	32.8	37.6	38.9	3.33	<0.01	0.14	0.77
Chemical composition	% of DM															
Dry matter	53.0	55.9	57.2	55.4	53.8	52.8	53.2	52.3	53.4	51.0	53.3	53.0	3.24	0.71	0.92	0.95
Crude protein	14.9	14.4	15.6	15.7	15.1	15.7	16.1	16.5	15.8	15.8	14.8	14.4	0.40	0.01	0.29	0.15
Fat	3.50	3.29	3.05	4.75	3.65	4.60	5.08	3.69	4.37	3.63	3.22	3.26	0.82	0.24	0.43	0.98
Ash	4.59 ^{abcd}	4.62 ^{abcd}	4.50 ^{bcd}	3.33 ^d	5.13 ^{abc}	5.40 ^{ab}	4.69 ^{abcd}	5.45 ^{ab}	4.51 ^{bcd}	6.09 ^a	4.36 ^{bcd}	3.71 ^{cd}	0.45	0.84	0.55	0.01
NDF	47.0	47.0	54.0	41.0	47.0	46.5	49.0	48.0	52.0	53.0	50.5	50.0	1.69	<0.01	0.05	0.06
ADF	24.0 ^{ef}	25.5 ^{de}	27.5 ^{abcd}	22.0 ^f	28.0 ^{abcd}	26.5 ^{cd}	26.0 ^{cde}	27.0 ^{bcd}	30.0 ^a	28.5 ^{abc}	29.5 ^{ab}	29.5 ^{ab}	0.73	<0.01	<0.01	0.02

^{a,b} Means with different superscripts in row are significantly different (P<0.05), SEM = standard error of the mean, HCN = Hydrogen cyanide, NH₃-N= Ammonia-nitrogen, A= fermented, B= sulfur level.

Table 3 Effect of fermentation and supplemented sulfur in total mixed ration containing fresh cassava root as energy source on gas kinetics, cumulative gas production, digestibility, Ammonia-N and metabolizable energy.

Item	0 days			7 days			14 days			21 days			SEM	A	B	A x B
	0 %	0.5 %	1 %	0 %	0.5 %	1 %	0 %	0.5 %	1 %	0 %	0.5 %	1 %				
A	-0.52	-0.60	0.45	-0.23	-1.03	-0.65	1.43	-1.29	-0.51	1.05	0.78	-0.41	0.64	0.22	0.10	0.15
B	68.7	68.0	62.3	69.9	69.2	71.3	75.3	75.7	77.5	67.8	69.0	68.6	3.23	<0.01	0.97	0.81
C	0.076	0.074	0.071	0.062	0.080	0.072	0.080	0.073	0.078	0.075	0.087	0.09	0.005	0.02	0.26	0.15
D	69.6	68.6	63.0	71.1	70.4	72.0	77.1	77.0	78.9	68.8	70.0	69.1	3.349	<0.01	0.92	0.86
EP	44.4	43.5	40.1	42.1	45.0	45.1	51.4	47.5	50.8	45.2	48.1	48.0	3.029	0.03	0.99	0.78
IVMD																
24 h.	59.4 ^d	61.4 ^{bcd}	54.7 ^e	63.8 ^{abc}	62.9 ^{bcd}	54.9 ^e	59.8 ^{cd}	59.6 ^{cd}	67.6 ^a	59.4 ^d	60.3 ^{bcd}	64.1 ^{ab}	1.22	0.01	0.71	<0.01
48 h.	68.1	67.2	63.3	65.9	66.2	67.7	68.2	74.0	73.9	70.7	71.6	76.6	1.79	<0.01	0.26	0.09
IVOMD																
24 h.	63.8 ^{cd}	68.6 ^b	61.8 ^d	69.9 ^{ab}	68.9 ^b	61.4 ^d	65.7 ^{bcd}	65.6 ^{bcd}	73.3 ^a	65.5 ^{bcd}	65.4 ^{bcd}	67.5 ^{bc}	1.33	0.05	0.44	<0.01
48 h.	74.2 ^{bc}	73.4 ^{bcd}	67.9 ^f	69.4 ^{ef}	69.9 ^{def}	72.7 ^{cde}	74.0 ^{bcd}	78.8 ^a	79.0 ^a	77.5 ^{ab}	76.6 ^{abc}	78.4 ^a	1.27	<0.01	0.51	<0.01
Ammonia-N																
24 h.	14.6	14.6	14.6	17.0	18.2	17.0	15.8	12.1	15.8	13.3	18.2	21.8	1.82	0.08	0.27	0.17
48 h.	14.6	17.0	15.8	19.4	18.2	18.2	19.4	18.2	15.8	19.4	21.8	17.0	1.95	0.18	0.32	0.74
ME, Mcal/kg DM	2.42 ^g	2.38 ^h	2.20 ⁱ	2.32 ^j	2.46 ^e	2.47 ^d	2.74 ^a	2.59 ^b	2.74 ^a	2.45 ⁱ	2.59 ^b	2.55 ^c	0.01	<0.01	<0.01	<0.01

^a a = the intercept and ideally reflects the fermentation of the soluble fraction (ml), b = the fermentation of the insoluble (but with time fermentation, ml), c = rate of gas production (ml/hr), d = /a/+b, EP= effective gas production potential, IVMD = in vitro dry matter digestibility, IVOMD = in vitro organic matter digestibility, ME = metabolizable energy, A= fermented, B= sulfur level, ^{ab} Means with different superscripts in row are significantly different (P<0.05), SEM = standard error of the mean.