

การประเมินคุณค่าทางโภชนาของแหล่งอาหารพลังงานสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส

ทรงศักดิ์ จำปาอะดี*, กฤตพล สมมาตย์, เทวินทร์ วงษ์พระลับ และ วิโรจน์ ภัทรจินดา

Songsak Chumpawadee*, Kritapon Sommart, Thevin Vongpralub and Virote Pattarajinda. (2005). Nutritional Evaluation of Energy Feed Source for Ruminant Using In vitro Gas Production Technique. Suranaree J. Sci. Technol. 12(3):239-247.

Received: Apr 18, 2005; Revised: Jun 14, 2005; Accepted: Aug 10, 2005

Abstract

Five energy feed sources were used to evaluate nutritive value by *in vitro* gas production technique. The rumen mixed microbe inoculums source was taken from fistulated Brahman-Thai native crossbred steers. The treatments were 1) ground corn, 2) cassava chip, 3) broken rice, 4) rice bran and 5) rice pollard. The treatment were assign to complete randomize design. The result found that soluble gas fraction (a) (-32.39, -50.98, -34.02, -21.67, and -3.39 mL, respectively), fermentation of insoluble fraction (b) (132.39, 150.98, 134.02, 119.09, and 62.66 mL, respectively), rate of gas production (c) (0.12, 0.19, 0.08, 0.11, and 0.06 %/h, respectively), potential of extent of gas production (d) (164.79, 201.97, 168.05, 140.76, and 66.05 mL, respectively) and estimated metabolizable energy (ME) (9.37, 10.48, 7.92, 8.01, and 5.17 MJ/kgDM, respectively) were significantly difference ($P < 0.01$) among energy feed source. The cumulative gas volume at 24, 48, and 96 h after incubation were highly significant difference ($P < 0.01$). Cassava chip was showed highest gas production characteristic, gas volume and estimated metabolizable energy. These results suggest that cassava chip as local feed and cheap was highest potentiality energy source for beef and dairy cattle.

Keywords: Energy feed sources, *In vitro* gas production, metabolizable energy

บทคัดย่อ

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและประเมินคุณค่าทางโภชนาของอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยวิธีผลผลิตแก๊สในหลอดทดลอง (*In vitro* gas production technique) ของวัตถุดิบแหล่งอาหารพลังงาน ใช้ของเหลวในกระเพาะหมักจากโคเนื้อเพศผู้ตอนเจาะกระเพาะ พันธุ์ลูกผสมบราห์มันพื้นเมืองเป็นแหล่งของจุลินทรีย์ในหลอดทดลอง ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยมีวัตถุดิบอาหารเป็นปัจจัยการทดลองคือ 1) ข้าวโพดบด 2) มันเส้น 3) ปลายข้าว 4) รำละเอียด และ 5) รำหยาบ ผลการทดลอง พบว่า ค่าจุดตัดแกน y (a) มีค่าเท่ากับ -32.39, -50.98, -34.02, -21.67 และ -3.39 มิลลิลิตร ตามลำดับ ($P < 0.01$) ค่าปริมาตรแก๊ส ณ จุดที่เส้นกราฟราบเรียบ (b) มีค่าเท่ากับ 132.39, 150.98, 134.02, 119.09 และ 62.66 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

* ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ

วารสารเทคโนโลยีสุรนารี 12(3):239-247

($P < 0.01$) อัตราการผลิตแก๊ส (c) มีค่าเท่ากับ 0.12, 0.19, 0.08, 0.11 และ 0.06 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมงตามลำดับ ($P < 0.01$) ค่าศักยภาพในการผลิตแก๊ส (d) มีค่าเท่ากับ 164.79, 201.97, 168.05, 140.76 และ 66.05 มิลลิลิตร ตามลำดับ ($P < 0.01$) และค่าประเมินพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) มีค่าเท่ากับ 9.37, 10.48, 7.92, 8.01 และ 5.17 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ ($P < 0.01$) ปริมาตรผลผลิตแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยมันเส้นมีศักยภาพการผลิตแก๊ส ปริมาตรผลผลิตแก๊ส และค่าประเมินพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุด ซึ่งชี้ให้เห็นว่า มันเส้นซึ่งหาได้ง่ายและมีราคาถูก เป็นแหล่งอาหารพลังงานมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสำหรับโคเนื้อและโคนม

บทนำ

วัตถุดิบแหล่งพลังงานเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในสูตรอาหารโคเนื้อโคนมที่ให้ผลผลิตสูงสัดส่วนประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ (ทรงศักดิ์ จำปาอะสี, 2545) ดังนั้นการเลือกใช้วัตถุดิบแหล่งพลังงานเพื่อนำมาประกอบสูตรอาหารสัตว์นอกจากจะคำนึงถึงราคาแล้วยังมีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนา โดยเฉพาะองค์ประกอบทางเคมีและความสามารถในการย่อยสลายด้วย ศรีสกุล วรจันทร์ และคณะ (2547) ได้เสนอแนวทางในการเลือกใช้วัตถุดิบแหล่งพลังงานโดยการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี และทำการจัดลำดับชั้นคุณภาพของแหล่งพลังงาน วิธีการประเมินคุณค่าทางโภชนาอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่ง Menke *et al.* (1979) และ Menke and Steingass (1988) พบว่าเทคนิคผลผลิตแก๊สในหลอดทดลองเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการประเมินคุณค่าทางโภชนาและจุลศาสตร์การย่อยสลายของอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้อย่างแม่นยำสูง เนื่องจากผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับกระบวนการหมักและการย่อยสลายของวัตถุดิบอาหาร นอกจากนี้เทคนิคผลผลิตแก๊สยังสามารถใช้ประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้อีกด้วย (Menke *et al.*, 1979) พีรพจน์ นิตินันท์ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546) ทำการประเมินคุณค่าทางโภชนาอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องของผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรงมันสำปะหลังอาหารแหล่งพลังงาน และอาหารหยาบ โดยใช้เทคนิค

ผลผลิตแก๊สดังกล่าว พบว่า สามารถประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ใกล้เคียงกับค่าประเมินในตัวสัตว์ และพบว่าผลพลอยได้จากโรงงานแปรงมันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูงในการใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อทดแทนแหล่งวัตถุดิบพลังงานที่มีราคาแพงในตลาด

เนื่องจากการประเมินคุณค่าทางโภชนาคุณลักษณะในการย่อยสลาย และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ของไทยยังมีข้อมูลอยู่น้อยมาก ดังนั้นการทดลองนี้จึงนำเอาเทคนิคผลผลิตแก๊สมาใช้ในการประเมินคุณค่าทางโภชนาในวัตถุดิบแหล่งพลังงานที่เกษตรกรไทยใช้กันอย่างแพร่หลาย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การสุ่มวัตถุดิบอาหารสัตว์และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

สุ่มตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงานจำนวน 5 ชนิด จากโรงผสมอาหารสัตว์มหาวิทยาลัยขอนแก่น โรงผสมอาหารสัตว์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ร้านส่งเสริมการเกษตรบริษัทเจริญอีสานการเกษตร สหกรณ์โคนมจังหวัดขอนแก่น และสหกรณ์โคนมจังหวัดมหาสารคาม โดยวัตถุดิบอาหารประเภทพลังงานที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ข้าวโพดบด มันเส้น ปลายข้าวรำละเอียด และรำหยาบ ได้ทำการบดตัวอย่างวัตถุดิบ

อาหารสัตว์ผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร นำเอาตัวอย่างที่บดเสร็จแล้วไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง (DM) โปรตีน (CP) เถ้า (Ash) ตามวิธีของ AOAC (1990) และ ผนังเซลล์ (NDF) ลิกนินเซลล์ลูโลส (ADF) ลิกนิน (ADL) ตามวิธีของ van Soest *et al.* (1991)

แผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยมีปัจจัยการทดลอง 5 ชนิดคือ 1) ข้าวโพดบด (corn meal; CM) 2) มันเส้น (cassava chip; CC) 3) ปลายข้าว (broken rice; BR) 4) รำละเอียด (rice bran; RB) และ 5) รำหยาบ (rice pollard; RP) มีจำนวนซ้ำในแต่ละปัจจัยการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ

วิธีศึกษาจุลศาสตร์การผลิตแก๊สเพื่อประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหาร

ทำการศึกษาจุลศาสตร์การผลิตแก๊สตามวิธีการของ Makkar *et al.* (1995) และประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) ตามสมการของ Menke *et al.* (1979) $\{ME (MJ/kgDM) = 2.20 + (0.136 \times Gv) + (0.057 \times \%CP)\}$ ในการทดลองครั้งนี้ใช้ของเหลวจากกระเพาะหมัก (rumen fluid) จากโคลูกผสมบราห์มันพื้นเมืองเพศผู้ตอนเจาะกระเพาะ น้ำหนัก 250 ± 15 กิโลกรัม จำนวนสองตัว เพื่อเป็นแหล่งจุลินทรีย์ในหลอดทดลอง ซึ่งโคได้รับอาหารหยาบคือฟางข้าวโดยให้แบบเต็มที่ (*ad libitum*) และได้รับอาหารข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (อาหารข้นประกอบด้วย มันเส้น 49.80 เปอร์เซ็นต์ รำละเอียด 17.5 เปอร์เซ็นต์ กากปาล์ม 14.60 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลือง 7.0 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 1.40 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 0.4 เปอร์เซ็นต์ แร่ธาตุผสม 1.0 เปอร์เซ็นต์ และกากน้ำตาล 8.30 เปอร์เซ็นต์) ทำการวัดปริมาตรแก๊สโดย 12 ชั่วโมงแรกของการบ่มวัตถุดิบทำการวัดปริมาตรแก๊สทุกหนึ่งชั่วโมงต่อมาวัดปริมาตรแก๊สทุก 3 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่ 24 จากนั้นวัดปริมาตรแก๊สทุก 6 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่ 96

วิธีวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

หาค่า a, b และ c โดยใช้โปรแกรม SAS (SAS, 1996) เพื่ออธิบายจลศาสตร์ของการผลิตแก๊สจากสมการของ ϕ rskov and McDonald (1979) คือ $y = a + b [(1 - \text{Exp}(-ct))]$ เมื่อ y = ผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น ณ เวลา t, a = จุดตัดแกน y, b = ค่าปริมาตรแก๊ส ณ จุดที่เส้นกราฟราบเรียบ (asymptote), c = อัตราการผลิตแก๊ส หลังจากนั้นหาค่า a และ b ที่ได้จากสมการนี้ไปประเมินค่าศักยภาพในการผลิตแก๊ส (d) จากสมการ $d = |a| + b$

นำค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊สที่วัดได้ทั้งหมดจากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปัจจัยการทดลองโดยวิธี Duncan New's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1996)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแหล่งพลังงาน

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารพลังงานดังรายละเอียดในตารางที่ 1 โดยพบว่าข้าวโพดบดมีค่าโปรตีนต่ำกว่าที่รายงานโดยกรมปศุสัตว์ (2547); Getachew *et al.* (2002); NRC (2001) ที่มีโปรตีนเท่ากับ 11.30, 11.10 และ 9.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่สูงกว่าที่รายงานโดย Chanjula *et al.* (2003) ที่มีโปรตีนเท่า 7.80 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์โปรตีนของข้าวโพดบดในการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานโดย นภาพันท์ ไชยวงศ์ และคณะ (2543) และ ศรีสกุล วรจันทร์ และคณะ (2547) ที่มีโปรตีนเท่ากับ 8.30 และ 8.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าระดับผนังเซลล์ของข้าวโพดบดมีค่าสูงกว่า Getachew *et al.* (2002) ที่มีผนังเซลล์เท่ากับ 12.40 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าผนังเซลล์ และ ลิกนินเซลล์ลูโลสต่ำกว่าที่รายงานโดยกรมปศุสัตว์ (2547) ที่มีค่าเท่ากับ 22.08 และ 8.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

มันเส้น พบว่า มีค่าโปรตีนสูงกว่าที่รายงานไว้โดย พีรพจน์ นิตินิจ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546) ที่มีโปรตีนเท่ากับ 1.49 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าที่ต่ำกว่าที่รายงานโดยกรมปศุสัตว์ (2547); ศรีสกุล วรจันทรา และคณะ (2547); Chanjula *et al.* (2003) ที่มีโปรตีนเท่ากับ 2.20, 2.00 และ 2.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ผนังเซลล์ ลิกนินเซลลูโลส และ ลิกนิน มีค่าต่ำกว่าที่รายงานโดย พีรพจน์ นิตินิจ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546) ที่มีค่าเท่ากับ 8.83, 8.04 และ 4.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามค่า ลิกนินเซลลูโลส และค่าลิกนิน ใกล้เคียงกับที่รายงานโดยกรมปศุสัตว์ (2547) ที่มีค่าเท่ากับ 5.74 และ 1.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปลายข้าว พบว่า ระดับโปรตีนใกล้เคียงกับ พีรพจน์ นิตินิจ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546) และกรมปศุสัตว์ (2547) ที่มีค่าเท่ากับ 7.68 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าต่ำกว่าที่รายงานโดย NRC (1988) และ ศรีสกุล วรจันทรา และคณะ (2547) ที่มีค่าเท่ากับ 8.60 และ 8.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนระดับเถ้า ลิกนิน เซลลูโลส และลิกนิน มีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานโดย พีรพจน์ นิตินิจ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546) ที่มีค่าเท่ากับ 0.82, 0.63 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ค่าผนังเซลล์ (NDF) มีค่าสูงกว่าที่รายงานโดย พีรพจน์ นิตินิจ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546) ที่มีค่าเท่ากับ 1.44 เปอร์เซ็นต์

รำละเอียด พบว่า มีระดับโปรตีนสูงกว่าที่รายงานโดย Chanjula *et al.* (2003) ที่มีค่าเท่ากับ

13.30 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานโดย กรมปศุสัตว์ (2547) และ ศรีสกุล วรจันทรา และคณะ (2547) ที่มีค่าเท่ากับ 14.93 และ 14.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ต่ำกว่าที่รายงานโดย NRC (2001) ที่มีค่าเท่ากับ 15.50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าผนังเซลล์และลิกนินเซลลูโลส มีค่าต่ำกว่าที่รายงานโดย Chanjula *et al.* (2003) ที่มีค่าเท่ากับ 35.10 และ 20.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่สูงกว่าที่รายงานโดยกรมปศุสัตว์ (2547) ที่มีค่าเท่ากับ 14.73 และ 6.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งในกลุ่มอาหารพลังงานที่นำมาทดลอง พบว่า รำละเอียดมีค่าโปรตีนสูงที่สุด

รำหยาบ พบว่า มีระดับโปรตีนใกล้เคียงกับข้าวโพดบด (ตารางที่ 1) และสูงกว่าที่รายงานโดยกรมปศุสัตว์ (2547) ที่มีค่าเท่ากับ 5.96 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าผนังเซลล์และลิกนินเซลลูโลสมีค่าต่ำกว่าที่รายงานโดยกรมปศุสัตว์ (2547) ที่มีค่าเท่ากับ 72.56 และ 58.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รำหยาบมีระดับผนังเซลล์ ลิกนินเซลลูโลส และลิกนินอยู่สูงกว่าวัตถุดิบแหล่งพลังงานอื่น ๆ ที่นำมาทำการทดลองซึ่ง สาเหตุอาจเกิดจากแถบที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของรำหยาบ

ความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแหล่งพลังงานจากการทดลองครั้งนี้กับรายงานของนักวิจัยอื่น อาจเกิดจากแหล่งที่มาของวัตถุดิบและความแปรปรวนของการวิเคราะห์ในแต่ละห้องปฏิบัติการ

Table 1. Chemical composition of energy feed source

Feedstuffs ¹	DM (%)	CP	Ash	NDF	ADF	ADL
GC	92.20 ± 0.05	8.53 ± 0.10	1.69 ± 0.02	13.25 ± 0.17	3.63 ± 0.06	0.41 ± 0.03
CC	93.40 ± 0.39	1.89 ± 0.07	2.01 ± 0.08	6.93 ± 0.68	6.35 ± 0.22	1.87 ± 0.13
BR	92.06 ± 0.38	7.80 ± 0.15	0.66 ± 0.02	9.28 ± 0.11	0.65 ± 0.08	0.12 ± 0.01
RB	91.70 ± 0.06	14.26 ± 0.32	6.31 ± 0.07	20.29 ± 0.24	8.12 ± 0.10	2.61 ± 0.00
RP	90.49 ± 0.02	8.46 ± 0.28	14.08 ± 0.08	61.18 ± 0.30	45.96 ± 1.27	11.91 ± 0.32

Where: DM = dry matter; CP = crude protein; NDF = neutral detergent fiber; ADF = acid detergent fiber; ADL = acid detergent lignin

¹GC = ground corn, CC = Cassava chip, BR = Broken rice, RB = Rice bran, RP = Rice pollard

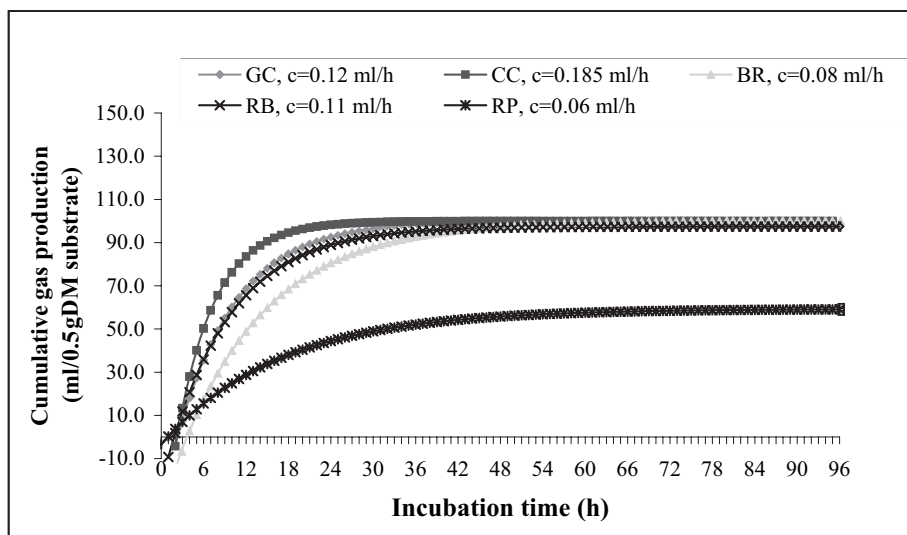


Figure 1. Cumulative gas volume estimated by $y = a + b [(1 - \text{Exp}(-ct))]$ (mL/0.5 gDM Substrate) throughout 96 h. (GC = ground corn, CC=cassava chip, BR = broken rice, RB = rice bran and RP = rice pollard)

Table 2. Gas production characteristics, gas volume (mL) and estimated metabolizable energy (MJ/kgDM) of energy feed source using gas production technique

Parameters	Treatment ¹					SEM
	GC	CC	BR	RB	RP	
Gas production characteristic ²						
A	-32.39 ^c	-50.98 ^d	-34.02 ^c	-21.67 ^b	-3.39 ^a	3.70
B	132.39 ^b	150.98 ^a	134.02 ^b	119.09 ^c	62.66 ^d	7.05
C	0.12 ^b	0.18 ^a	0.08 ^{cb}	0.11 ^{cb}	0.06 ^d	0.01
D	164.79 ^b	201.97 ^a	168.05 ^b	140.76 ^c	66.05 ^d	10.62
Gas production volume (mL/0.5g) ³						
24 h	123.00 ^b	150.38 ^a	97.00 ^c	91.88 ^c	45.75 ^d	8.55
48 h	159.12 ^b	190.25 ^a	144.00 ^b	100.75 ^c	54.62 ^d	11.08
96 h	176.87 ^b	205.37 ^a	166.50 ^b	107.50 ^c	59.75 ^d	12.13
ME, MJ/kgDM ⁴	9.37 ^a	10.48 ^a	7.92 ^b	8.01 ^b	5.17 ^c	0.44

a, b, c, d Means within a row different superscripts differ ($P < 0.01$)

¹GC = ground corn, CC = cassava chip, BR = broken rice, RB = rice bran and RP = rice pollard

² = the intercept (mL), which ideally reflects the fermentation of the soluble fraction, B = the fermentation of the insoluble fraction (asymptote) (mL), C = rate of gas production (%/h), (D) = potential extent of gas production (mL)

³ 24 h = gas volume at 24 h after incubation, 48 h = gas volume at 48 h after incubation, 96 h = gas volume at 96 h after incubation

⁴ ME (MJ/kgDM) = $2.20 + (0.136 \times Gv) + (0.057 \times \%CP)$ (Menke *et al.*, 1979)

ลักษณะรูปแบบการผลิตแก๊สของวัตถุดิบแหล่งพลังงาน (Gas Production Characteristics)

ลักษณะรูปแบบการผลิตแก๊สสามารถอธิบายด้วยหุ่นจำลอง $y = a + b [(1 - \text{Exp}(-ct))]$ (Prskov and McDonald, 1979) ที่ใช้บ่งบอกถึงจลศาสตร์การย่อยสลายวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก (รูปที่ 1 และตารางที่ 2) พบว่า จลศาสตร์การย่อยสลายของวัตถุดิบอาหารพลังงานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) โดยค่า a ของรำหยาบมีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือ รำละเอียด ข้าวโพดบด ปลายข้าว และมันเส้น มีค่าเท่ากับ -3.39, -21.67, -32.33, -34.02 และ -50.98 ตามลำดับ ค่า a เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายที่เกิดจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งในกรณีการประเมินโดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊สมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ค่าสัมบูรณ์ของ a ($|a|$) เพื่อบ่งบอกถึงค่าของส่วนที่สามารถละลายน้ำของวัตถุดิบแต่ละชนิด ซึ่งจากการทดลองนี้จะเห็นว่ามันเส้นเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานที่มีค่าของส่วนที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด สอดคล้องกับ พีรพจน์ นิตพิจน์ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546) และนอกจากนั้นยังสอดคล้องกับการทดลองโดยใช้เทคนิคถุงในลอนที่ทำการทดลองโดย Chanjula *et al.* (2003) ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากมันเส้นมีส่วนของแป้งมากกว่าในวัตถุดิบพลังงานอื่น ๆ

ค่า b หมายถึงปริมาณแก๊สรวมทั้งหมด ณ จุดเส้นกราฟราบเรียบ ซึ่งจะบ่งบอกถึงส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายของวัตถุดิบ หากวัตถุดิบมีค่า b สูงแสดงว่ามีส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายได้สูง เนื่องจากปริมาณแก๊สที่ผลิตได้จะมีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับการย่อยสลายได้ของวัตถุดิบ (Menke *et al.*, 1979; Menke and Steingass, 1988) จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่าค่า b ของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) โดยค่า b ของมันเส้นมีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือ ข้าวโพด ปลายข้าว รำละเอียด และรำหยาบ ตามลำดับ นอก

จากนั้นยังพบว่าจุดที่เส้นกราฟราบเรียบจะเริ่มตั้งแต่ประมาณชั่วโมงที่ 42 (กราฟที่ 1) ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าโดยส่วนมากแหล่งพลังงานจะสามารถย่อยสลายได้เร็วเพราะแหล่งของผลผลิตแก๊สโดยส่วนมากจะมาจาก การย่อยสลายได้ของแหล่งอาหารพลังงาน (Getachew *et al.*, 1998)

ค่า c หมายถึงอัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมัก มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง จากการทดลองพบว่าค่า c ของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) โดยค่า c ของมันเส้นมีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือ ข้าวโพดบด รำละเอียด ปลายข้าว และรำหยาบ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามันเส้นมีค่าอัตราการผลิตแก๊สที่เร็วที่สุดในกลุ่มอาหารพลังงานด้วยกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราการย่อยสลายที่วัดด้วยเทคนิคถุงในลอนที่ทำการทดลองโดย Chanjula *et al.* (2003) ซึ่งพบว่ามันเส้นมีอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งพลังงานอื่น ๆ นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับพีรพจน์ นิตพิจน์ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546) ซึ่งพบว่าค่า c ของมันเส้นจากการประเมินโดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊สมีค่าสูงกว่าค่า c ของข้าวโพดบดและปลายข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

ค่า d หมายถึงศักยภาพในการผลิตแก๊สจากการทดลองพบว่าค่า d ของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยมันสำปะหลังมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมันสำปะหลังมีผนังเซลล์ต่ำที่สุด (ตารางที่ 1) จึงทำให้สามารถย่อยสลายได้สูงที่สุดสอดคล้องกับพีรพจน์ นิตพิจน์ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546) นอกจากนั้นยังพบว่ารำหยาบมีค่า d ต่ำที่สุด เนื่องจากมีปริมาณผนังเซลล์และลิกนินสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ (ตารางที่ 1) ซึ่งระดับผนังเซลล์และลิกนินที่อยู่ในวัตถุดิบอาหารจะมีผลโดยตรงกับความสามารถในการย่อยสลายได้ของวัตถุดิบอาหารและจะส่งผลถึงปริมาณการกินได้อีกด้วย (Ibrahim *et al.*, 1995)

ปริมาตรผลผลิตแก๊ส

ปริมาตรแก๊สสะสมที่เกิดขึ้นจากการหมักในชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 2 พบว่าปริมาตรแก๊สสะสมในชั่วโมงที่ 24 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยปริมาตรแก๊สสะสมของมันเส้นมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ข้าวโพดบด ปลายข้าว รำละเอียด และรำหยาบ ตามลำดับ นอกจากนี้ ปริมาตรแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 48 และในชั่วโมงที่ 96 ก็ให้ผลที่มีรูปแบบและทิศทางเช่นเดียวกับในชั่วโมงที่ 24 Menke *et al.* (1979) ได้รายงานว่ามีปริมาตรแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24 มีความสัมพันธ์กันสูงกับค่าพลังงานในวัตถุดิบอาหารสัตว์ จึงสามารถใช้ ปริมาตรแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24 ทำนายค่าของพลังงานในวัตถุดิบได้อย่างแม่นยำสูง นอกจากนี้ ปริมาตรแก๊สสะสมมีความสัมพันธ์กันกับค่าพลังงานในวัตถุดิบแล้ว ยังมีความสัมพันธ์กับการย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุ (พีรพจน์ นิตินันท์ และ กฤตพล สมมาตย์ 2546; Sommart *et al.*, 2000) นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กันกับปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ (Blummel and Becker, 1997) และอัตราการเจริญเติบโตในโค (Blummel and Ørskov, 1993)

การประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME)

พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่ประเมินจากผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 และค่าโปรตีนหยาบของวัตถุดิบตามสมการทำนายค่า ME ของ Menke *et al.* (1979) ($ME, MJ/kgDM = 2.20 + (0.136 \times Gv) + (0.057 \times \%CP)$) โดย $Gv =$ ปริมาตรแก๊สที่ 24 ชั่วโมง ($mL/0.2 g$ substrate), $CP =$ ค่าโปรตีนหยาบของวัตถุดิบ (เปอร์เซ็นต์) ได้ผลการศึกษาคำนวณดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าวัตถุดิบอาหารพลังงานทั้ง 5 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) โดยค่าพลังงานที่ประเมินได้จากมันเส้นมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ข้าวโพดบด รำละเอียด ปลายข้าว และรำหยาบ โดยมีค่า ME (for ruminant) เท่ากับ 10.48, 9.37, 8.01, 7.92 และ 5.71 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ค่าพลังงานที่ประเมินได้จากมันเส้นและข้าวโพดบดมีค่าใกล้เคียงกับที่ประเมินโดยพีรพจน์ นิตินันท์ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546) (10.48, 9.37 และ 10.03, 9.82 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) และค่าพลังงานของมันเส้นสำปะหลังมีค่าต่ำกว่าที่รายงานโดย Brigstock *et al.* (1981) และ Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (1992) ที่รายงานว่ามีค่าเท่ากับ 11.2 และ 12.6 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ค่าพลังงานที่ประเมินได้จากปลายข้าวมีค่าต่ำกว่าที่ประเมินโดยพีรพจน์ นิตินันท์ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546) (7.92 และ 10.08 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าพลังงานที่ประเมินได้ของข้าวโพดบด และรำละเอียด มีค่าต่ำกว่า NRC (2001) ที่รายงานว่ามีค่าเท่ากับ 13.05 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และของรำละเอียดมีค่าเท่ากับ 12.92 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ค่าพลังงานของปลายข้าวต่ำกว่าที่รายงานโดย NRC (1988) ที่รายงานว่ามีค่าเท่ากับ 16.40 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ถึงแม้การประเมินค่าพลังงานครั้งนี้จะได้ค่าที่ต่ำกว่า NRC (1988) และ NRC (2001) แต่การประเมินค่าพลังงานโดยใช้เทคนิคแก๊สก็ยังคงเป็นเรื่องที่น่าศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้สมการที่เหมาะสมที่จะนำมาปรับใช้กับวัตถุดิบเขตร้อนเพราะการประเมินค่าพลังงานโดยวิธีการอื่นเป็นวิธีการที่ยุ่งยาก ซับซ้อนและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

บทสรุป

จากการทดลองครั้งนี้พบว่าองค์ประกอบทางเคมี จลศาสตร์การผลิตแก๊ส และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบแหล่งพลังงานมีความแตกต่างกัน และนอกจากนั้นยังพบว่ามันเส้นมีศักยภาพการผลิตแก๊ส อัตราการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก และค่าประเมินพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุด รองลง

มาได้แก่ ข้าวโพดบด รำละเอียด ปลายข้าว และ รำหยาบ ตามลำดับ มันเส้นเป็นวัตถุดิบพลังงานที่หาง่ายในท้องถิ่นและมีราคาต่ำที่สุด ซึ่งชี้ให้เห็นว่า มันเส้นเป็นแหล่งอาหารพลังงานที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้เป็นอาหารโคเนื้อโคนม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และ ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ความเอื้อเฟื้อสัตว์ทดลอง สถานที่ทดลองและห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณต่อบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนทุนวิจัย โดยทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาประจำภาคต้นปีการศึกษา 2546

เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2547). ตารางคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารสัตว์. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, 38 หน้า.

ทรงศักดิ์ จำปาवेดี. (2545). โภชนศาสตร์สัตว์ประยุกต์. ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 274 หน้า.

นภาพันท์ ไชยวงศ์ รัชชัย สิทธิไกรพงษ์ และ จรรยา คงฤทธิ์. (2543). การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในสุกร. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 8:22.

ศรีสกุล วรจันทร์ สุธิพ สุขสุแพทย์ และ ณัทชัย วิจิตโรทัย. (2547). ส่วนประกอบทางเคมีและชั้นคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงาน: ปศุสัตว์ไทย อาหารมาตรฐานโลก. เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาวิชาการ

เกษตรแห่งชาติปี 2547; สาขาสัตวศาสตร์/ สัตวบาล; วันที่ 27-28 มกราคม 2547 ณ โรงแรมโซฟิเทลราชาออคิต จังหวัดขอนแก่น, หน้า 332-339.

พีรพจน์ นิตินันท์ และ กฤตพล สมมาตย์. (2546). การประเมินคุณค่าอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องของผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง อาหารพลังงาน และอาหารหยาบในหลอดทดลอง. การสัมมนาวิชาการเกษตรประจำปี 2546; วันที่ 27-28 มกราคม 2546; ณ ห้องประชุม กวีจตุกฤต คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 179-190.

AOAC. (1990). Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA, (1):69-90.

Blummel, M., and Ørskov, E.R. (1993). Comparison of *in vitro* gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. Anim. Feed Sci. Technol., 40:109-119.

Blummel, M. and Becker, K. (1997). The degradability characteristics of fifty-four roughages and roughage neutral detergent fibres as described by *in vitro* gas production and their relationship to voluntary feed intake. Br. J. Nutr., 77:757-768.

Brigstocke, T.D.A., Cuthbert, N.H., Thickett, W.S., Lindeman, M.A., and Wilson, P.N. (1981). Comparison of a dairy cow compound feed with and without cassava given with grass-silage. Animal Production, 33:19-24.

Chanjula, P., Wanapat, M., Wachirapakorn, C., Uriyapongson, S., and Rowlinson, P. (2003). Ruminant degradability of tropical feed and their potential use in ruminant diets. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 16:211-216.

Getachew, G., Blummel, M., Makkari, H.P.S., and Becker, K. (1998). *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: A review. Anim. Feed Sci. Technol., 72:261-281.

Getachew, G., Croveto, G.M., Fondevila, M., Krishsanamoothy, U., Singh, B.,

- Spanghero, M., Steingass, H., Robinson, P.H., and Kailas, M.M. (2002). Laboratory variation of 24 h *In vitro* gas production and estimated metabolisable energy values of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 102:169-180.
- Ibrahim, M.N.M., Tamminga, S., and Zemmelink, G. (1995). Degradation of tropical roughages and concentrate feeds in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 54:81-92.
- Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (1992). *Table of Feed Composition*. 2nd ed. Chalcombe Publications, Canterbury, p. 250.
- Makkar, H.P.S., Blummel, M., and Becker, K. (1995). Formation of complex between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycol and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in *in vitro* technique. *Br. J. Nutr.*, 73:897-913.
- Menke, K.H., Raab, L., Salewski, A., Steingrass, H., Fritz, D., and Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor. *J. Agri. Sci.*, 93:217-222.
- Menke, K., and Steingrass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28:7-55.
- Sommart, K., Parker, D.S., Rowlinson, P., and Wanapat, M. (2000). Fermentation characteristics and microbial protein synthesis in an *in vitro* system using cassava, rice straw and dried ruzi grass as substrates. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 13(8):1,084-1,093.
- NRC. (1988). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 6th rev. ed. National Research Council, National Academy Press Washington, DC, **total number of pages**.
- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. National Research Council, National Academy Press Washington, DC, **total number of pages**.
- Ørskov, E.R., and McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. (Camb)*, 92:499-504.
- SAS. (1996). *SAS User's Guide: Statistics*, Version 6. 12th ed. SAS Institute Inc. Cary, NC. **total number of pages**.
- van Soest, P.J., Robertson J.B., and Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74:3,583-3,597.