

การประเมินค่าพลังงานงานที่ใช้ประโยชน์ได้และการย่อยได้ของเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Evaluation of metabolizable energy and digestibility of agro-industrial residues as ruminant feed

ธนรรษมลวรรณ พลมัน^{1*}, ถาวรณ สุบรรณรัตน์¹ และ ทรงศักดิ์ จำปาอะดี²
Thanatsamonwan Phonmun^{1*}, Thaworn Subanrat¹
and Songsak Chumpawadee²

บทคัดย่อ: จุดประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อทำการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้และการย่อยได้ของเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรในพื้นที่ภาคใต้ตอนบนจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกสับปะรด, เปลือกถั่วลิสง, เปลือกทุเรียน, เปลือกเงาะ, เปลือกเสาวรส และเมล็ดเงาะ ด้วยเทคนิคการผลิตแก๊ส (gas production technique) และเทคนิคถุงไนลอน (Nylon bag technique) โดยใช้สัตว์ทดลองเป็นโคผสมเพศผู้เจาะกระเพาะจำนวน 3 ตัว โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่ม Completely randomized design (CRD) ผลการศึกษาพบว่า เปลือกสับปะรด มีปริมาณแก๊สสูงที่สุดและมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุด 9.02 MJ/kg แตกต่างกับวัตถุดิบเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ซึ่งบ่งบอกถึงศักยภาพในการนำมาเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้สูง ในขณะที่ เปลือกถั่วลิสง และเปลือกเงาะเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณการผลิตแก๊สได้ต่ำที่สุด ($P<0.01$) อย่างไรก็ตาม เปลือกเงาะเป็นวัตถุดิบที่มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำที่สุด (3.77 MJ/kg) เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) แสดงให้เห็นว่า เปลือกถั่วลิสง และเปลือกเงาะมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ต่ำ นอกจากนี้จากการประเมินการย่อยได้โดยเทคนิคถุงไนลอน พบว่าเปลือกสับปะรด และเมล็ดเงาะมีค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุดิบ และอินทรีย์วัตถุที่สูงแตกต่างจากวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ($P<0.01$) นอกจากนี้เปลือกสับปะรดมีค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนสูงกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ในขณะที่เปลือกถั่วลิสงมีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ และโปรตีนต่ำที่สุด ($P<0.01$) ดังนั้นจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเปลือกสับปะรดเป็นวัตถุดิบเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีศักยภาพสูงในการนำมาเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้สูงที่สุด และเปลือกถั่วลิสงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพ ในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องต่ำที่สุด

คำสำคัญ: พลังงานใช้ประโยชน์, เศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตร, การย่อย, อาหารหยาบ

¹ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 17/1 หมู่ 6 ต.ชุมโค อ. ปะทิว จ. ชุมพร

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, 17/1 Moo 6, Chum-Ko, Pataew, Chumphon 86160

² สาขาสัตวศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์และสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

* Corresponding author: nangnaka_99@hotmail.com

ABSTRACT: The aim of this research was to study the evaluated to metabolizable energy and digestibility of agro-industrial residues with gas production technique method and nylon bag technique as ruminant feed rate of energy utilization of residues from industrial agriculture. There are 6 agro-industrial residues sample from upper south of Thailand: pineapple peel, peanut shell, durian rind, rambutan rind, passion fruit peel and rambutan seed were taken and analyzed for gas production and metabolizable energy and analyzed for in vitro digestibility by nylon bag technique in 3 rumen fistulated heifers. The result showed that pineapple peel was highest gas production and metabolizable energy as 9.02 MJ/kg, that highly significant difference among group of agro-industrial residues ($P<0.01$) the considered to high potential as ruminant feed. While peanut shell and rambutan rind were lowest gas production ($P<0.01$), however rambutan rind was lowest metabolizable energy (3.77 MJ/kg) as compared with among group of agro-industrial residues ($P<0.01$) demonstrates the peanut shell and rambutan rind were low potential to be used as ruminant feed. In addition, the evaluation of digestibility with nylon bag technique the results showed that pineapple peel and rambutan seed were higher effective degradability of dry matter and organic matter than other groups and pineapple was highest effective degradability of protein ($P<0.01$) while peanut shell was lowest effective degradability of dry matter, organic matter and protein ($P<0.01$). Therefore, the results showed that pineapple peel is agro-industrial residues high potential to be used as ruminant feed while peanut shell is lowest potential to be used as animal feed ruminants.

Keywords: Metabolizable energy, agro-industrial residues, Digestion, Roughage

บทนำ

การแปรรูปผลผลิตทางเกษตรในโรงงานอุตสาหกรรมมีเศษเหลือจากกระบวนการผลิตจำนวนมาก เช่น เศษเปลือก และเมล็ดพืชต่างๆ ซึ่งในเศษเหลืดังกล่าวมีคุณค่าทางโภชนาที่สามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์ โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องในพื้นที่ได้ (Chinh et al., 2000; Agbagla-Dohnoni et al., 2001; Hindrichsen et al., 2001) อันเป็นประโยชน์ในการนำใช้และเป็นแนวทางการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารเพื่อการเลี้ยงสัตว์ในบางฤดูกาลได้ ในเขตภาคใต้ตอนบนเป็นเขตที่ประชาชนมีการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องจำนวนมาก แต่ขาดซึ่งทุ่งหญ้าอาหารหยาบธรรมชาติ เนื่องจากภูมิประเทศเป็นที่สูง การทำการเกษตรส่วนใหญ่มุ่งเน้นการปลูกปาล์มและยางพารา จึงทำให้อาหารหยาบเพื่อการเลี้ยงสัตว์ไม่เพียงพอ แต่ในขณะเดียวกันผลผลิตที่ได้ที่ประชาชนนิยมปลูกคือ ไม้ผล เช่น ทุเรียน เงาะ สับปะรด เสาวรส เป็นต้น ซึ่งในพื้นที่มีการแปรรูปผลผลิต และป้อนสู่โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปเป็นจำนวนมาก ทำให้มีเศษเหลือใช้จากการแปรรูปจำนวนมาก แต่ยังไม่มีการนำใช้เพื่อการเลี้ยงสัตว์กันมากนัก รวมถึงการศึกษาวิจัยความสามารถในการนำเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตการเกษตรเหล่านี้อย่างถูกต้อง และเหมาะสม ดังนั้น เพื่อเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาการ

ขาดแคลนอาหาร การวิจัยจึงมุ่งเน้นประสิทธิภาพการนำใช้เศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรในพื้นที่ภาคใต้ตอนบน โดยทำการศึกษการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้และการย่อยได้ของเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรด้วยเทคนิคการผลิตแก๊ส (*in vitro* gas production technique) และเทคนิคถุงไนล่อน (Nylon bag technique)

วิธีการศึกษา

นำวัตถุดิบกลุ่มเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรในเขตภาคใต้ตอนบนจำนวน 6 ชนิด คือ เปลือกสับปะรด, เปลือกถั่วลิสง, เปลือกทุเรียน, เปลือกเงาะ, เปลือกเสาวรส และ เมล็ดเงาะ มาทำการศึกษาค้นคว้าการผลิตแก๊สตามวิธีการของ Makkar et al. (1995) และประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) ตามสมการของ Menke et al. (1979)

$$\{ME \text{ (MJ/kgDM)} = 2.20 + (0.136 \times Gv) + (0.057 \times \%CP)\}$$

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ของเหลวจากกระเพาะหมัก (rumen fluid) จากโคลูกผสมบราห์มันพื้นเมืองเพศผู้ เพื่อเป็นแหล่งจุลินทรีย์ เพื่อนำมาเติมลงในสารละลาย medium เตรียมตัวอย่างใส่ขวดที่ใช้ทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร ซึ่งตัวอย่าง 500 มิลลิกรัม (วัตถุแห้ง) ตัวอย่างละ 6 ซ้ำ ปิดขวดด้วยคลิป (clip) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ

39°C ในภาวะไร้ออกซิเจน และทำการวัดแก๊สที่เกิดขึ้น โดยทำการวัดปริมาตรแก๊สทุกหนึ่งชั่วโมงใน 12 ชั่วโมง แรกของการบ่มวัตถุดิบ ต่อมาวัดปริมาตรแก๊สทุก 3 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่ 24 จากนั้นวัดปริมาตรแก๊สทุก 6 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่ 96 นำค่าแก๊สที่อ่านได้ไปหาค่าคุณลักษณะในการย่อยสลายตามสมการของ Ørskov and McDonald (1979) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ nonlinear เพื่อคำนวณค่า a , b และ c ดังนี้

$$P = a + b(1 - e^{-ct})$$

เมื่อ P = ปริมาณของแก๊สที่เวลา t , a = จุดตัดแกน y ของการหมักที่เวลา t , b = อัตราที่ไม่ย่อยสลายที่เวลา t และ c = อัตราการผลิตแก๊ส

การประเมินค่าการย่อยได้โดยใช้เทคนิคถุงในลอน บรรจุตัวอย่างวัตถุดิบอาหารที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ประมาณ 3.0 กรัม (น้ำหนักสด) ลงในถุงในลอนที่มีขนาดรูตาข่ายของถุง (pore size) 45 ไมครอน (Shabi et al., 1998) ตัวอย่างละ 6 ซ้ำในแต่ละช่วงเวลา หลังจากนั้นนำไปบ่มในกระเพาะของโคเจาะกระเพาะ จากนั้นนำถุงออกจากกระเพาะหมักในเวลา 6, 12, 24, 36, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างน้ำจนน้ำที่ไหลผ่านถุงใส และในชั่วโมงที่ 0 ก็ทำเช่นเดียวกัน นำถุงในลอนที่ล้างเสร็จไปอบที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบและทำการชั่งน้ำหนักถุงและอาหารที่เหลือ ในถุงไปวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง และโปรตีน หลังจากนั้นคำนวณหาค่าโปรตีนที่หายไปโดยหาค่าความแตกต่างระหว่างโปรตีนก่อนบ่มและหลังบ่มในกระเพาะหมัก นำค่าการย่อยสลายของโปรตีนในแต่ละเวลามาคำค่าคงที่โดยสมการเอกโพเนนเชียล $p = a + b(1 - e^{-ct})$ (Ørskov and McDonald., 1979) และหาค่าความสามารถในการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และโปรตีนในกระเพาะหมัก (Effective Degradabil-

ity, ED) ตามสมการ $ED = a + [(b \times c)/(c+k)]$ เมื่อค่า a คือส่วนที่สามารถละลายได้ง่าย ค่า b คือส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายที่เวลา t ค่า c คือ อัตราการย่อยสลายของส่วน b ส่วนค่า k คือ อัตราการไหลผ่าน (2%/h) เมื่อได้ค่าที่ย่อยสลายแล้วนำมาคำนวณหาค่าที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UD) ดังสมการ $\%UD = 100 - \%ED$ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (DMRT) (SAS, 1996)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีใน Table 1 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ในวัตถุดิบอาหารสัตว์กลุ่มเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรจะพบว่า เปลือกสับปะรด เปลือกทุเรียน เปลือกเงาะบด และเปลือกเสาวรสบด มีโปรตีนค่อนข้างต่ำ และมีเยื่อใย NDF และ ADF ต่ำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ชี้ให้เห็นได้ว่าวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง เศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งที่มาของวัตถุดิบ ดังนั้นการเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์จำเป็นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทางเคมี แต่อย่างไรก็ตามมีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลขององค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น ช่วงอายุของพืช (Promkot and Wanapat, 2004) ชนิดของพืชและดินที่ใช้ปลูก (Bolyi et al., 1997) กระบวนการทำให้แห้งและสภาพแวดล้อม (Mupangwa et al., 1997)

Table 1 Chemical composition of agro-industrial

Agro-industrial residues	DM (%)	CP	Ash	NDF	ADF	ADL
.....% DM.....						
Pineapple peel	91.60	5.52	4.52	27.76	14.19	5.36
Peanut shell	95.97	5.44	7.21	70.83	60.78	34.34
Durian rind	95.37	3.82	7.57	40.30	20.01	10.35
Rambutan rind	95.92	5.63	3.09	25.79	13.08	6.36
Passion fruit peel	95.73	2.36	7.29	39.79	19.51	9.73
Rambutan seed	95.03	7.24	1.94	4.96	0.26	0.06

DM = Dry matter, CP= crude protein, NDF = Neutral detergent fiber, ADF = Acid detergent fiber, ADL = Acid detergent lignin

คุณลักษณะและรูปแบบการผลิตแก๊สของเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร

ผลผลิตแก๊สสะสมที่เกิดจากการหมักของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรที่ชั่วโมง 3, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 จะนำมาเข้าสมการเอกโพเนนเชียล ตามโมเดลของ Ørskov and McDonald (1979) คุณลักษณะในการผลิตแก๊ส ดังแสดงใน Table 1 เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะในการผลิตแก๊สของวัตถุดิบแต่ละชนิดแล้วพบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ค่าจุดตัดแกน y หรือค่า a อยู่ในช่วง -15.30 ถึง -1.15 โดยเปลือกสับปะรด มีค่า a ต่ำที่สุด จากข้อมูลชี้ให้เห็นได้ว่าในกระบวนการหมักเกิดระยะพักตัวในช่วงแรก ซึ่งจากการทดลองของนักวิจัยหลายกลุ่ม เช่น Khazaal et al. (1993); Blummel and Becker, (1997) รายงานถึงผลติดลบเช่นกัน และเป็นที่ยอมรับกันว่าค่าสมบรูณ์ของ a ($|a|$) ใช้อธิบายค่าของส่วนที่สามารถละลายได้ของวัตถุดิบอาหาร ซึ่งส่วนที่สามารถละลายได้ง่ายจะถูกนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ ในระยะเพาะหมักและทำให้ปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้น (Table 2) ในการทดลองนี้เปลือกสับปะรดมีค่าสมบรูณ์ของ a สูงสุดซึ่งชี้ให้เห็นได้ว่าส่วนที่สามารถละลายได้ง่ายของเปลือกสับปะรดมีค่าสูงสุดด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดเงาะมีส่วนที่สามารถละลาย

ได้ง่ายสูงเช่นเดียวกัน ค่า b ใช้อธิบายถึงส่วนที่ไม่ละลายในน้ำ แต่มีศักยภาพในการย่อยสลาย ซึ่งเมื่อเรียงลำดับวัตถุดิบจากที่มีศักยภาพในการย่อยสลายสูงไปหาต่ำ สามารถเรียงได้ดังนี้คือ เปลือกสับปะรด, เปลือกทุเรียน, เปลือกเสาวรส, เมล็ดเงาะ, เปลือกเงาะ และ เปลือกถั่วลิสง ตามลำดับ อัตราการผลิตแก๊ส (c , %/h) เมื่อเรียงจากอัตราเร็วสูงสุดไปต่ำสุดสามารถเรียงได้ดังนี้ คือ เปลือกสับปะรด, เปลือกถั่วลิสง, เปลือกทุเรียน, เปลือกเสาวรส, เมล็ดเงาะสด และเปลือกเงาะ ตามลำดับ อัตราการผลิตแก๊สเร็วแสดงว่ามีส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เร็ว

ศักยภาพในการผลิตแก๊ส ($|a|+b$) เรียงจากสูงไปต่ำ ได้แก่ เปลือกสับปะรด, เปลือกทุเรียน, เปลือกเสาวรส, เมล็ดเงาะ เปลือกเงาะ, เปลือกถั่วลิสง และเปลือกเงาะ จะเห็นได้ว่าเปลือกถั่วลิสงมีศักยภาพในการผลิตแก๊สต่ำที่สุดซึ่งสาเหตุอาจมาจากปริมาณเยื่อใยสูง และโปรตีนต่ำ การหมักย่อยโปรตีนจะได้แก๊สในปริมาณต่ำ และปริมาณเยื่อใยอาหารส่งผลทางลบต่อการผลิตแก๊สในหลอดทดลอง (Melaku et al., 2003) แสดงให้เห็นว่า เปลือกสับปะรดมีศักยภาพสูงที่สุดและย่อยได้สูงที่สุด

ปริมาณแก๊สและค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม

ปริมาณแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) แสดงให้เห็นถึงส่วนของวัตถุดิบและความสามารถในการย่อยได้ของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรแตกต่างกันด้วย อีกทั้งจุลศาสตร์การผลิตแก๊สยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนของส่วนที่ละลายได้ และละลายไม่ได้แต่สามารถย่อยสลายได้ รวมถึงส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ของอาหารด้วย Menke et al. (1979) พบว่าปริมาณแก๊สที่ 24 ชั่วโมงหลังการบ่มมีความสัมพันธ์สูงกับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในวัตถุดิบ ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคการผลิตแก๊สในการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้นอกจากนั้นยังพบว่าการย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์สูงกับปริมาณแก๊สที่ผลิตได้ ปริมาณแก๊สยังมีความสัมพันธ์สูงกับปริมาณการกินได้ และอัตราการเจริญเติบโตด้วย (Blummel and Ørskov, 1993)

จากการทดลองจะเห็นว่าเปลือกสับปะรดมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์สูงสุด คือมีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 9.02 Mj/kg ในขณะที่วัตถุดิบที่มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำ คือ เปลือกเงาะ โดยมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพียง 3.44 Mj/kg เมื่อเรียงลำดับค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ของเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรที่ทำการศึกษามาจากสูงไปต่ำสามารถเรียงได้ดังต่อไปนี้คือ เปลือกสับปะรด, เปลือกทุเรียน, เปลือกเสาวรส, เมล็ดเงาะ, เปลือกกล้วย และเปลือกเงาะ ตามลำดับ (Table 2)

การประเมินค่าการย่อยได้โดยเทคนิคลงในลอน

ส่วนที่ย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว (a) ส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลาย (b) อัตราการย่อยสลายของส่วน (c) ของวัตถุดิบอินทรีย์วัตถุและโปรตีน (Table 3) ผลการทดลองพบว่าส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายของวัตถุดิบในเปลือกสับปะรดมีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือเปลือกเงาะ เนื่องจากเปลือกสับปะรดมีน้ำตาลที่สามารถ

สลายได้ง่ายอยู่สูง ในขณะที่เปลือกเงาะ มีส่วนของแป้งที่ละลายได้ง่ายอยู่สูง และจะเห็นได้ว่าค่า a ของอินทรีย์วัตถุจะเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับวัตถุแห้ง ค่า a ของโปรตีนมีค่าสูงที่เปลือกสับปะรด และเปลือกเงาะ แต่ในส่วนของเปลือกกล้วยลึง เปลือกทุเรียน และเมล็ดเงาะบดมีค่า a ของโปรตีนต่ำ เป็นที่ทราบกันดีว่าความผันแปรของค่า a ในแต่ละการทดลองที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะขึ้นกับอนุภาคอาหาร กระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการแปรรูป หรือเทคนิคการวิเคราะห์แตกต่างกัน

ค่าของส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลาย (b) ของวัตถุดิบแห้งมีค่าตั้งแต่ 12.37 – 47.13% ค่า b ของเปลือกทุเรียน เปลือกเสาวรส และเมล็ดเงาะบดมีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนค่า b ของโปรตีนในเปลือกทุเรียน และเมล็ดเงาะจะมีค่าสูง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเปลือกทุเรียน และเมล็ดเงาะมีค่าศักยภาพในการย่อยสลายโปรตีนสูง อัตราการย่อยสลายของวัตถุดิบ (c) มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม และเห็นได้ว่าเปลือกเงาะมีอัตราการย่อยสลายของส่วน b เร็วที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าวัตถุดิบที่มีความสามารถในการย่อยเร็วจะต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบที่ย่อยสลายได้เร็วด้วยเช่นกันเพื่อให้การประสานเวลาระหว่างการย่อยสลายอาหารโปรตีน และอาหารพลังงานมีความสัมพันธ์กันอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มเช่นเดียวกับวัตถุแห้ง ส่วนอัตราการย่อยสลายของโปรตีนในเปลือกสับปะรด มีค่าอัตราการย่อยสลายรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบในกลุ่มเดียวกัน อัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุและโปรตีนมีความสำคัญมากต่อการปรับใช้วัตถุดิบ เพราะเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการนำเอาโภชนาที่่อยสลายไปสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน

ค่าความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ และโปรตีนที่อัตราการไหลผ่าน 0.02, 0.05 และ 0.08 ต่อชั่วโมง มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม ($P < 0.01$) จากการทดลองพบว่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ และโปรตีนในเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($P < 0.01$) ความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักที่คิดที่อัตราการไหลผ่าน 2% ต่อชั่วโมงของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันซึ่งความสามารถในการย่อยสลายของวัตถุดิบอินทรีย์วัตถุในเปลือกสับปะรด และเมล็ดเงาะมีความสามารถในการย่อยในกระเพาะหมักสูง ความสามารถในการย่อยสลายของโปรตีนในเปลือกสับปะรดมีค่าสูงในขณะที่วัตถุดิบอื่นมีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงต่ำ

สรุป

การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์และการย่อยได้ของเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร

ด้วยเทคนิคการผลิตแก๊ส (*in vitro* gas production technique) และ เทคนิคถุงไนลอน (Nylon bag technique) พบว่า เปลือกสับปะรด เปลือกเสาวรส เปลือกทุเรียนมีปริมาณแก๊สสูงซึ่งบ่งบอกถึงศักยภาพในการย่อยสลายสูง และมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้สูง อีกทั้งยังมีค่าการย่อยได้ของที่สูงแสดงถึงศักยภาพในการนำไปเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดี จึงจัดเป็นวัตถุดิบเศษเหลือที่มีศักยภาพในการนำมาเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้สูง ในขณะที่เมล็ดเงาะ เปลือกเงาะ และเปลือกถั่วลิสงปริมาณแก๊สต่ำ มีค่าการย่อยได้ค่อนข้างต่ำ และมีพลังงานงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำแสดงถึงศักยภาพในการนำมาเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ต่ำ

Table 2 Gas production and metabolizable energy of agro-industrial residues.

Parameter	Treatment						SEM
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Gas production characteristic ¹							
<i>a</i> , mL	-15.30 ^f	-1.15 ^b	-8.23 ^{cd}	-5.29 ^a	-5.77 ^c	-10.66 ^{de}	1.04
<i>b</i> , mL	179.82 ^a	45.63 ^e	148.30 ^b	76.01 ^d	136.57 ^b	104.51 ^c	7.96
<i>c</i> , %/h	0.062 ^{ab}	0.044 ^{cd}	0.042 ^{cd}	0.012 ^e	0.032 ^{cd}	0.03 ^d	0.00
<i>a+b</i> , mL	195.13 ^a	46.78 ^e	156.54 ^b	81.31 ^d	142.35 ^b	115.18 ^c	8.61
Gas volume (mL / 0.5 g)							
24 h	119.60 ^a	30.10 ^e	88.70 ^b	23.10 ^e	68.90 ^c	46.12 ^d	5.18
48 h	152.30 ^a	38.20 ^f	121.30 ^b	44.90 ^f	98.50 ^c	70.10 ^e	6.53
96 h	168.70 ^a	45.00 ^e	138.10 ^b	62.50 ^e	123.40 ^{bc}	84.60 ^d	7.23
ME, Mj / kg	9.02 ^a	4.14 ^e	7.24 ^b	3.77 ^e	6.08 ^c	5.12 ^d	0.29

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

¹a = the intercept (mL), which ideally reflects the fermentation of the soluble fraction, b = the fermentation of the insoluble fraction (mL), c = rate of gas production (%/h), (a+b) = potential extent of gas production (mL), T1= pineapple peel, T2= peanut shell, T3= durian rind, T4= rambutan rind, T5= passion fruit peel, T6= rambutan seed

Table 3 Degradability of agro-industrial residues with nylon bag technique.

Parameter	Treatment						SEM
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Dry matter degradation characteristic							
a, %	64.21 ^a	30.58 ^e	36.30 ^d	55.61 ^b	35.84 ^d	44.94 ^c	2.30
b, %	25.87 ^b	12.37 ^c	47.13 ^{ab}	14.32 ^c	49.54 ^a	48.88 ^a	2.71
c, %h ⁻¹	0.048 ^b	0.020 ^d	0.031 ^c	0.035 ^{bc}	0.033 ^{bc}	0.106 ^a	0.00
EDDM, % (k=0.08)	73.78 ^a	32.90 ^d	48.88 ^c	59.75 ^b	49.48 ^c	72.76 ^a	2.82
EDDM, % (k=0.05)	76.67 ^a	33.83 ^d	53.52 ^c	61.23 ^b	54.54 ^c	78.07 ^a	2.96
EDDM, % (k=0.02)	82.19 ^b	36.17 ^d	63.82 ^c	64.44 ^c	65.64 ^c	85.97 ^a	3.17
Organic matter degradation characteristic							
a, %	59.74 ^a	27.12 ^e	33.34 ^d	55.09 ^b	31.53 ^{de}	46.72 ^c	2.43
b, %	27.83 ^d	35.42 ^c	52.77 ^{ab}	24.12 ^d	59.41 ^a	46.94 ^b	3.22
c, %h ⁻¹	0.058 ^b	0.010 ^d	0.023 ^c	0.018 ^{cd}	0.020 ^c	0.075 ^a	0.00
EDOM, % (k=0.08)	70.85 ^a	29.36 ^d	44.81 ^c	59.08 ^b	43.49 ^c	63.31 ^a	2.93
EDOM, % (k=0.05)	73.98 ^a	30.35 ^d	49.58 ^c	60.90 ^b	48.45 ^c	73.51 ^a	3.06
EDOM, % (k=0.02)	79.73 ^a	33.41 ^d	60.93 ^c	65.75 ^b	60.72 ^c	82.44 ^a	3.25
Crude protein degradation characteristic							
a, %	59.02 ^a	9.51 ^e	8.03 ^e	51.13 ^b	18.23 ^c	10.72 ^d	3.16
b, %	28.51 ^d	36.97 ^c	71.71 ^a	29.03 ^d	68.57 ^b	74.71 ^a	3.15
c, %h ⁻¹	0.073 ^a	0.016 ^d	0.028 ^c	0.015 ^d	0.023 ^c	0.040 ^b	4.41
EDCP, % (k=0.08)	71.42 ^a	14.99 ^e	25.89 ^d	56.30 ^b	33.29 ^c	34.42 ^c	3.02
EDCP, % (k=0.05)	74.62 ^a	17.40 ^e	33.73 ^d	58.56 ^b	39.48 ^d	42.33 ^c	2.99
EDCP, % (k=0.02)	80.30 ^a	23.80 ^f	48.38 ^e	64.42 ^b	54.39 ^d	58.53 ^c	2.98

a, b, c, d, e, f Means within a row different superscripts differ ($P < 0.01$) Where: EDDM= effective degradability of dry matter, EDOM = effective degradability of organic matter, EDCP = effective degradability of crude protein, a, b, c are constants in the exponential equation, $P = a + b(1 - e^{-ct})$ Where a = the rapidly soluble fraction, b = the potentially degradable fraction, c = the rate of degradation of fraction b , T1= pineapple peel, T2= peanut shell, T3= durian rind, T4= rambutan rind, T5= passion fruit peel, T6= rambutan seed

เอกสารอ้างอิง

- Agbagla-Dohnani, A., P. Noziere, G. Clement, and M. Doreau. 2001. *In sacco* degradability, chemical and morphological composition of 15 varieties of European rice straw. Anim. Feed Sci. Technol. 94: 15-27.
- Baloyi, J.J., N.T. Ngongoni, J.H. Topps and P. Ndlovu. 1997. Chemical composition and degradability of *Brachystegia spiciformis* (Musasa) leaves and stems harvested over 4 months from three sites in Zimbabwe. Anim. Feed Sci. Technol. 69: 179-186.
- Blummel, M., and K. Becker. 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.
- Blummel, M., and E.R. Ørskov. 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.
- Chinh, B.V., L.V. Ly, N.H. Tao, N.V. Hai, and T.B. Ngoc. 2000. Study on processing, storing and using sugarcane leaves as ruminant feed. Workshop-seminar "Making better use of local feed resources" SAREC-UAF, January, 2000.

- Hindrichsen, I. K., P.O. Osuiji, A.A. Odenyo, J. Madsen, and T. Hvelplund. 2001. Effect of supplementation with four multipurpose trees and *Lablab purpureus* on rumen microbial population, rumen fermentation, digesta kinetics and microbial protein supply of sheep and maize stover *ad libitum*. TSAP Proceeding Vol. 28.
- Khazaal, K., M.T. Dentinho, J.M. Riberio, and E.R. Ørskov. 1993. A comparison of gas production during incubation with rumen contents *in vitro* and nylon bag degradability as predictors of the apparent digestibility *in vivo* and the voluntary feed intake of hays. Anim. Sci. 57: 105-112.
- Makkar, H.P.S., M. Blummel, and K. Becker. 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.
- Melagu, S., K.P. Peters, and A. Tegegne. 2003. *In vitro* and *in situ* evaluation of selected multipurpose trees, wheat bran and *Lablab purpureus* as potential feed supplements of tef (*Eragrostis tef*) straw. Anim. Feed Sci. Technol. 108: 159-179.
- Menke, K.H., L. Raab, A. Salewski, H. Steingrass, D. Fritz, and W. Schneider. 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. Agric. Sci. (Camb). 93: 217-222.
- Mupangwa, J.F., N.T. Ngongoni, J.H. Topps and P. Ndllovu. 1997. Chemical composition and dry matter of forage legumes *Cassia rotundifolia* cv. Wynn, *Lablab purpureus* cv. Highworth and *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro at 8 weeks of growth (pre-anthesis). Anim. Feed Sci. Technol. 69: 167-178.
- 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. (Camb) 92: 499-504.
- Promkot, C. and M. Wanapat. 2004. Ruminant degradation and intestinal digestion of crude protein of tropical resources using nylon bag and three-step *in vitro* procedure in dairy cattle. In: Proceedings of the Agricultural Seminar, Animal Science/Animal Husbandry. Held at Sofitel Raja Orchid Hotel 27-28 January 2004.
- SAS. 1996. SAS User's Guide: Statistics, Version 6.12th Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- Shabi, Z., A. Arieli, L. Bruckental, Y. Aharoni, S. Zamwel, A. Bor and H. Tagari. 1998. Effect of the synchronization of the degradation of dietary crude protein and organic matter and feeding frequency on ruminal fermentation and flow of digesta in the abomasum of dietary cows. J. Dairy Sci. 81: 1991-2000.