สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การประเมินค่าทางโภชนะของผลพลอยได้จากการเกษตร อุตสาหกรรม และพืชอาหารสัตว์ในโคนม

Evaluation to Nutrient of Agricultural, Industrial Residues and Forage Crop in Dairy Cattle

โดยคณะนักวิจัย

ธนรรษมลวรรณ พลมั่น ถาวรณ์ สุบรรณรัตน์

วีรวัฒน์ ฉายา อภิชาติ ครุฑสุวรรณ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

ทรงศักดิ์ จำปาวะดี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

RCH
SF
208
.7A51

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....70134
วัน,เดือน,ปี.....- 1 มี.ค. 2550

ทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2549

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

กันยายน 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b.11719979
.i.....

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาค่าการย่อยได้และประเมินค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบของอาหารโคนม แบบ ***in vitro*** และ ***in situ*** ซึ่งได้มาจากผลพลอยได้จากการเกษตร ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม และพืชอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการนำใช้เป็นอาหารสำหรับโคนม โดยในการศึกษาได้แบ่งกลุ่มของวัตถุดิบออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มพืชตระกูลถั่ว กลุ่มเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร และกลุ่มเศษเหลือใช้ทางการเกษตร ทำการทดลองโดยนำวัตถุดิบอาหารทั้ง 3 กลุ่มไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและค่าการย่อยได้ ศึกษาจลศาสตร์การย่อยสลายของวัตถุดิบ 2 วิธีคือ การใช้เทคนิคถุงไนล่อน (Nylon bag technique) และ การหาค่าการย่อยได้ในหลอดทดลองโดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส (*in vitro* gas production technique)

ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มพืชตระกูลถั่วมีโปรตีนสูง ในขณะที่กลุ่มเศษเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรมีโปรตีนต่ำ แต่เยื่อใยสูง ยกเว้น ใบมันสำปะหลังบด และเมื่อนำมาประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน และแก๊สโปรดัคชั่น พบว่า พืชตระกูลถั่วมีความสามารถในการย่อย และมีศักยภาพในการผลิตแก๊สได้สูง โดยเรียงลำดับคุณภาพจากสูงไปต่ำสามารถเรียงลำดับได้คือ ใบกระถินบด ถั่วลายบด ถั่วฮามาต้า และถั่วคาวาเคด ตามลำดับ จากค่าการย่อยได้วัตถุดิบในกลุ่มผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีความแตกต่างกัน พบว่า เปลือกสับปะรด เปลือกเสาวรส เปลือกมันสำปะหลัง และเมล็ดเงาะมีศักยภาพในการนำมาเป็นอาหารสัตว์ได้ดี เนื่องจากมีค่าการย่อยได้สูง ในขณะที่เปลือกทุเรียน เปลือกเงาะ และชานอ้อย มีศักยภาพในการนำมาเป็นอาหารสัตว์ในระดับปานกลาง ส่วนเปลือกเมล็ดยางพารา และเปลือกถั่วลิสงมีศักยภาพต่ำ เนื่องจากมีอัตราการย่อยได้ค่อนข้างต่ำ จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารโคนม ส่วนค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบกลุ่มเศษเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่า ใบมันสำปะหลังบด กากมะพร้าว ต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง ค่าการย่อยได้สูง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำมาเป็นวัตถุดิบอาหารโคนมได้ดี ส่วนใบผักตบชวา ซังข้าวโพด ใบมะพร้าวบด ก้านผักตบชวา หญ้าอะตราตั้ม มีศักยภาพปานกลาง อย่างไรก็ตามในการนำวัตถุดิบกลุ่มที่มีอัตราการย่อยได้ต่ำมาเป็นอาหารโคนม ควรทำการปรับปรุงคุณภาพก่อน เนื่องจากวัตถุดิบกลุ่มนี้มักมีโปรตีนต่ำ และเยื่อใยสูง รวมถึงการย่อยได้ค่อนข้างต่ำด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

The objective was aimed to study and evaluate the digest ability of raw material from agricultural waste, industrial residues and forage crops *in vitro* and *in situ* for the possibility to apply as a feedstuffs for dairy cattle. Three groups of raw materials were analyzed for chemical composition and digestibility. The nutrient analysis was done by using nylon bag and *in vitro* gas production technique.

The results showed forage crops had highest protein while agricultural, industrial residues group has low protein but the content of fiber was higher than forage crops accept leave of cassava. Evaluate of feedstuffs by nylon bag technique and *in vitro* gas production technique in forage crops. The highest value of digestibility and gas production performance is leucaena leaf meal followed with *Centrosema pubescens* Benth, *Stylosanthes hamata* cv. *Verano* และ *Centrosema pascuorum* cv. *Cavalcade*, respectively

The potentials of using raw materials as feedstuff for cattle were varied due to the digestibility. The higher digestibility values were pineapple peel, passion fruit coat, cassava peel and rambutan seeds followed with durian coat, rambutan coat and bagasse and pararubber seed coat and ground peanut hull for industrial residues. The maximum digestibility in agricultural waste were cassava leave meal, coconut meal, corn stem, sorghum stem followed with water hyacinth leave, corn cob, coconut leave meal, water hyacinth petiole and *Paspalum atratum*. However, the raw materials with the lower digestibility are possible to apply as feedstuffs due to the high fiber content but the digestibility and protein could improve.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงต่อสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ที่ได้จัดสรรเงินงบประมาณ เพื่อใช้ในการดำเนินงานและให้ความอนุเคราะห์สถานที่ สัตว์ทดลอง และอุปกรณ์เครื่องมือวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณอย่างสูงต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ความอนุเคราะห์สัตว์ทดลอง อุปกรณ์ และเครื่องมือในการวิเคราะห์ ซึ่งด้วยความร่วมมือต่างๆ ได้มีผลทำให้งานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นพนักงานขับรถ เจ้าหน้าที่หมวดงาน โคนม เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ประจำห้องโภชนศาสตร์สัตว์ ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกด้านต่างๆ ด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่เอื้ออำนวยและทำหน้าที่ช่วยเหลือในเรื่องเอกสารต่างๆ ให้เป็นไปด้วยความถูกต้องตามระเบียบราชการด้วยดีเสมอมา

คณะผู้วิจัย

กันยายน 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
กิตติกรรมประกาศ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		จ
สารบัญภาพ		ฉ
คำนำ		ช
บทที่ 1	ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
บทที่ 2	ตรวจเอกสาร	3
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	10
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	16
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	40
	เอกสารอ้างอิง	41
	ภาคผนวก	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1	องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ	17
ตารางที่ 2	คุณลักษณะในการย่อยสลายและความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของพืชตระกูลถั่วโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน	20
ตารางที่ 3	คุณลักษณะในการย่อยสลายและความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน	23
ตารางที่ 4	คุณลักษณะในการย่อยสลายและความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของเศษเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน	26
ตารางที่ 5	คุณสมบัติการผลิตแก๊ส การย่อยได้ในหลอดทดลอง ปริมาตรแก๊สและค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ของพืชตระกูลถั่ว	29
ตารางที่ 6	คุณสมบัติการผลิตแก๊ส การย่อยได้ในหลอดทดลอง ปริมาตรแก๊ส และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ของเศษเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมการเกษตร	33
ตารางที่ 7	คุณสมบัติการผลิตแก๊ส การย่อยได้ในหลอดทดลอง ปริมาตรแก๊ส และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ของเศษเหลือใช้ทางการเกษตร	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 1	ค่าประเมินผลผลิตแก๊สของพืชตระกูลถั่ว	30
ภาพที่ 2	ค่าประเมินผลผลิตแก๊สของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร	34
ภาพที่ 3	ค่าประเมินผลผลิตแก๊สของเศษเหลือใช้ทางการเกษตร	39
ภาพผนวกที่ 1	โคนมเจาะกระเพาะที่ใช้ในการศึกษาก่อนการทดลอง	51
ภาพผนวกที่ 2	ถุงไนล่อนที่ใช้ในการศึกษาในขณะทดสอบการย่อย	52
ภาพผนวกที่ 3	โคเจาะกระเพาะที่ใช้ในการศึกษาถูกเลี้ยงปกติในช่วงทดลอง	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

การเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยเฉพาะโคนมในประเทศไทย ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงด้วยการใช้เทคโนโลยีต่างๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตอย่างมีประสิทธิภาพการผลิต ทั้งด้านการเลี้ยงดู และการจัดการด้านอาหารในแต่ละฟาร์ม ปัญหาหลักของการผลิตสัตว์ในเขตร้อน คือ การขาดแคลนอาหารสัตว์ และคุณภาพอาหารสัตว์มีความแปรปรวนตลอดปีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูร้อนทุ่งหญ้าธรรมชาติจะมีคุณภาพและปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยอาหารหยาบเป็นอาหารหลักสำหรับการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งเกษตรกรจะใช้เลี้ยงโคและกระบือ ในช่วงเวลาที่ขาดแคลนหญ้า พบว่าปริมาณอาหารหยาบที่มีอยู่ในประเทศมีอยู่ปริมาณมากแต่ยังถูกนำมาใช้ได้ไม่เต็มที่ ในประเทศไทยนอกจากพืชอาหารหยาบจำพวกหญ้าชนิดต่างๆ แล้ว ยังมีอาหารหยาบจากวัสดุพลอยได้จากการปลูกพืชไร่และอุตสาหกรรมอีกมากมาย ได้แก่ ฟางข้าว ชานอ้อย ยอดอ้อย ต้นข้าวโพด เปลือกข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง เปลือกถั่วเหลือง ใบมันสำปะหลัง กากปาล์มน้ำมัน และเปลือกสับปะรด เป็นต้น

ถึงแม้ว่าทุ่งหญ้าธรรมชาติจะมีปริมาณไม่เพียงพอในช่วงหน้าแล้งแต่เศษเหลือใช้ทางการเกษตรก็มีจำนวนมากและสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เศษเหลือใช้ทางการเกษตรจะมีข้อดีเมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องขาดแคลนอาหารสัตว์ในฤดูแล้ง (Mgheni et al., 2001) ถึงแม้ว่าเศษเหลือใช้ทางการเกษตรมีข้อด้อย คือ มีเยื่อใยอยู่สูง มีโปรตีนต่ำ และอัตราการนำไปใช้ประโยชน์ต่ำ ก็ตาม ซึ่งการศึกษาการนำใช้เศษเหลือทางการเกษตรและอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีอยู่ยังมีการศึกษาที่ไม่กว้างขวางนัก จึงเป็นการจำเป็นที่ทำการศึกษาแนวทางการนำใช้วัตถุดิบดังกล่าว เพื่อนำใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องในฤดูแล้งได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบในฤดูแล้งและช่วยลดต้นทุนค่าอาหารและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยเฉพาะโคนมในประเทศไทย ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงด้วยการใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทราบกันดีอยู่แล้วว่า ต้นทุนของการผลิตสัตว์ส่วนใหญ่เป็นค่าอาหารสัตว์ ประมาณ 50 - 80 % โดยขึ้นกับชนิดของอาหารและการจัดการด้านอาหารในแต่ละฟาร์ม ซึ่งอาหารหยาบในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะเป็นอาหารหลัก โดยเกษตรกรจะใช้เลี้ยงโคและกระบือ ในช่วงเวลาที่ขาดแคลนหญ้า พบว่ามีอยู่ปริมาณมาก โดยอาหารหยาบในประเทศไทยแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ อาหารหยาบที่ได้จากพืชอาหารสัตว์ และอาหารหยาบจากวัสดุพลอยได้จากการปลูกพืชไร่และอุตสาหกรรม ซึ่งได้แก่ หญ้าชนิดต่าง ๆ ฟางข้าว ชานอ้อย ยอดอ้อย ต้นข้าวโพด เปลือกข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง เปลือกถั่วเหลือง ใบมันสำปะหลัง กากปาล์มน้ำมัน และเปลือกสับปะรด เป็นต้น (เมธา, 2533; สายัณห์, 2540)

ในการหาการย่อยได้ของอาหารหยาบ เมธา (2533) กล่าวว่า วิธี *in vitro* เป็นการเลียนแบบสภาวะภายในตัวสัตว์ทั้งหมด โดยใช้หลักการคือ เมื่อสัตว์กินอาหารเยื่อใย จากนั้นอาหารจะเข้าสู่กระเพาะรูเมน แล้วแบคทีเรียที่ใช้อาหารเยื่อใยจะเข้ายึดติดอาหาร แล้วปล่อยเอนไซม์ประเภทเซลลูเลสเข้าย่อยสลายเซลลูโลส ขณะย่อยสลายจะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งสัตว์ใช้ประโยชน์จากกรดไขมันระเหยง่าย โดยการดูดซึมของกระเพาะรูเมน เข้าสู่เส้นเลือดต่อไปยังร่างกาย และวิธี *in situ* นั้น บุญล้อม และสมคิด (2539) กล่าวว่า วิธีหาการย่อยได้โดยใช้ถุงไนล่อนนี้ ทำโดยชั่งอาหารใส่ถุงไนล่อน แล้วนำไปใส่ยังโคเจาะกระเพาะ ซึ่งจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน จะย่อยสลายอาหารในถุงไนล่อน จากนั้นจะนำถุงออกจากกระเพาะโคในเวลาต่าง ๆ กัน แล้วนำตัวอย่างอาหารที่เหลือจากการย่อยสลาย มาคำนวณค่าการย่อยสลาย

ซึ่งการเปรียบค่าการย่อยได้โดยใช้ค่าสหสัมพันธ์ของอาหารหยาบโดย Kabuga and Darko (1993) ทดลองหาการย่อยได้ของหญ้า Buffel, Love, Guinea และ Setaria พบว่า ค่าสหสัมพันธ์โดยวิธี rumen liquor pepsin (IVDMD) กับค่าการย่อยสลายแบบ *in situ* ที่ชั่วโมงที่ 3, 6, 9, 24, 48 และ 72 มีค่าเท่ากับ 0.93, 0.92, 0.90, 0.92, 0.97 และ 0.96 ตามลำดับ และ บรรจบพร (2541) ทดลองหาการย่อยได้ของหญ้าขน พบว่า ค่าสหสัมพันธ์ โดยวิธี rumen liquor pepsin (IVDMD) กับค่าการย่อยสลายแบบ *in situ* ที่ชั่วโมงที่ 72 และ 96 มีค่า เท่ากับ 0.97 และ 0.99

ในการประเมินสมการค่าการย่อยได้โดยใช้สมการ Multiple regression จากองค์ประกอบทางเคมี ซึ่ง Barnes *et al.* (1971) ทดลองประเมินค่า IVDMD จากส่วนประกอบทางเคมีของต้น ข้าวโพดที่ระยะตัด 10, 35 และ 55 วัน โดยค่า r^2 เท่ากับ 0.89 ดังสมการต่อไปนี้

% IVDMD = 117.0 - 2.17 ลิกนิน - 1.26 เซลลูโลส - 0.24 ADF - 0.34 โปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินสมการค่าการย่อยได้อีกวิธีหนึ่งโดยใช้สมการ Regression จากค่าการย่อยได้ซึ่ง Scales *et al.* (1974) รายงานว่า สามารถใช้ค่าการย่อยได้จากวิธีต่าง ๆ มาประเมินค่า IVVDMD (*in vivo* dry matter digestibility) ของพืชอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ เช่น หญ้า *Blue gramma* และ *Sandhill bluestem* โดยหาการย่อยได้แบบ *in vitro* โดยวิธี rumen liquor pepsin (IVDMD) (ค่า X) ประเมินค่า IVVDMD (ค่า Y) แบบ *in vivo* โดยค่า r^2 เท่ากับ 0.86 และค่า n เท่ากับ 24 ดังสมการ

% IVVDMD = 10.2 + 0.79x

การย่อยได้แบบ *in situ* โดยใช้ค่าการย่อยสลายที่ชั่วโมง 48 (ค่า X) ประเมินค่า IVVDMD (ค่า Y) แบบ *in vivo* โดยค่า r^2 เท่ากับ 0.46 และค่า n เท่ากับ 24 ดังสมการ

% IVVDMD = 7.00 + 0.65x

องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะทั้งที่ประเมินในตัวสัตว์และในหลอดทดลองเป็นตัวบ่งชี้ถึงการนำไปใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์และเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้เป็นอาหารโคนมโดยเฉพาะเศษเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมนั้นยังมีข้อมูลในเรื่องการย่อยได้อยู่จำกัดดังนั้นการทดลองในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นในการประเมินคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบโดยใช้เทคนิคถุงในล่อน (nylon bag technique) และเทคนิคการทดลองในหลอดทดลอง (*in vitro* technique)

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาค่าการย่อยได้ของอาหารโคนมแบบ *in vitro* และ *in sacco*
2. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหาร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบค่าการย่อยได้และองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร
2. สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกวัตถุดิบอาหารอาหารเพื่อประกอบสูตรอาหารโคนมในอนาคตได้

หน่วยงานที่ได้รับประโยชน์จากงานวิจัย

กลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม หน่วยงานทั้งภาครัฐ ได้แก่ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย สถานศึกษา และกรมปศุสัตว์ รวมทั้งบริษัทเอกชนที่ผลิตอาหารสัตว์ นำข้อมูลไปใช้ในการแนะนำ ส่งเสริม เพื่อผลิตอาหารสัตว์ให้เหมาะสมกับความต้องการโภชนะของโคนมในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

แหล่งอาหารสัตว์เขตร้อนและการใช้ประโยชน์

ชนิดของวัตถุดิบอาหารสัตว์ของแต่ละท้องถิ่นจะขึ้นกับชนิดของพืชที่ปลูกหรือการเก็บเกี่ยว และชนิดของสัตว์ (Church, 1991) ในเขตร้อนอาหารสัตว์เคี้ยวเองจะได้จากการแทะเล็มในทุ่งหญ้าธรรมชาติหรือการตัดหญ้าสดมาให้กิน และนอกจากนั้นยังได้จากผลพลอยได้ทางการเกษตรจากใบของไม้ยืนต้นหรือไม้พุ่ม ซึ่งในพื้นที่เขตร้อนโดยส่วนใหญ่ในหน้าร้อนหญ้าอาหารสัตว์จะมีคุณภาพลดลง โดยเฉพาะความเข้มข้นของพลังงานและไนโตรเจนส่งผลให้ปริมาณการกินได้และผลผลิตสัตว์ลดลง (Ibrahim et al., 1995) ชนิดของอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีตั้งแต่ที่มี คุณภาพต่ำ เช่นพวกพืชอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใยสูงๆ ไปจนถึงพวกเมล็ดธัญพืชที่มีคุณภาพสูง ชนิดของอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปจะมีผลต่อการให้ประโยชน์ได้ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เกษตรกรต้องการอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพเพื่อให้กับสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพอาหารสัตว์ก็ขึ้นกับส่วนของพืช ระยะการเจริญเติบโต ความสมบูรณ์ของดิน สภาพแวดล้อม ฤดูกาล และชนิดของพืช (Wanapat, 1999)

พืชอาหารสัตว์และอาหารข้นในเขตร้อนจะมีสัดส่วนของลิกนินอยู่สูง ซึ่งส่งผลต่อการย่อยได้และกระบวนการหมัก ซึ่งจะส่งผลทำให้อัตราการย่อยได้ต่ำทำให้จำกัดปริมาณการกินได้ (I brahium et al., 1995: Hindrichson et al., 2001) นอกจากนั้น Dryhurst and Woods (1998) ยังพบว่าสารอาหารสัตว์เขตร้อนจะมีความสามารถในการย่อยได้ต่ำ มีไนโตรเจนต่ำและมีเยื่อใยสูงเป็นผลให้สัตว์กินอาหารได้น้อยและจำกัดการใช้ประโยชน์ของพืชอาหารสัตว์ พืชอาหารสัตว์เขตร้อนมักจะไม่มีความสมดุลย์ของโปรตีนและพลังงานทำให้การนำไนโตรเจนไปใช้ในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนได้ต่ำ

กลยุทธ์ในการใช้ประโยชน์จากแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์เขตร้อน

ปัญหาหลักของการผลิตสัตว์ในเขตร้อน คือ การขาดแคลนอาหารสัตว์และคุณภาพอาหารสัตว์มีความแปรปรวนตลอดปีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูร้อนทุ่งหญ้าธรรมชาติจะมีคุณภาพและปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะความเข้มข้นของโปรตีนและพลังงาน (Hindrichson et al., 2001) ขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาระบบการให้อาหารสัตว์เขตร้อน ขั้นแรกควรเลือกแหล่งอาหารของคาร์โบไฮเดรทพื้นฐานที่มีจำนวนมากมีศักยภาพในกระบวนการหมักสูงและดูที่ราคา นอกจากนั้นโภชนะอื่นที่จะนำมาเสริม เช่น โปรตีนต้องดูที่มีราคาเป็นหลัก (Preston and Leng, 1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธัญพืชเป็นส่วนประกอบสำคัญในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องที่เลี้ยงแบบประณีต (Remeke,2004) วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ให้พลังงานสูงจะถูกนำมาให้สัตว์เพื่อผลิตเนื้อและนมซึ่งในสภาวะที่ให้อาหารพวกธัญพืชในระดับสูงก็จะส่งผลในเรื่องความคุ้มค่าของเศรษฐกิจตามมาเพราะเมล็ดธัญพืชต่างๆ มีราคาค่อนข้างแพง เมื่อเทียบกับอาหารหยาบ (Arieli et al., 1995) ในประเทศที่กำลังพัฒนาการเลี้ยงสัตว์โดยส่วนมากนิยมให้สัตว์แทะเล็มในทุ่งหญ้าธรรมชาติ และให้อาหารพวกเศษเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น ต้นข้าวโพด ฟางข้าว เศษเหลือจากการผลิตน้ำตาลและอื่นๆ (Chantalakhana and Skunman, 2002) พืชอาหารเหล่านี้จะมีโปรตีน พลังงาน แร่ธาตุ และวิตามินในระดับต่ำ (Wanapat, 1999) ซึ่งการเสริมใบไม้จากไม้ยืนต้นที่มีโปตีนสูง เมล็ดพืชบด หรือยูเรียจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่มีคุณภาพต่ำ (Baloyi et al., 1997)

การใช้ผลพลอยได้ทางการเกษตร และผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ถึงแม้ว่าทุ่งหญ้าธรรมชาติจะมีปริมาณไม่เพียงพอในช่วงหน้าแล้ง แต่เศษเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ โดยเฉพาะยอดอ้อย (Chinh et al., 2000) ฟางข้าว (Agbagla Dohnoni et al., 2001) และต้นข้าวโพด (Hindrichsen et al., 2001) เศษเหลือใช้ทางการเกษตรจะมีข้อประโยชน์มากเมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องขาดแคลนอาหารสัตว์โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง (Mgheni et al., 2001) แต่อย่างไรก็ตามเศษเหลือใช้ทางการเกษตรก็มีข้อด้อย คือ มีเยื่อใยอยู่สูง มีโปรตีนต่ำ และอัตราการนำไปใช้ประโยชน์ต่ำ (Hindrichsen et al., 2001) ซึ่งการขาดโภชนะจะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะย่อยอาหารในกระเพาะเจริญไม่ดี ส่งผลทำให้การได้รับโภชนะของสัตว์ลดลงด้วย (Leng, 1997)

การเสริมอาหารพวกใบไม้ที่มีโปรตีนสูง เมล็ดพืชสกัดน้ำมัน และยูเรียสามารถปรับปรุงการใช้ประโยชน์ของอาหารหยาบคุณภาพต่ำ ซึ่ง Wanapat et al. (1997) รายงานว่าการใช้มันสำปะหลังเฮย์จะเป็นแหล่งเสริมโปรตีนให้กับสัตว์ในช่วงฤดูแล้งได้อย่างดีโดยเฉพาะในฟาร์มโคนมขนาดเล็ก เศษเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่จำนวนมาก เมื่อมีการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ ได้แก่ ฟางข้าว ยอดอ้อย ต้นข้าวโพด ใบมันสำปะหลัง และเศษเหลือใช้จากการเก็บเกี่ยวพืชตระกูลถั่ว เช่น ฟางถั่วเหลือง (Wanapat, 1999) โดยทั่วไปเศษเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้จะมีองค์ประกอบทางเคมี และรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพืช การเก็บเกี่ยว สภาพแวดล้อม (Egan, 1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วเศษเหลือใช้ทางการเกษตรจะมีคุณค่าทางโภชนะต่ำ เช่น ฟางข้าว แต่มีอยู่เป็นปริมาณมากซึ่งเป็นโอกาสดีที่ได้นำเศษเหลือใช้ที่มีจำนวนมากมาใช้ในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะ ซึ่งลักษณะโดยทั่วไปจะมีการย่อยได้ต่ำ โปรตีนต่ำ มีน่ากินต่ำและฟ่าม แต่อย่างไรก็ตามก็มีหลายวิธีการในการปรับปรุงการใช้ประโยชน์ เช่น การบด การใช้สารเคมี (Chen et al., 1996) การเสริมไนโตรเจน (Siulapwa and Simukoko, 2005) และการใช้เชื้อรา (Poppi etal., 1995) แต่อย่างไรก็ตามการใช้ยูเรียในการทำฟางหมักยูเรีย ก็เป็นวิธีที่นิยมทำกันมากที่สุด เศษเหลือใช้ทางการเกษตรถูกนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ เพราะมีอยู่เป็นจำนวนมาก เศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรมาจากพืชและพืช ซึ่งมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น กากน้ำตาล กากพืชน้ำมัน กากมะเขือเทศ กากสับปะรด และ เศษเหลือจากโรงงานแป้งมัน เป็นต้น

การประเมินคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์โดยใช้เทคนิคทดลองนอกตัวสัตว์

การประเมินคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์โดยใช้เทคนิคการทดลองนอกตัวสัตว์เป็นวิธีการที่สามารถทำได้รวดเร็วและสามารถทำเป็นงานประจำในห้องปฏิบัติการได้ (Gizzi et al., 1998) เนื่องจากการทดลองการย่อยได้ในตัวสัตว์ต้องใช้แรงงานและต้นทุนสูง ดังนั้นจึงมีผู้พยายามหันมาศึกษาและหาวิธีการในการวัดการย่อยได้โดยใช้เทคนิคการทดลองนอกตัวสัตว์หรือหลอดทดลอง ซึ่งปัจจุบันมีวิธีการที่นิยมใช้อยู่ 3 วิธีใหญ่ ๆ คือ

1. การศึกษาการย่อยได้โดยใช้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักตามวิธีการของ Tilley and Terry (1963) หรือการใช้วิธีแก๊สโปรดักชั่นตามวิธีการของ Menke et al. (1979)

2. การหาการย่อยได้โดยใช้เทคนิคถุงไนล่อนตามวิธีการของ Ørskov and McDonald (1979)

3. การใช้เทคนิคเอนไซม์ (Cone et al., 2004)

ในช่วงแรก Tilley and Terry (1963) ได้เสนอวิธีการแบบ 2 ขั้นตอน (Two Stage Technique) เพื่อการประเมินหาการย่อยได้ในพืชอาหารสัตว์โดยการจุ่มกับน้ำในกระเพาะหมักในหลอดทดลองแล้วทำการย่อยสลายต่อโดยใช้เอนไซม์ในการวัดหาการย่อยได้และต่อมาได้พัฒนาวิธีการเรียกว่าเทคนิคแก๊สโปรดัคชั่น (Menke and Steingass, 1998) และ Ørskov and McDonald (1979) ได้ประสบความสำเร็จในการใช้เทคนิคถุงไนล่อนในการประเมินหาการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการของ Tilley and Terry

วิธีการของ Tilley and Terry 1963 ได้กลายมาเป็นวิธีการหาการย่อยได้ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง และใช้กันอย่างกว้างขวางเพราะใช้ง่าย สะดวกสบายโดยเฉพาะเมื่อต้องการทดสอบอาหารหลายๆ ชนิดพร้อมกัน (Getachew et al., 1998) วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ผสมผสาน 2 ขั้นตอนของการย่อยในตัวสัตว์โดยเลียนแบบการย่อยในกระเพาะหมักและในกระเพาะจริง ซึ่งตัวอย่างอาหารจะถูกนำมาบ่มโดยใช้จุลินทรีย์จากกระเพาะหมักเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงแล้วตามด้วยการย่อยด้วยเอนไซม์เปปซินในภาวะเป็นกรด (Broderick and Cochran, 2000) วิธีการนี้ได้ถูกดัดแปลงนำไปใช้เพื่อหาการย่อยได้ของอาหารสัตว์และพบว่าสามารถใช้เป็นเทคนิคทางเลือกในการหาการย่อยได้เป็นอย่างดี (Melaku et al., 2003; Tessema and Baars, 2004)

เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่น (Gas production technique)

ความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการหมักในกระเพาะหมักและเกิดแก๊สเป็นที่รู้จักกันมานานในช่วงแรก นักวิจัยได้ทำการวัดแก๊สที่เกิดขึ้นในกระเพาะโดยตรง โดยการเจาะกระเพาะของแกะ แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้มีความยุ่งยาก และซับซ้อนมาก (Blummel et al., 1997) หลังจากนั้นนักวิจัยได้พยายามปรับปรุงวิธีการใช้เทคนิคแก๊สในการประเมินคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ (Menke et al., 1997; Menke and Steingass 1988; Blummel and Ørskov 1993; Theodorou et al., 1994 and Tessema and Baars, 2004) เทคนิคนี้ได้รับความนิยมอย่างรวดเร็วเพราะทำง่าย ราคาถูก สามารถทดสอบวัตถุดิบอาหารได้ทีละหลาย ๆ ตัวพร้อม ๆ กัน (Herrero et al., 1996) แต่อย่างไรก็ตามก็มีปัจจัยหลายปัจจัยที่จะทำให้การย่อยได้ในหลอดทดลองหรือการวัดปริมาตรแก๊สผิดพลาดได้ เช่น ปริมาณอาหารที่ใส่เข้าในขวด และการเตรียมตัวอย่างอาหารตัวบัฟเฟอร์ และเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาจากกระเพาะหมัก สภาพในการบ่มและเวลาในการอ่าน

เทคนิคถุงไนล่อน (Nylon bag technique)

เทคนิคถุงไนล่อนเครื่องมือที่มีความสามารถสูงในการใช้ประเมินคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยเฉพาะการใช้อธิบายถึงคุณลักษณะการย่อยสลายของโปรตีนและอาหารหยาบ (Ørskov and Shand, 1997) หรือโภชนะอื่น (Olivera, 1998) และนอกจากนั้นยังใช้ศึกษาถึงสภาวะแวดล้อมภายในกระเพาะหมักโดยตรงซึ่งจะนำเอาอาหารประมาณ 3-5 กรัมใส่ในถุงไนล่อนแล้วนำไปบ่มในกระเพาะหมัก และวัดการหายไปขององค์ประกอบของอาหารที่หายไปหลังจากบ่ม (Norziere and Michalet-Doreau, 2000) ในช่วงแรกเทคนิคนี้ได้รับความสำเร็จมากในการนำมาประเมินหาค่าโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในอาหารที่ทำการป้องกันการย่อยสลายโดยฟอร์มาลดีไฮด์ หลังจากนั้น Ørskov and McDonald 1979) ได้ใช้เทคนิคถุงไนล่อนในการประเมินหาค่าโปรตีนที่ไม่สามารถย่อยสลายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระเพาะหมักโดยนำค่าอัตราการไหลผ่านมาคิดด้วย แต่อย่างไรก็ตามยังมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าการย่อยได้ในกระเพาะหมัก ซึ่งการทำต้องทำด้วยวิธีการมาตรฐาน

การประเมินคุณค่าทางอาหาร

การประเมินคุณค่าทางอาหารที่เป็นพื้นฐานที่สุด คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธี Proximate analysis วิธีนี้นิยมใช้กันมานานและสามารถบอกองค์ประกอบทางเคมีในอาหารได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น แต่มีจุดบกพร่องหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของเยื่อใย ดังนั้นจึงมีการพัฒนาการวิเคราะห์ขึ้น เรียกว่า Detergent method (Georing and Van Soest, 1970) อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีนั้นไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าปริมาณอาหารที่สัตว์กินและโภชนะที่สัตว์จะได้รับจริงมีเท่าใด ดังนั้นจึงมีการทดลองหาการย่อยได้ทั้งที่ทำการทดลองกับสัตว์โดยตรง (*in vivo*) และทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) หรือ *in sacco* เป็นต้น

การใช้เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่นในการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายอาหาร

เมื่ออาหารถูกหมักย่อยในกระเพาะรูเมนจะเกิดแก๊สขึ้น ถ้าเกิดแก๊สมากแสดงว่าอาหารถูกย่อยได้มาก ผลผลิตที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และเซลล์ของจุลินทรีย์ (Getachew et al., 1998)

Menke et al. (1979)ได้ทำการศึกษากับอาหารกว่า 200 ชนิด โดยหาการย่อยได้แบบ *in vitro* และวัดค่าพลังงานใช้ประโยชน์ (metabolizable energy; ME) แล้วหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าวกับปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในหลอดทดลอง ซึ่งเป็นหลอดแก้วขนาดใหญ่ลักษณะคล้ายหลอดฉีดยา และมีขีดบอกปริมาณด้านข้างหลอด พบว่าแก๊สมีความสัมพันธ์กันสูงกับปริมาณอาหารที่ย่อยได้แต่เนื่องจากการวัดปริมาณแก๊สอย่างเดียวไม่สามารถนำมาประเมินคุณภาพอาหารได้ถูกต้องนักจึงควรหาปริมาณที่ย่อยสลายได้ต่อแก๊สที่ผลิตได้ 1 หน่วย เพื่อใช้ในการระบุคุณภาพอาหาร ทั้งนี้เพราะแก๊สเป็นส่วนหนึ่งที่ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ถือว่าเป็นการสูญเสีย กรดไขมันได้และโปรตีนจากจุลินทรีย์ (Blummel and Becker, 1997) ต่อมา Blummel and Ørskov (1993) ได้พัฒนาวิธีการนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมโดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่ออาหารถูกหมักในกระเพาะรูเมนจะเกิดเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid; VFA) และแก๊ส อาหารส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะคงเหลืออยู่ และการนำอาหารมาหมักย่อยในหลอดทดลองในสภาพเลียนแบบกระเพาะรูเมน (*in vitro* technique) ก็ได้ผลในทำนองนี้เช่นกัน ดังนั้นถ้านำอาหารที่เหลือไปหักออกจากอาหารเริ่มต้น (incubated substrate) จะสามารถทราบปริมาณอาหารที่ย่อยสลายแบบปรากฏ (apparent degraded substrate) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาของ Aiple at al. (1996) ได้เปรียบเทียบเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ประเมินค่าพลังงานสุทธิ คือเทคนิคเอนไซม์ เทคนิค Crude nutrient และเทคนิคแก๊สโปรดัคชั่น โดยได้ทดลองใช้อาหารเพียงอย่างเดียว และพบว่าเทคนิคแก๊สโปรดัคชั่น เป็นวิธีที่ดีกว่าสองวิธีนั้น ต่อมาเทคนิคแก๊สโปรดัคชั่นได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการประเมินความสามารถในการย่อยสลายของเยื่อใยและยังสามารถนำมาคำนวณหาอัตราการย่อยได้ของโปรตีนในกระเพาะหมัก (Getachaw et al., 1998) สำหรับการประเมินคุณค่าทางอาหารเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการที่จะทราบถึงข้อมูลของวัตถุดิบที่จะต้องใช้ในการคำนวณสูตรอาหารซึ่งในกรณีของสัตว์เคี้ยวเอื้อง นอกจากที่จะต้องทราบองค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Proximate analysis หรือ Weende analysis และการวิเคราะห์เยื่อใยด้วยวิธีใช้สารฟอก แล้วยังต้องทราบว่าอาหารมีพลังงานสุทธิที่สัตว์จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิตมากน้อยเพียงใด มีโปรตีนและโภชนะที่สัตว์จะย่อยสลายในรูเมนเพื่อให้จุลินทรีย์นำไปสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน (Microbial protein) เท่าใด การที่จะทราบข้อมูลเหล่านี้จำเป็นต้องใช้เทคนิคต่าง ๆ ที่ทดลองกับสัตว์โดยตรง (*in vivo*) และในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) ซึ่งปัจจุบันได้รับการปรับปรุงและพัฒนาขึ้นเป็นลำดับ เช่น การย่อยด้วยวิธีเอนไซม์ pepsin-cellulase วิธีใช้ถุงไนล่อน (*in sacco* method หรือ *nylon bag* technique) และวิธีวัดปริมาตรแก๊ส (gas production technique) เป็นต้น ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การประเมินคุณภาพอาหารได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น (Getachew et al., 2000)

การใช้เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่นในการประเมินคุณลักษณะการย่อยสลายของวัตถุดิบอาหารสัตว์เป็นแนวทางสำหรับการพิจารณาและเลือกใช้วัตถุดิบได้อย่างเหมาะสมที่สุดมาใช้ในการประกอบสูตรอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งค่าปริมาณแก๊สสะสมของวัตถุดิบที่วัดได้ สามารถนำมาเป็นดัชนีในการตัดสินใจเลือกใช้วัตถุดิบชนิดใดมาประกอบสูตรอาหารสัตว์ เพราะค่าปริมาณแก๊สที่สะสมได้จากการวัดแก๊สที่ชั่วโมงต่าง ๆ นั้นจะมีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับกระบวนการหมัก และการย่อยสลายของวัตถุดิบอาหาร การทราบค่าปริมาณแก๊สในชั่วโมงต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดมีประโยชน์ในด้านการผลิตสัตว์คือ วัตถุดิบชนิดใดที่มีค่าปริมาณแก๊สสูงแสดงว่าค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบชนิดนั้น ๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วฮามาต้า ถั่วลาย ใบกระถิน และถั่วคาวาเคดเป็นอาหารหยาบที่กรมปศุสัตว์นำมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์รวมกับหญ้าสด หญ้าแห้ง ฟางข้าว ฟางหมัก อาหารข้น เนื่องจากเป็นพืชตระกูลถั่วที่เป็นแหล่งโปรตีนมากกว่าพลังงานและสามารถหาได้ในท้องถิ่นซึ่งมีราคาถูกกว่ากากพืชน้ำมันหรือโปรตีนจากสัตว์ ถ้าตัดในช่วงอายุที่เหมะสมจะพบว่ามีระดับโปรตีนค่อนข้างสูง เนื่องจาก ถั่วฮามาต้า ถั่วลาย ใบกระถิน และ ถั่วคาวาเคด มีปริมาณโปรตีนหยาบที่มีค่าสูง และการย่อยได้ของโปรตีนค่อนข้างสูงแต่ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง เยื่อใยหยาบและเยื่อใย NDF ADF ADL ค่อนข้างต่ำรวมทั้งค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ก็ค่อนข้างต่ำด้วย แต่ถ้าตัดเมื่อมีอายุมากจะทำให้มีเยื่อใย NDF ADF ADL ค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลต่อการย่อยได้ และการกินได้ต่ำ รูปแบบที่นิยมนำมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ที่แพร่หลาย คือ รูปแบบสด และรูปแบบแห้งโดยใช้ร่วมกับหญ้าหรือฟาง แต่ข้อเสียของถั่วฮามาต้า ถั่วลาย ใบกระถิน และ ถั่วคาวาเคด คือ เมื่อสัตว์กินเข้าไปมากเกินไปจะทำให้เกิดอาการท้องอืดถ้ารุนแรงมากๆ และอาจทำให้สัตว์ตายได้

การใช้เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่นใช้เวลาน้อยกว่าการทดลองกับตัวสัตว์ เพราะสามารถทำพร้อมๆ กันได้ทีละหลายตัวอย่างในเวลาอันรวดเร็ว แต่ในการทดลองอาจไม่ตรงกับการทดลองที่เกิดขึ้นกับตัวสัตว์จริง (บุญล้อม, 2541) และอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากของเหลวที่สุ่มจากกระเพาะรูเมน จะต้องประกอบด้วยน้ำย่อยที่เหมาะสม และสัตว์ได้รับอาหารที่ทำให้จุลินทรีย์ในรูเมนมีความเป็นอยู่อย่างเหมาะสม (เมธา, 2533) หรือเกิดจากความผิดพลาดในระหว่างการทดลอง เช่น การเลียนแบบสภาวะการหมักไม่ได้ไร้ออกซิเจนจริงหรืออุณหภูมิไม่เป็นไปตามที่กำหนด (บุญล้อม, 2541)

เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่นเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะใช้ประเมินคุณค่าทางโภชนะ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอาหารสัตว์ ซึ่งทำให้ทราบถึงจลศาสตร์ในการย่อยสลายของวัตถุดิบอาหารสัตว์และใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาวัตถุดิบที่จะนำมาเป็นอาหารสัตว์ ซึ่งส่วนมากแล้วจะนิยมใช้ประเมินคุณภาพทางโภชนะของวัตถุดิบอาหาร หรือมีการใช้ยังไม่กว้างขวางมากนัก เนื่องจากการใช้เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่นในการประเมินคุณค่าทางโภชนะของพืชตระกูลถั่วยังมีข้อมูลจำกัด ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงใช้เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่นในการประเมินคุณค่าทางโภชนะของ ถั่วฮามาต้า ถั่วลาย ใบกระถิน และถั่วคาวาเคด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การสุ่มวัตถุดิบอาหารสัตว์และการจัดกลุ่มวัตถุดิบอาหารเพื่อใช้ในการทดลอง

ทำการสุ่มวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมจากโรงงานอุตสาหกรรมและฟาร์มเกษตรกรในเขตภาคใต้ นำวัตถุดิบที่สุ่มมาได้มาจัดกลุ่มโดยใช้แหล่งที่มาและชนิดของวัตถุดิบได้ในการจัดกลุ่ม ซึ่งทำการจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่มดังนี้คือ

1. กลุ่มพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ ถั่วคาวาเคด ใบกระถินบด ต้นถั่วลายบด ถั่วฮามาต้า

2. กลุ่มเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร ได้แก่ เปลือกสับปะรด เปลือกถั่วลิสง เปลือกทุเรียน เปลือกเงาะบด เปลือกเมล็ดยางพารา เปลือกเสาวรส เปลือกมันสำปะหลัง ชานอ้อย และเมล็ดเงาะ

3. กลุ่มเศษเหลือใช้ทางการเกษตรและอื่น ๆ ได้แก่ ต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง ซังข้าวโพด ใบผักตบชวา หญ้าอะตราตั้ม กากมะพร้าวบด ใบมะพร้าวบด และก้านผักตบชวา

นำวัตถุดิบอาหารทั้ง 3 กลุ่มไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและทำการทดลองหาการย่อยได้ และจลศาสตร์การย่อยสลายของวัตถุดิบ 2 วิธีคือ

การทดลองที่ 1 การประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน (*Nylon* bag technique)

การทดลองที่ 2 ทำการหาการย่อยได้ในหลอดทดลองและจลศาสตร์การย่อยสลายโดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส (*in vitro* gas production technique)

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำตัวอย่างอาหารมาทำการบดผ่านตระแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร นำเอาตัวอย่างที่บดเสร็จแล้ววิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง (DM), โปรตีน (CP), เถ้า (Ash) ตามวิธีของ AOAC (1990) และผนังเซลล์ (NDF) ลิกนินเซลลูโลส (ADF) ลิกนิน (ADL) ตามวิธีของ Van Soest et al. (1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การทดลองที่ 1 การประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน (*Nylon* bag technique)

การทดลองย่อยที่ 1.1 นำวัตถุดิบกลุ่มพืชตระกูลถั่วมาประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อนตามวิธีการข้างล่าง

การทดลองย่อยที่ 1.2 นำวัตถุดิบกลุ่มเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรมาประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อนตามวิธีการข้างล่าง

การทดลองย่อยที่ 1.3 นำวัตถุดิบกลุ่มเศษเหลือใช้ทางการเกษตรและอื่น ๆ มาประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อนตามวิธีการข้างล่าง

วิธีการทดลอง

สัตว์ทดลองใช้โคนมเพศผู้เจาะกระเพาะจำนวน 3 ตัว สัตว์ทดลองแยกขังในคอกขังเดี่ยว ได้รับอาหารหยาบ คือ ฟางข้าวแบบเต็มที่ และได้รับอาหารข้นจำนวน 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และมีน้ำให้กินตลอดเวลา เป็นเวลา 14 วันก่อนทำการทดลอง เพื่อเป็นการปรับสภาวะแวดล้อมภายในกระเพาะรูเมน และเป็นการปรับสภาพสัตว์ก่อนการทดลองให้มีสภาพร่างกายใกล้เคียงกัน (Vanzant et al., 1998)

การเตรียมวัตถุดิบอาหาร และถุงไนล่อน ทำการชั่งน้ำหนักอาหารข้นที่บดผ่านตระแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ประมาณ 3.0 กรัม (น้ำหนักสด) ลงในถุงไนล่อนที่มีขนาดรูตาข่ายของถุง (pore size) 45 ไมครอน (Shabi et al., 1998) โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดจะทำทั้งหมด 6 ซ้ำในแต่ละช่วงเวลา หลังจากนั้นนำไปบ่มในกระเพาะของโคที่เจาะกระเพาะหลังจากให้อาหารเช้า 30 นาที หลังจากนั้นนำถุงออกจากกระเพาะหมักในเวลา 6, 12, 24, 36, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างน้ำโดยเปิดน้ำล้างเบาๆ จนน้ำที่ไหลผ่านถุงใส และในชั่วโมงที่ 0 ก็ทำเช่นเดียวกัน หลังจากล้างถุงไนล่อนเสร็จนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 C° เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบและทำการชั่งน้ำหนักถุงและอาหารที่เหลือ นำอาหารที่เหลือตกค้างอยู่ในถุงในแต่ละเวลามารวมกันแล้วนำไปวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง และโปรตีน หลังจากนั้นคำนวณหาค่าโปรตีนที่หายไปโดยหาค่าความแตกต่างระหว่างโปรตีนก่อนบ่มและหลังบ่มในกระเพาะหมัก นำค่าการย่อยสลายของโปรตีนในแต่ละเวลามาหาค่าคงที่โดยสมการเอกโพเนนเชียล $p = a + b(1 - c^{-ct})$ (Ørskov and McDonald., 1979) และหาค่าความสามารถในการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีนในกระเพาะหมัก (effective degradability , ED) ตามสมการ ED=a+[(b x c)/(c+k)] เมื่อค่า a คือส่วนที่สามารถละลายได้ง่าย ค่า b คือส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายที่เวลา t ค่า c คือ อัตราการย่อยสลายของส่วน b ส่วนค่า k คืออัตราการไหลผ่าน (2%/h) (Ørskov and McDonald, 1979) เมื่อได้ค่าที่ย่อยสลายแล้วนำมาคำนวณหาค่าที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UD) ดังสมการ %UD=100- %ED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทดลองที่ 2 การประเมินความสามารถในการย่อยสลายโดยใช้เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่น (gas production technique)

การทดลองย่อยที่ 2.1 นำวัตถุดิบกลุ่มพืชตระกูลถั่วมาประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคแก๊สโปรดัคชั่นตามวิธีการข้างล่าง

การทดลองย่อยที่ 2.2 นำวัตถุดิบกลุ่มเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรมาประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคแก๊สโปรดัคชั่นตามวิธีการข้างล่าง

การทดลองย่อยที่ 2.3 นำวัตถุดิบกลุ่มเศษเหลือใช้ทางการเกษตรและอื่นๆ มาประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคแก๊สโปรดัคชั่นตามวิธีการข้างล่าง

วิธีการทดลอง

ทำการศึกษาจลศาสตร์การผลิตแก๊สตามวิธีการของ Makkar et al. (1995) และประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้(ME) ตามสมการของ Menke et al. (1979)

{ME (MJ/kgDM) = 2.20 + (0.136xGv) + (0.057x%CP)}

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ของเหลวจากกระเพาะหมัก (rumen fluid) จากโคลูกผสมบราห์มันพื้นเมืองเพศผู้ตอนเจาะกระเพาะ น้ำหนัก 250±15 กิโลกรัม จำนวนสองตัว เพื่อเป็นแหล่งจุลินทรีย์ในหลอดทดลอง ซึ่งโคได้รับอาหาร คือ ฟางข้าวแบบเต็มที่ และได้รับอาหารข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (อาหารข้นประกอบด้วย มันเส้น49.80%, รำละเอียด17.5%, กากปาล์ม14.60% , กากถั่วเหลือง 7.0%, ยูเรีย 1.40%, เกลือ 0.4%, แร่ธาตุผสม 1.0 %, และกากน้ำตาล 8.30%)

การเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมสารละลาย medium โดยวิธีของ Makkar *et al.* (1995) อ้างโดย Sommart (1998)

1. การเตรียมสารละลาย buffer solution

ส่วนประกอบ	จำนวน (กรัม)
$NaHCO_3$	35.0
$(NH_4)HCO_3$	4.0

นำส่วนผสมทั้งหมดผสมน้ำกลั่นให้ได้ 1000 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลาย macromineral solution

ส่วนประกอบ	จำนวน (กรัม)
Na_2HPO_4 (anhydrous)	5.7
KH_2PO_4 (anhydrous)	6.2
NaCl	2.22
MgSO4.7H2O	0.6

นำส่วนผสมทั้งหมดผสมน้ำกลั่นให้ได้ 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเตรียมสารละลาย micromineral solution

ส่วนประกอบ	จำนวน (กรัม)
$CaCl_2.2H_2O$	13.2
$MnCl_2.4H_2O$	10.0
$CoCl_2.6H_2O$	1.0
$FeCl_3.6H_2O$	8.0

นำส่วนผสมทั้งหมดผสมน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

4. การเตรียมสารละลาย Reduction Solution

ส่วนประกอบ	จำนวน
$Na_2OH.9H_2O$	580 มิลลิกรัม
NaOH 1 M	3.7 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลาย medium ให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น 376.13 มิลลิลิตร ใช้สาร Rumen buffer Solution 251 มิลลิลิตร ใช้สาร macromineral solution 125.38 มิลลิลิตร ใช้ สาร micromineral solution 0.08 มิลลิลิตร ใช้สาร resazurin aquaous 0.35 มิลลิลิตร ผสมสารดังที่กล่าวมาลงในขวดรูปชมพู่ นำไปอุ่นให้ได้ 39 องศาเซลเซียส คนด้วย manetic stirror โดยใช้ hot plate พร้อมกับผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลงในสารละลายตลอดเวลา ก่อนจะนำ rumen fluid มาผสมกับสาร medium ให้เติมสารละลาย reduction solution 20.61 มิลลิลิตร ลงไป สีของสารละลายจะค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีฟ้า เป็นสีชมพูและไม่มีสี ตามลำดับ

3. การเก็บน้ำจากรูเมน และการ incubate กับตัวอย่าง

สุ่มเก็บน้ำจากกระเพาะรูเมนก่อนให้อาหารเช้าประมาณ 30 นาที โดยการเก็บด้วยกระติกเทอร์มอสที่เทน้ำอุ่นออกแล้ว เพื่อรักษาอุณหภูมิของน้ำจากรูเมน และต้องปิดฝาให้แน่นเพื่อรักษาสภาพไร้ออกซิเจน หลังจากนั้นให้รีบนำกลับมาที่ห้องปฏิบัติการให้เร็วที่สุด จากนั้นกรองน้ำที่เก็บจากกระเพาะรูเมน ด้วยผ้าขาวบาง แล้วจึงเติมลงในสารละลาย medium ด้วยปริมาตร 226.71 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันคนด้วย macnetic stirror โดยใช้ hot plate ภายใต้อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ตลอดเวลา

4. ขวดที่ใช้ทดลอง

การเตรียมตัวอย่างใส่ขวดที่ใช้ทดลอง โดยใช้ขวดขนาด 50 มิลลิลิตร ชั่งตัวอย่าง 500 มิลลิกรัม (วัตถุแห้ง) ตัวอย่างวัตถุดิบแต่ละชนิดทำ 6 ซ้ำใส่ลงในขวดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยคลิป (clip) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียสประมาณ 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การฉีด Rumen fluid ลงในขวดทดลอง

เมื่อทำการบ่มขวดที่บรรจุตัวอย่างอาหาร 500 มิลลิกรัม ที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียสนานอย่างน้อย1 ชั่วโมง ฉีด rumen medium 40 มิลลิลิตร (ใช้กระบอกฉีดยาที่มีปริมาตร 60 มิลลิลิตร) ลงในขวดทดลองโดยแทงผ่านคลิป (clip) ที่ปิดปากขวด หลังจากนั้นทำการบ่มในตู้อบความร้อนในภาวะไร้ออกซิเจนและอุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียสดูดสารที่ผสมข้างต้น มา ฉีด

6. การวัดผลผลิตแก๊ส

ทำการวัดแก๊สที่เกิดขึ้น โดยใช้กระบอกฉีดยาซึ่งด้านปลายต่อด้วยสายน้ำเกลือที่ติดเข็มเบอร์ 21 เพื่อเจาะผ่านคลิป เข้าไปวัดแก๊สในขวดโดย 12 ชั่วโมงแรกของการบ่มวัตถุดิบทำการวัดปริมาตรแก๊สทุกหนึ่งชั่วโมง ต่อมาวัดปริมาตรแก๊สทุก 3 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่ 24 จากนั้นวัดปริมาตรแก๊สทุก 6 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่ 96

7. การวัดการย่อยได้

ทำการดึงขวดออกในชั่วโมงที่ 24 และ 96 ขวดที่ถูกดึงออกจะฉีดสารละลาย fixing 5 มิลลิลิตร (น้ำเกลือ 1 เปอร์เซ็นต์ ผสม ฟอร์มาลีน เข้มข้น 0.5%, V/V) แล้วนำไปแช่แข็งเพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์

นำขวดทดลองที่แช่แข็งมาทำละลายนำอาหารส่วนที่เหลือมากรองเพื่อแยกเอาเศษอาหารที่เหลือมาวิเคราะห์และทำการคำนวณหาการย่อยได้ในหลอดทดลอง ของ วัตถุแห้ง (IVDMD) อินทรีย์วัตถุ (IVOMD) โดยใช้สมการ

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

$$\text{IVOMD (\%)} = \frac{[\text{น้ำหนักอินทรียวัตถุเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักอินทรียวัตถุหลังการบ่ม}]}{\text{น้ำหนักวัตถุอินทรีย์เริ่มต้น}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การคำนวณคุณลักษณะในการย่อยสลาย

นำค่าแก๊สที่อ่านได้ไปหาค่าคุณลักษณะในการย่อยสลายตามสมการของ Ørskov and Mc Donald (1979) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ nonlinear เพื่อคำนวณค่า a, b และ c (SAS, 1985) ดังนี้

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

P = ปริมาณของแก๊สที่เวลา t

a = จุดตัดแกน y ของการหมักที่เวลา t

b = อัตราที่ไม่ย่อยสลายที่เวลา t

c = อัตราการผลิตแก๊ส

ค่า a, b จากสมการจะนำมาคำนวณหาค่าศักยภาพในการย่อยสลายสูงสุด (d) ของเทคนิคแก๊สโปรดัคชั่น ดังสมการ

$$d = |a| + b \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

d = ศักยภาพในการผลิตแก๊ส

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randamized Design (CRD) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ตามวิธีของ Duncan' s new multiple range test (DMRT) (SAS, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

การทดลองนี้แบ่งอาหารออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มพืชตระกูลถั่ว เศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร และเศษเหลือใช้จากกากเกษตรและอื่นๆ องค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าในกลุ่มพืชตระกูลถั่วจะมีระดับโปรตีนสูงกว่าในกลุ่มของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรและเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสอดคล้องกับ Hindrichsen et al., 2001) ซึ่งพบว่าเศษเหลือใช้ทางการเกษตรส่วนมากจะมีโปรตีนต่ำและมีเยื่อใยสูงซึ่งจะส่งผลถึงการย่อยได้และการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นก่อนที่จะนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ควรหาวิธีปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะให้สูงขึ้นโดยการหมักด้วยยูเรีย การบด การปรับปรุงทางด้านเคมีและชีวะ (Chen et al., 1996) หรือการเสริมด้วยไนโตรเจน (Silulapwa and Simukoko, 2005) วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงโดยเฉพาะเยื่อใย NDF มากกว่า 70% ดังนั้นก่อนจะนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบในอาหารผสมสำเร็จรูปก็สามารถนำมาใช้ได้แต่ถ้าจะนำไปทำอาหารข้นก็เป็นไปไม่ได้เนื่องจากเยื่อใย NDF สูงและโภชนะอย่างอื่นต่ำโดยเฉพาะโปรตีน

จากข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ในวัตถุดิบอาหารสัตว์กลุ่มเศษเหลือใช้ทางการเกษตรจะพบว่าเปลือกสับปะรด เปลือกทุเรียน เปลือกเงาะบด เปลือกเสาวรสบด และเปลือกมันสำปะหลังมีเยื่อใยมีเยื่อใย NDF และ ADF ต่ำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ชี้ให้เห็นได้ว่าวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง (ตารางที่ 1) ใบมันสำปะหลังบดเป็นวัตถุดิบอีกตัวหนึ่งที่มีโปรตีนสูง และมีเยื่อใยต่ำซึ่งสามารถนำไปผสมในอาหารข้นได้

วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งที่มาของวัตถุดิบ ดังนั้นการเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทางเคมีและความคุ้มค่าของราคาที่ซื้อมาด้วย โดยอาจจะคำนวณหน่วยโภชนะที่ได้ต่อเงินที่จ่ายไปโดยใช้ตารางองค์ประกอบทางเคมีช่วยในการพิจารณา แต่อย่างไรก็ตามมีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลขององค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น ช่วงอายุของพืช (Promkot and Wanapat, 2004) ชนิดของพืชและดินที่ใช้ปลูก (Boloyi et al., 1997) กระบวนการทำให้แห้งและสภาพแวดล้อม (Mupangwa et al., 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	DM(%)	CP	Ash	NDF	ADF	ADL
		.....%DM basis.....				
พืชตระกูลถั่ว						
ถั่วคาวาเคด	93.91	12.51	8.43	47.97	40.84	8.55
ใบกระถินบด	93.77	25.02	7.25	38.11	21.66	8.66
ต้นถั่วลายบด	93.14	21.25	8.64	48.87	42.30	16.44
ถั่วฮามาตา	93.76	14.03	11.38	40.45	44.52	11.31
เศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร						
เปลือกสับปะรด	91.60	5.52	4.52	27.76	14.19	5.36
เปลือกถั่วลิสง	95.97	5.44	7.21	70.83	60.78	34.34
เปลือกทุเรียน	95.37	3.82	7.57	40.30	20.01	10.35
เปลือกเงาะบด	95.92	5.63	3.09	25.79	13.08	6.36
เปลือกเมล็ดยางพารา	98.93	0.95	0.69	75.85	37.82	18.45
เปลือกเสาวรส	95.73	2.36	7.29	39.79	19.51	9.73
เปลือกมันสำปะหลัง	96.57	1.07	1.84	16.46	11.29	7.23
ชานอ้อย	90.35	0.48	1.83	46.77	34.75	4.79
เมล็ดเงาะ	95.03	7.24	1.94	4.96	0.26	0.06
เศษเหลือใช้ทางการเกษตรและอื่น ๆ						
ต้นข้าวโพดบด	95.48	2.27	6.39	53.21	45.56	7.01
ต้นข้าวฟ่างบด	95.18	5.00	8.88	64.75	46.58	13.30
ซังข้าวโพด	97.58	0.79	2.76	75.78	47.46	32.41
ใบผักตบชวา	95.82	11.44	13.54	53.64	39.86	14.93
อะตราตั้ม	93.66	9.00	10.08	55.30	45.17	8.89
กากมะพร้าวบด	96.64	4.19	1.30	54.86	44.09	20.94
ใบมะพร้าวบด	95.68	8.37	7.45	37.13	32.50	13.64
ใบมันสำปะหลังบด	95.35	23.14	7.62	28.97	27.20	14.40
ก้านผักตบชวา	95.86	7.16	15.46	55.39	40.93	13.83

70134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1 การประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน (Nylon bag technique)

การทดลองย่อยที่ 1.1 การประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อนในกลุ่มพืชตระกูลถั่ว

คุณลักษณะในการย่อยสลายของพืชตระกูลถั่ว

ส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย (a) ส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลาย (b) อัตราการย่อยสลายของส่วน b (c) และศักยภาพในการย่อยสลาย (a+b) ดังแสดงในตารางที่ 2

จากผลการทดลองพบว่าใบกระถินป่นมีค่าของส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ถั่วคาราเคด และถั่วลายตามลำดับ ส่วนถั่วฮามาต้ามีค่าต่ำที่สุด ค่าส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายของโปรตีนต้นถั่วลายและคาราเคดมีค่าต่ำ ส่วนของใบกระถินป่นมีค่าสูงสุด ซึ่งค่าของส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายนี้จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น คุณลักษณะของวัตถุดิบเองมีส่วนที่มีขนาดเล็กมากจนหลุดออกนอกจากถุงไนล่อนได้ (Ørskov, 1992) ในการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าใบกระถินเมื่อนำมาบดจะมีส่วนของอนุภาคที่ละเอียดอยู่สูง ซึ่งทำให้หลุดออกจากถุงได้ง่าย

ความแปรปรวนของค่าส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายนี้ขึ้นกับอนุภาคของวัตถุดิบอาหารกระบวนการแปรรูป และความแตกต่างของเทคนิคการวิเคราะห์ ในการทดลองนี้วัตถุดิบอาหารบดผ่านตระแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย มีค่าสูงตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตาม Nocek (1985) พบว่าอนุภาคของอาหารจะไม่มีผลต่อการย่อยได้ในบางงานทดลอง แต่ Figroid et al. (1972) พบความแตกต่างของค่าที่ย่อยสลายได้ง่ายถ้าใช้ขนาดอนุภาคของอาหารแตกต่างกัน

ส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลาย (b) ของวัตถุแห้งและอินทรีย์ในพืชตระกูลถั่วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ใบกระถินป่นและถั่วฮามาต้ามีส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายสูง คือ 58.72 และ 59.66% ตามลำดับซึ่งชี้ให้เห็นได้ว่าจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถนำวัตถุดิบนี้ไปใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าถั่วคาราเคด และต้นถั่วลาย และ b ของโปรตีนก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับอินทรียวัตถุและวัตถุแห้ง อัตราการย่อยสลายของส่วน b (c) ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุ มีค่าสูงสุดในถั่วฮามาต้า รองลงมาได้แก่ ถั่วคาวาเคด ต้นถั่วลาย และใบกระถินตามลำดับ แต่ค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนค่า c ของโปรตีนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยค่า c ของต้นถั่วลายมีค่าสูงที่สุดแต่ค่า c ของใบกระถินถั่วคาวาเคดและถั่วฮามาต้าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นได้ว่าโปรตีนของต้นถั่วลายมีอัตราการย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งมีทั้งข้อดี และข้อเสีย คือ ถ้าใช้ร่วมกับแหล่งคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมักไม่มีความสัมพันธ์กันก็จะทำให้สูญเสียโปรตีนในรูปของยูเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การย่อยสลายที่รวดเร็วเกินไปมีผลเสียต่อกระบวนการหมักในรูเมนโดยเฉพาะอาหารพวกแป้ง ถ้าย่อยสลายเร็วเกินไปจะทำให้สภาวะภายในกระเพาะรูเมนเป็นกรด (Garnworthy and Wiseman, 2000) ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักมีหลายปัจจัย เช่น การใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปอาหาร (Arieli et al., 1995) และเยื่อใยในอาหาร เป็นต้นวัตถุดิบอาหารที่มีอัตราการย่อยสลายอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดกรดแลกติคซึ่งเป็นสาเหตุให้ลักษณะภายในกระเพาะหมักเป็นกรด (Nocek and Russel, 1988)

การหาการย่อยสลายโดยได้เทคนิคถุงไนล่อนมีค่าแปรปรวนได้มากขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาดรูของถุงไนล่อน ปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ การบดตัวอย่างชนิดของอาหารที่ให้สัตว์ การเตรียมตัวอย่าง การบ่มและการล้างตัวอย่าง (Olivera, 1998) นอกจานั้นองค์ประกอบทางเคมี วิธีการแปรรูปของอาหาร ก็มีผลต่อคุณลักษณะในการย่อยสลายของอาหารเช่นกัน (Huntington and Gives, 1997) Vitti et al. (1999) รายงานว่าการย่อยสลายส่วนวัตถุแห้งมีความสัมพันธ์กันทางลบกับ NDF แต่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับสารประกอบฟีโนลิกและพวกน้ำตาล

ค่าความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (Effective degradability)

ค่าความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีนที่อัตราการไหลผ่าน 0.02, 0.05 และ 0.08 ต่อชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 2 ค่าความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก ในกระเพาะหมักของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุและโปรตีนมีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม ($P<0.05$) จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความสามารถในการย่อยสลายในกระเพาะหมักของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีนของใบกระถินมีค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพืชตระกูลถั่วชนิดอื่น และเห็นได้ว่าเมื่อคำนวณอัตราการไหลผ่านสูงขึ้น คือ จาก 2 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมงเป็น 5 % และ 8% ต่อชั่วโมง ความสามารถในการย่อยได้จะลดลงเนื่องจากวัตถุดิบไหลผ่านออกจากกระเพาะหมักเร็วขึ้น ซึ่งทำให้ย่อยได้น้อยลง เพราะจุลินทรีย์ก็จะมีโอกาสเข้าย่อยวัตถุดิบน้อยลง (Woods et al., 2003)

ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนในกระเพาะหมักจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ 2 ทางด้วยกัน คือ ใช้เพื่อเป็นแหล่งของไนโตรเจนให้กับจุลินทรีย์เพื่อใช้สังเคราะห์จุลินทรีย์ โปรตีนในกรณีที่วัตถุดิบสามารถย่อยสลายได้สูง และนำไปเป็นแหล่งโปรตีนไหลผ่านในกรณีที่วัตถุดิบมีโปรตีนไหลผ่านสูง (Chumpawadee et al., 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. คุณลักษณะในการย่อยสลายและความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของพืชตระกูลถั่วโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน

สิ่งศึกษา	ชนิดของพืชตระกูลถั่ว				
	ถั่วคาวาเคด	ใบกระถินป่น	ต้นถั่วลาย	ถั่วฮามาต้า	SEM
Dry matter degradation characteristic[2]					
a, %	24.08^{ab}	26.05^{a}	19.51^{b}	12.66^{c}	1.34
b, %	43.85^{b}	58.72^{a}	48.74^{b}	59.66^{a}	1.72
c, %h^{-1}	0.054	0.040	0.049	0.062	0.00
EDDM, % (k=0.08)	41.33^{ab}	45.54^{a}	35.32^{c}	36.74^{bc}	1.17
EDDM, % (k=0.05)	46.32^{b}	52.00^{a}	40.14^{c}	43.32^{bc}	1.17
EDDM, % (k=0.02)	55.53^{b}	64.96^{a}	50.12^{c}	55.51^{b}	1.19
Organic matter degradation characteristic					
a, %	17.06^{a}	16.84^{a}	13.64^{a}	6.92^{b}	1.19
b, %	48.39^{b}	66.47^{a}	51.99^{b}	63.52^{a}	2.03
c, %h^{-1}	0.050	0.040	0.055	0.068	0.00
EDOM, % (k=0.08)	35.44^{ab}	38.93^{a}	31.06^{bc}	27.28^{c}	1.18
EDOM, % (k=0.05)	40.93^{b}	46.28^{a}	36.06^{c}	34.19^{c}	1.19
EDOM, % (k=0.02)	51.23^{b}	61.00^{a}	46.23^{c}	48.28^{c}	1.27
Crude protein degradation characteristic					
a, %	5.57^{b}	19.35^{a}	4.43^{b}	8.07^{b}	1.42
b, %	50.70^{b}	63.91^{a}	54.35^{b}	64.01^{a}	1.63
c, %h^{-1}	0.057^{b}	0.042^{b}	0.140^{a}	0.049^{b}	0.01
EDCP, % (k=0.08)	25.97^{b}	41.22^{a}	36.64^{a}	25.97^{b}	1.54
EDCP, % (k=0.05)	31.70^{c}	48.31^{a}	42.08^{b}	37.11^{bc}	1.54
EDCP, % (k=0.02)	42.17^{c}	62.30^{a}	50.24^{b}	50.67^{b}	1.60

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

Where: DM= dry matter, OM= organic matter,CP= crude protein, 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*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองย่อยที่ 1.2 การประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อนในเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร

คุณลักษณะการย่อยของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร

ส่วนที่ย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว (a) ส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลาย (b) อัตราการย่อยสลายของส่วน b (c) ของวัตถุแห้งอินทรียวัตถุและโปรตีนในเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร ดังแสดงในตารางที่ 3 ผลการทดลองพบว่า ส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายของวัตถุแห้งในเปลือกสับปะรดมีค่าสูงที่สุดคือ 64.21% ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากเปลือกสับปะรดมีน้ำตาลที่สามารถสลายได้ง่ายอยู่สูง และมีเยื่อใยต่ำ และนอกจากนั้นในเปลือกทุเรียนและเปลือกมันสำปะหลังก็ให้ค่า a สูงเช่นเดียวกันซึ่งสาเหตุมาจากเปลือกทุเรียน และเปลือกมันสำปะหลังมีส่วนของแป้งที่ละลายได้ง่ายอยู่สูง ในทางตรงกันข้ามกากเมล็ดยางพาราและชานอ้อยมีค่าส่วนที่ย่อยสลายได้เร็วอยู่ต่ำเนื่องจากองค์ประกอบโดยส่วนมากเป็นพวกเยื่อใย (ตารางที่ 1) และจะเห็นได้ว่าค่า a ของอินทรียวัตถุก็จะเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับวัตถุแห้ง ค่า a ของโปรตีนมีค่าสูงที่ในเปลือกเสาวรส และในเปลือกสับปะรดเช่นเดียวกัน แต่ในส่วนของเปลือกถั่วลิสง เปลือกทุเรียน กากเมล็ดยางพารา และเมล็ดเงาะบดมีค่า a ของโปรตีนต่ำ และผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองในหลอดทดลอง (ตารางที่ 6) เป็นที่ทราบกันดีว่าความผันแปรของค่า a ในแต่ละการทดลองที่จะมีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะขึ้นกับอนุภาคอาหาร กระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการแปรรูป หรือเทคนิคการวิเคราะห์แตกต่างกัน

Prom kot and Wanapat (2004) สังเกตเห็นความแตกต่างของการหลุดหายไปจากถุงของวัตถุดิบอาหารที่มีอนุภาคแตกต่างกัน โดยวัตถุดิบที่บดละเอียดหรือมีอนุภาคเล็กจะหลุดไปจากถุงได้มากกว่าวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ การบดตัวอย่างอาหารถึงจะบดโดยใช้เครื่องบดเดียวกัน ตระแกรงเดียวกัน แต่อาจจะให้อนุภาคที่บดได้ไม่เท่ากันก็ได้ แล้วแต่ชนิดของวัตถุดิบซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในพืชอาหารสัตว์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการจับตัวกันของลิกนิน และความสามารถในการแตกหัก (Olivera, 1998) ซึ่งการที่มีอนุภาคเล็ก ๆ มากในตัวอย่างอาหารที่บดแล้วจะทำให้ค่าการสูญเสียออกจากถุงไนล่อนที่ชั่วโมงที่ 0 สูงเกินความเป็นจริง (Lopez et al., 1995)

ค่าของส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลาย (b) ของวัตถุดิบแห้งมีค่าตั้งแต่ 7.41 – 47.13% ค่า b ของเปลือกทุเรียน เปลือกเสาวรส ชานอ้อย และเมล็ดเงาะบดมีค่าไม่แตกต่างกันและนอกจากนั้นยังเห็นอีกว่าค่า b ของเปลือกเมล็ดยางพารามีค่าต่ำสุดซึ่งรวมทั้งมีค่า a ต่ำสุดด้วย ดังนั้นจากข้อมูลนี้และข้อมูลการย่อยได้ในหลอดทดลองจึงชี้ให้เห็นได้ว่าเปลือกเมล็ดยางพาราไม่เหมาะที่จะนำไปทำอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเนื่องจากความสามารถในการย่อยสลายต่ำมาก สัตว์จึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ นอกจากนั้นค่าการย่อยได้ของส่วน b ของอินทรียวัตถุก็ให้ผลเช่นเดียวกับวัตถุแห้งส่วนค่า b ของโปรตีนในเปลือกทุเรียน และเมล็ดเงาะจะมีค่าสูง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเปลือกทุเรียน และเมล็ดเงาะมีค่าศักยภาพในการย่อยสลายโปรตีนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (c) มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม และเห็นได้ว่าเปลือกเงาะและเปลือกมันสำปะหลังมีอัตราการย่อยสลายของส่วน b เร็วที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าวัตถุดิบที่มีความสามารถในการย่อยเร็วจะต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบที่ย่อยสลายได้เร็วด้วย เช่นกันเพื่อให้การประสานเวลาระหว่างการย่อยสลายอาหาร โปรตีน และอาหารพลังงานมีความสัมพันธ์กันอัตราการย่อยสลายของอินทรียวัตถุมีแนวโน้มเช่นเดียวกับวัตถุแห้ง ส่วนอัตราการย่อยสลายของโปรตีนในเปลือกสับปะรด กากเมล็ดยางพารา และเปลือกมันสำปะหลังมีค่าอัตราการย่อยสลายรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบในกลุ่มเดียวกัน อัตราการย่อยสลายของอินทรียวัตถุและโปรตีนมีความสำคัญมากต่อการปรับใช้วัตถุดิบเพราะเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการนำเอาโภชนะที่ย่อยสลายไปสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์ โปรตีน

ความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (Effective degradability)

จากการทดลองพบว่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุและโปรตีนในเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักที่คิดที่อัตราการไหลผ่าน 2% ต่อชั่วโมงของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ซึ่งความสามารถในการย่อยสลายของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุในเปลือกสับปะรด เปลือกมันสำปะหลัง และเมล็ดเงาะมีค่าความสามารถในการย่อยในกระเพาะหมักสูงในขณะที่เปลือกเมล็ดยางพารามีความสามารถในการย่อยสลายได้ต่ำ ความสามารถในการย่อยสลายของโปรตีนในเปลือกสับปะรดและเปลือกมันสำปะหลังมีค่าสูงในขณะที่วัตถุดิบอื่นมีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงต่ำโดยเฉพาะในวัตถุที่ได้จากเมล็ดยางพารา

จากการทดลองนี้มีข้อสังเกตอยู่อีกอย่างหนึ่ง คือ เศษเหลือใช้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมการเกษตรมีโปรตีนค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้ว ถ้าวัตถุดิบอาหารมีโปรตีนต่ำก็จะส่งผลทำให้ความสามารถในการย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนลดต่ำลง ซึ่งจะมีผลต่อเนื่อง ทำให้การกินได้ลดลงด้วย (Shem et al., 1995)

Djajanegara and Doyle (1998) ได้ชี้ให้เห็นว่าอาหารที่มีโปรตีนต่ำจะลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก และการกินได้ของอาหารหยาบจะถูกจำกัดเมื่อโปรตีนในอาหารต่ำกว่า 6.25% และนอกจากนั้น NDF ADF และ ADL ก็จะมีผลต่อการย่อยได้และเป็นผลให้การกินได้ลดต่ำลงด้วยเช่นกัน โครงสร้างและความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหารจะมีอิทธิพลโดยตรงกับการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมัก (Mahadevan et al., 1980) ซึ่งเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรจะมีค่าความสามารถในการย่อยได้ต่ำกว่าอาหารข้นโดยทั่วไป (Woods et al., 2003) พืชตระกูลถั่ว (Khandaker and Taragae, 1996) และพืชน้ำ (Khan et al., 2002) Sinclair et al. (1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนะนำวิธีการประสานเวลาระหว่างอัตราการย่อยสลายอาหารพลังงาน (OM) และโปรตีน (CP) โดยใช้ข้อมูลจากเทคนิคถุงไนล่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้จึงสามารถใช้ประโยชน์โดยการนำไปประกอบสูตรอาหาร โดยคำนึงถึงดัชนีการประสานเวลาด้วย

ตารางที่ 3 คุณลักษณะในการย่อยสลายและความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร โดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน

Parameter	Treatment									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	SEM
Dry matter degradation characteristic										
a, %	64.21^{a}	30.58^{e}	36.30^{d}	55.61^{b}	14.31^{g}	35.84^{d}	58.38^{d}	18.61^{f}	44.94^{c}	2.30
b, %	25.87^{bc}	12.37^{cd}	47.13^{a}	14.32^{cd}	7.41^{d}	49.54^{a}	30.40^{b}	51.90^{a}	48.88^{a}	2.71
c, %h^{-1}	0.048^{cb}	0.020^{de}	0.031^{cd}	0.035^{cd}	0.031^{cd}	0.033^{cd}	0.055^{b}	0.011^{e}	0.106^{a}	0.00
EDDM, % (k=0.08)	73.78^{a}	32.90^{e}	48.88^{d}	59.75^{c}	15.25^{g}	49.48^{d}	70.63^{b}	24.18^{f}	72.76^{a}	2.82
EDDM, % (k=0.05)	76.67^{a}	33.83^{e}	53.52^{d}	61.23^{ac}	15.57^{f}	54.54^{d}	74.16^{b}	26.95^{e}	78.07^{a}	2.96
EDDM, % (k=0.02)	82.19^{b}	36.17^{d}	63.82^{c}	64.44^{c}	16.33^{e}	65.64^{c}	80.54^{b}	35.21^{d}	85.97^{a}	3.17
Organic matter degradation characteristic										
a, %	59.74^{a}	27.12^{e}	33.34^{d}	55.09^{b}	12.60^{f}	31.53^{de}	53.73^{b}	9.69^{f}	46.72^{c}	2.43
b, %	27.83^{cd}	35.42^{bcd}	52.77^{ab}	24.12^{de}	4.89^{e}	59.41^{a}	36.50^{bcd}	63.52^{a}	46.94^{abc}	3.22
c, %h^{-1}	0.058^{ab}	0.010^{d}	0.023^{cd}	0.018^{cd}	0.043^{bc}	0.020^{cd}	0.063^{ab}	0.010^{d}	0.075^{a}	0.00
EDOM, % (k=0.08)	70.85^{a}	29.36^{d}	44.81^{c}	59.08^{b}	13.99^{e}	43.49^{c}	69.62^{a}	15.78^{e}	63.31^{a}	2.93
EDOM, % (k=0.05)	73.98^{a}	30.35^{d}	49.58^{c}	60.90^{b}	14.46^{f}	48.45^{c}	73.77^{a}	18.89^{e}	73.51^{a}	3.06
EDOM, % (k=0.02)	79.73^{a}	33.41^{d}	60.93^{c}	65.75^{b}	15.47^{f}	60.72^{c}	81.01^{a}	28.54^{e}	82.44^{a}	3.25
Crude protein degradation characteristic										
a, %	59.02^{a}	9.51^{e}	8.03^{e}	51.13^{b}	0.76^{f}	18.23^{d}	60.11^{a}	43.78^{c}	10.72^{e}	3.16
b, %	28.51^{bc}	36.97^{b}	71.71^{a}	29.03^{bc}	17.33^{c}	68.57^{a}	29.41^{bc}	25.66^{bc}	74.71^{a}	3.15
c, %h^{-1}	0.073^{a}	0.016^{c}	0.028^{c}	0.015^{c}	0.055^{ab}	0.023^{c}	0.058^{ab}	0.016^{c}	0.040^{bc}	4.41
EDCP, % (k=0.08)	71.42^{a}	14.99^{f}	25.89^{e}	56.30^{b}	7.79^{g}	33.29^{d}	72.49^{a}	47.39^{c}	34.42^{d}	3.02
EDCP, % (k=0.05)	74.62^{a}	17.40^{g}	33.73^{f}	58.56^{b}	9.81^{h}	39.48^{e}	75.86^{a}	49.07^{c}	42.33^{d}	2.99
EDCP, % (k=0.02)	80.30^{a}	23.80^{f}	48.38^{e}	64.42^{b}	13.44^{g}	54.39^{d}	81.86^{a}	53.74^{d}	58.53^{c}	2.98

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

Where: DM= dry matter, OM= organic matter,CP= crude protein, 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= เปลือกสับปะรด, T2= เปลือกถั่วลิสง, T3= เปลือกทุเรียน, T4= เปลือกเงาะ, T5= กากเมล็ดยางพารา,

T6= เปลือกเสาวรส, T7= เปลือกมันสำปะหลัง, T8= ชานอ้อย, T9= เมล็ดเงาะบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองย่อยที่ 1.3 การประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อนในเศษเหลือใช้ทางการเกษตรและอื่น ๆ

คุณลักษณะในการย่อยสลายของเศษเหลือใช้ทางการเกษตร

ค่าส่วนที่สลายได้ง่าย (a) ส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลาย b และอัตราการย่อยสลายของส่วน b (c) ของวัตถุแห้ง, อินทรียวัตถุและโปรตีนในเศษเหลือใช้ทางการเกษตรดังแสดงในตารางที่ 4 ผลการทดลองพบว่าค่า a ของวัตถุแห้งในใบมันสำปะหลัง และใบมะพร้าว มีค่าสูง แสดงให้เห็นว่ามีส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายอยู่สูง และนอกจากนั้นอาจเป็นไปได้ว่าใบมันสำปะหลัง และใบมะพร้าวเมื่อนำมาบดแล้วจะมีอนุภาคเล็กทำให้หลุดออกจากถุงได้มากขึ้น ทำให้ค่าการสูญเสียอนุภาคอาหารออกจากถุงไนล่อนที่ชั่วโมงที่ 0 มีค่าสูงเกินความเป็นจริง (Lopez et al., 1995) ค่า a ของวัตถุแห้งในต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด และต้นผักตบชวามีค่าต่ำแสดงว่ามีส่วนที่หลุดออกจากถุงที่ชั่วโมงที่ 0 หรือส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายอยู่น้อย ซึ่งอาจเป็นเพราะส่วนประกอบของเยื่อใยในวัตถุดิบดังกล่าวซึ่งจะเห็นว่าวัตถุดิบนี้มีลิกนินเป็นส่วนประกอบอยู่สูง (ตารางที่ 1) ค่า a ของอินทรียวัตถุในเศษเหลือใช้ทางการเกษตรมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่า a ของวัตถุแห้ง

ส่วนค่า a ของโปรตีนในใบผักตบชวา กากมะพร้าวและใบมะพร้าวมีค่าสูงประมาณ 30% ขึ้นไปแสดงให้เห็นว่ามีส่วนของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่ายอยู่สูง ส่วนในใบมันสำปะหลังและต้นข้าวโพดมีค่าต่ำซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการย่อยสลายในกระเพาะหมักที่อัตราไหลผ่าน 2% พบว่าใบมันสำปะหลังมีความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนต่ำแต่สามารถเป็นแหล่งโปรตีนไหลผ่าน หรือโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักได้ดี แต่อย่างไรก็ตามค่า a ในการทดลองต่างก็มีความผันแปรได้ตามปัจจัยต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น ในการทดลองที่ 1.1 และ 1.2

ค่าส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลาย (b) ของวัตถุแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 16.75 – 59.82% และของอินทรียวัตถุมีค่าอยู่ระหว่าง 16.63 – 66.34% ซึ่งพบว่าค่า b ของวัตถุแห้งในกากมะพร้าวมีค่าสูงสุด และต่ำสุดในซังข้าวโพดซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในหลอดทดลอง (ตารางที่ 7) และค่า b ของอินทรียวัตถุในต้นข้าวโพดมีค่าสูงที่สุด และต่ำที่สุดในใบมะพร้าว ซึ่งการที่ใบมะพร้าวมีค่าของส่วนนี้ต่ำสุดอาจเนื่องจากมีส่วนที่สลายได้ง่ายอยู่สูงถึง 44% จึงทำให้เหลือส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายอยู่ต่ำ ส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายของโปรตีนในต้นฟางข้าว และกากมะพร้าวมีค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการย่อยสลายในกระเพาะหมักที่คิดที่อัตราการไหลผ่าน 2% ดังตารางที่ 4 ชี้ให้เห็นว่ากากมะพร้าว และต้นข้าวฟ่างมีค่าโปรตีนที่ย่อยสลายได้สูงในกระเพาะจึงไม่เป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอัตราการย่อยสลาย (c) ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุมีค่าสูงสุดในกากมะพร้าวส่วนอัตราการย่อยสลายสูงสุดของโปรตีนพบในใบมันสำปะหลัง ส่วนวัตถุดิบที่มีอัตราการย่อยสลายของส่วนต่างๆ ซึ่งจะพบในใบผักตบชวา หญ้าอะตราตั้ม ซังข้าวโพด ซึ่งเมื่อมีอัตราการย่อยสลายต่ำก็จะส่งผลถึงปริมาณการได้รับโภชนะและทำให้การกินได้ต่ำลงไปด้วย (Shem et al, 1995)

ค่าความสามารถในการย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Effective degradability)

ค่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีนหยาบดังแสดงในตารางที่ 2 โดยประเมินที่อัตราการไหลผ่าน (k) 0.02, 0.05 และ 0.08 ต่อชั่วโมง (ϕrskov and Mc Donald, 1979) ค่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุและโปรตีนของเศษเหลือใช้ทางการเกษตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

ค่าความสามารถในการย่อยสลายของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุของใบมันสำปะหลัง และกากมะพร้าวมีค่าสูงมากกว่า 60% เมื่อคิดที่อัตราการไหลผ่าน 2% ต่อชั่วโมง ส่วนวัตถุดิบที่มีความสามารถในการย่อยได้ต่ำที่สุด คือ ซังข้าวโพด ดังนั้นการเลือกชนิดวัตถุดิบไปใช้ประโยชน์ควรพิจารณาข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วย อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าใบมันสำปะหลังจะมีค่าความสามารถในการย่อยสลายของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุสูงแต่ค่าความสามารถในการย่อยสลายของโปรตีนก็มีค่าต่ำ ดังนั้นจึงเป็นแหล่งของโปรตีนไหลผ่านได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 คุณลักษณะในการย่อยสลายและความสามารถในการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของเศษเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน

Parameter	Treatment									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	SEM
Dry matter degradation characteristic										
a, %	29.19^{c}	18.62^{ef}	20.44^{e}	26.58^{cd}	23.99^{d}	15.00^{f}	44.42^{a}	39.95^{b}	17.44^{ef}	1.31
b, %	24.91^{c}	50.66^{ab}	54.41^{a}	57.92^{a}	59.82^{a}	47.75^{ab}	16.75^{c}	47.16^{ab}	33.30^{bc}	2.31
c, %h^{-1}	0.018^{de}	0.021^{cde}	0.027^{cde}	0.013^{e}	0.046^{a}	0.015^{e}	0.030^{bc}	0.036^{ab}	0.026^{bcd}	0.00
EDDM, % (k=0.08)	32.42^{c}	28.67^{d}	31.83^{c}	34.43^{c}	46.36^{b}	21.22^{e}	49.44^{ab}	51.36^{a}	23.67^{e}	1.47
EDDM, % (k=0.05)	33.58^{cd}	32.78^{e}	36.58^{cd}	38.10^{c}	53.19^{ab}	24.07^{f}	51.23^{b}	56.37^{a}	26.18^{f}	1.57
EDDM, % (k=0.02)	37.86^{e}	42.97^{d}	48.23^{c}	48.39^{c}	66.08^{a}	31.98^{f}	55.00^{b}	66.83^{a}	32.30^{f}	1.76
Organic matter degradation characteristic										
a, %	21.92^{b}	13.93^{bc}	14.01^{bc}	34.83^{a}	21.51^{b}	11.30^{bc}	42.51^{a}	36.43^{a}	7.48^{c}	1.96
b, %	33.87^{cd}	66.31^{a}	62.57^{a}	48.13^{abc}	60.32^{ab}	35.25^{cd}	16.63^{d}	50.72^{abc}	39.82^{bc}	2.26
c, %h^{-1}	0.013^{d}	0.018^{d}	0.023^{cd}	0.015^{d}	0.05^{a}	0.016^{d}	0.03^{bc}	0.03^{b}	0.018^{d}	0.00
EDOM, % (k=0.08)	26.11^{b}	24.54^{b}	27.44^{b}	42.18^{a}	45.04^{a}	18.07^{bc}	47.02^{a}	51.87^{a}	12.91^{c}	2.06
EDOM, % (k=0.05)	28.03^{cd}	29.06^{cd}	33.00^{c}	45.53^{b}	52.00^{ab}	20.99^{de}	48.78^{ab}	57.23^{a}	15.32^{e}	2.13
EDOM, % (k=0.02)	33.36^{dc}	41.05^{cd}	46.50^{bc}	54.61^{b}	64.82^{a}	28.35^{ef}	52.52^{b}	68.44^{a}	21.88^{f}	2.26
Crude protein degradation characteristic										
a, %	34.32^{ab}	22.15^{d}	17.68^{ed}	23.52^{cd}	32.14^{abc}	26.42^{bcd}	36.88^{a}	10.26^{e}	22.04^{d}	1.44
b, %	17.49^{d}	60.60^{a}	47.41^{b}	50.64^{b}	51.39^{ab}	35.14^{c}	34.95^{c}	35.79^{c}	30.24^{c}	1.98
c, %h^{-1}	0.016^{d}	0.019^{d}	0.030^{d}	0.036^{cd}	0.080^{b}	0.062^{bc}	0.046^{cd}	0.15^{a}	0.045^{cd}	0.01
EDCP, % (k=0.08)	37.21^{b}	32.38^{b}	30.25^{b}	38.11^{b}	57.14^{a}	39.82^{b}	49.67^{a}	33.96^{b}	32.89^{b}	1.50
EDCP, % (k=0.05)	38.48^{c}	36.62^{c}	34.88^{c}	42.92^{c}	63.06^{a}	43.54^{c}	53.64^{b}	37.40^{c}	36.30^{c}	1.58
EDCP, % (k=0.02)	41.79^{d}	47.60^{cd}	45.15^{cd}	53.20^{bc}	72.72^{a}	50.70^{cd}	61.21^{b}	42.01^{d}	42.88^{cd}	1.68

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

Where: DM= dry matter, OM= organic matter,CP= crude protein, 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= ใบผักตบชวา, T2= หญ้าอะตราตั้ม, T3= ต้นข้าวโพด, T4= ต้นข้าวฟ่าง, T5= กากมะพร้าว,

T6= ซังข้าวโพด, T7= ใบมะพร้าว, T8= ใบมันสำปะหลัง, T9= ก้านผักตบชวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 การประเมินความสามารถในการย่อยสลายโดยใช้เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่น (gas production technique)

การทดลองย่อยที่ 2.1 การประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่นในพืชตระกูลถั่ว

คุณลักษณะและรูปแบบการผลิตแก๊สของพืชตระกูลถั่ว

ลักษณะรูปแบบการผลิตแก๊สสามารถอธิบายด้วยหุ่นจำลอง $y = a+b\ [(1-Exp(-ct)]$ (Ørskov and McDonald, 1979) ที่ใช้บ่งบอกถึงจลศาสตร์การย่อยสลายวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก (รูปที่ 1 และ ตารางที่ 5) พบว่า จลศาสตร์การย่อยสลายของพืชตระกูลถั่วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) โดยค่า a ของใบกระถินมีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ ต้นถั่วลาย ถั่วคาวาเคด และถั่วฮามาต้า มีค่าเท่ากับ –3.23, -4.03, -7.59, และ -7.79 ตามลำดับ ค่า a เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายที่เกิดจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งในกรณีการประเมินโดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊สมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ค่าสัมบูรณ์ของ a ($|a|$) เพื่อบ่งบอกถึงค่าของส่วนที่สามารถละลายน้ำของวัตถุดิบแต่ละชนิด ซึ่งจากการทดลองนี้จะเห็นว่าถั่วฮามาต้า และถั่วคาวาเคดเป็นวัตถุดิบที่มีค่าของส่วนที่ละลายน้ำได้สูง เมื่อเปรียบเทียบกับใบกระถินและถั่วลาย สอดคล้องกับการทดลองโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อนในตารางที่ 2 ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากมีส่วนของแป้งมากกว่าในวัตถุดิบอื่น

ค่า b หมายถึง ปริมาตรแก๊สรวมทั้งหมด ณ จุดเส้นกราฟราบเรียบ ซึ่งจะบ่งบอกถึงส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายของวัตถุดิบ หากวัตถุดิบมีค่า b สูงแสดงว่ามีส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายได้สูง เนื่องจากปริมาตรแก๊สที่ผลิตได้จะมีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับการย่อยสลายได้ของวัตถุดิบ (Menke et al., 1979; Menke and Steingass, 1988) จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่าค่า b ของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) โดยค่า b ของถั่วคาวาเคดมีค่าสูงที่สุดรองลงมา คือ ถั่วฮามาต้า ใบกระถินและต้นถั่วลาย ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าจุดที่เส้นกราฟราบเรียบจะเริ่มตั้งแต่ประมาณชั่วโมงที่ 42 (กราฟที่ 1) ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าโดยส่วนมากพืชตระกูลถั่วจะสามารถย่อยสลายได้เร็ว

ค่า c หมายถึง อัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมัก มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง จากการทดลองพบว่าค่า c ของถั่วคาวาเคดแตกต่างจาก ใบกระถิน ถั่วลาย ถั่วฮามาต้า อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) จะเห็นได้ว่าถั่วคาวาเคด มีค่าอัตราการผลิตแก๊สที่เร็วที่สุดในกลุ่มพืชตระกูลถั่ว ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราการย่อยสลายที่วัดด้วยเทคนิคถุงไนล่อน ตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า |a|+b หมายถึง ศักยภาพในการผลิตแก๊สจากการทดลองพบว่าค่า |a|+b ของวัตถุดิบชนิดต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) โดยถั่วคาวาเคดมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากถั่วคาวาเคด มีปริมาณลิกนินต่ำที่สุด (ตารางที่ 1) จึงทำให้สามารถย่อยสลายได้สูงที่สุด สอดคล้องกับ พีรพจน์ และกฤตพล (2546) นอกจากนั้นยังพบว่าถั่วลายมีค่า |a|+b ต่ำที่สุด เนื่องจากมีปริมาณ ผนังเซล และ ลิกนิน สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ (ตารางที่ 1) ซึ่งระดับผนังเซล และลิกนินที่อยู่ในวัตถุดิบอาหารจะมีผลโดยตรงกับความสามารถในการย่อยสลายได้ของวัตถุดิบอาหารและจะส่งผลถึงปริมาณการกินได้อีกด้วย (Ibrahim et al.,1995)

ปริมาตรผลผลิตแก๊ส

ปริมาตรแก๊สสะสมที่เกิดขึ้นจากการหมักในชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าปริมาตรแก๊สสะสมในชั่วโมงที่ 24 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) โดยปริมาตรแก๊สสะสมของถั่วคาวาเคดมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ถั่วฮามาต้า ต้นถั่วลาย และใบกระถินบดตามลำดับ นอกจากนั้นปริมาตรแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 48 และ ในชั่วโมงที่ 96 ให้ผลที่มีรูปแบบ และทิศทางเช่นเดียวกับในชั่วโมงที่ 24 Menke et al. (1979) ได้รายงานว่าปริมาตรแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24 มีความสัมพันธ์กันสูงกับค่าพลังงานในวัตถุดิบอาหารสัตว์ จึงสามารถใช้ปริมาตรแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24 ทำนายค่าของพลังงานในวัตถุดิบได้อย่างแม่นยำสูง นอกจากปริมาตรแก๊สจะมีความสัมพันธ์กันกับค่าพลังงานในวัตถุดิบแล้ว ยังมีความสัมพันธ์กับการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุ (พีรพจน์ และ กฤตพล 2546; Sommart et al., 2000) และนอกจากนั้นยังมีความสัมพันธ์กันกับปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (Blummel and Becker, 1997) และอัตราการเจริญเติบโตในโค (Blummel and Ørskov, 1993)

ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง (IVDMD) และความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุในหลอดทดลอง (IVDMD)

จากการทดลองหาความสามารถในการย่อยในหลอดทดลองที่ 24 และ 96 ชั่วโมงของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุพบความว่าสามารถในการย่อยได้ของพืชตระกูลถั่วแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01) ซึ่งเมื่อเรียงลำดับความสามารถการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่ชั่วโมง 96 จากมากไปหาน้อยได้ดังนี้คือ ถั่วฮามาต้า ต้นถั่วลาย ถั่วคาวาเคด และใบกระถินตามลำดับ ซึ่งการย่อยได้ของอินทรียวัตถุเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ความสามารถในการย่อยได้จะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของเยื่อใย และลิกนินเพิ่มขึ้น (เมธา, 2533) นอกจากนั้นระดับโปรตีนในอาหารก็มีผลต่อการย่อยได้อีกด้วย ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้งกับอินทรียวัตถุจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นด้วย (พีระพจน์ และ กฤตพล, 2546; Sommart, 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME)

พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่ประเมินจากผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 24 และค่าโปรตีนหยาบของวัตถุดิบตามสมการทำนายค่า ME ของ Menke et al. (1979) (ME, MJ/kgDM = 2.20 + (0.136xGv) + (0.057x%CP) โดย Gv = ปริมาตรแก๊สที่ 24 ชั่วโมง (mL/0.2 g substrate), CP = ค่าโปรตีนหยาบของวัตถุดิบ (เปอร์เซ็นต์) ได้ผลการคิดคำนวณดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าพืชตระกูลถั่วทั้ง 4 ชนิดมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) วิธีการประเมินหาค่าพลังงานโดยใช้เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่นเป็นวิธีที่ง่าย ลงทุนต่ำ และสะดวกเหมาะสมที่จะนำมาใช้ประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบเขตร้อนเพราะในปัจจุบัน ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบเขตร้อนยังขาดข้อมูลอยู่มาก

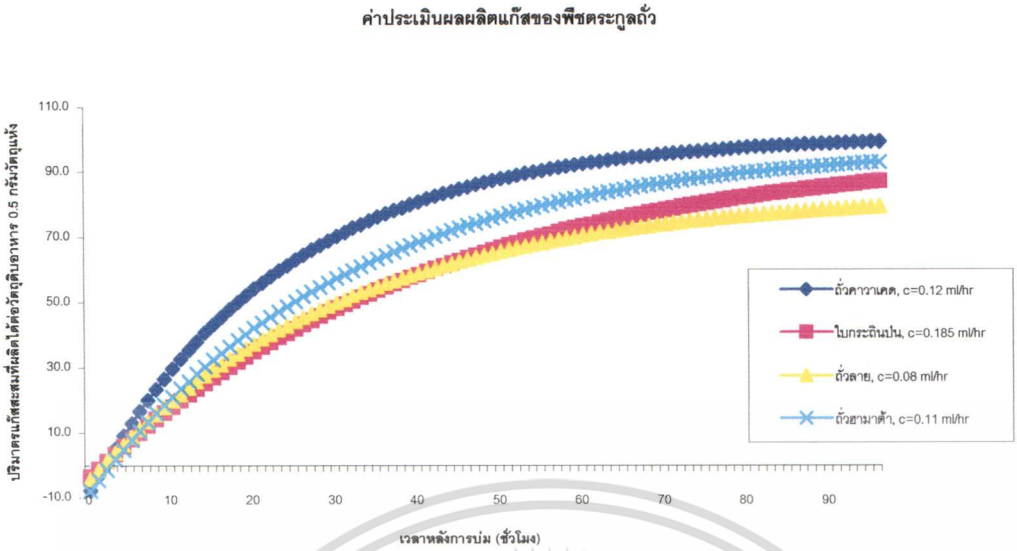
ตารางที่ 5. คุณสมบัติการผลิตแก๊ส การย่อยได้ในหลอดทดลอง ปริมาตรแก๊ส และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ของพืชตระกูลถั่ว

สิ่งศึกษา	ชนิดของพืชตระกูลถั่ว				
	ถั่วคาวาเคด	ใบกระถินป่น	ต้นถั่วลาย	ถั่วฮามาต้า	SEM
Gas production characteristic[1]					
a, mL	-7.59[b]	-3.23[a]	-4.03[a]	-7.78[b]	0.61
b, mL	108.86[a]	100.51[b]	87.58[c]	105.73[ab]	2.09
c, %/h	0.042[a]	0.024[b]	0.032[b]	0.032[b]	0.00
|*a*|+*b*, mL	116.48[a]	103.74[b]	91.89[c]	113.52[a]	2.5
Gas volume (mL/0.5g)					
24 h	62.20[a]	39.00[c]	50.30[b]	54.10[ab]	2.31
48 h	87.10[a]	66.20[b]	64.60[b]	73.70[b]	2.53
96 h	100.10[a]	85.60[bc]	79.20[c]	90.70[b]	2.18
IVDMD, 24 h	42.84[ab]	24.50[c]	40.10[b]	56.15[a]	3.37
IVDMD, 96 h	60.39[b]	51.31[c]	60.72[b]	70.02[a]	1.92
IVOMD, 24 h	46.15[ab]	24.36[c]	38.69[b]	55.09[a]	3.09
IVOMD, 96 h	60.21[b]	53.04[b]	59.34[b]	69.91[a]	1.75
ME, Mj/kg	6.29	5.74	6.15	5.94	0.08

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

[1] *a*= 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), (*a*+*b*)= potential extent of gas production (mL), IVDMD =in vitro dry matter digestibility, IVOMD = in vitro organic matter digestibility

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1 ค่าประเมินผลผลิตแก๊สของพืชตระกูลถั่ว

การทดลองย่อยที่ 2.2 การประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคแก๊สโปรดัคชั่นในเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร

คุณลักษณะและรูปแบบการผลิตแก๊สของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร

ผลผลิตแก๊สสะสมที่เกิดจากการหมักของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรที่ชั่วโมง 3, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 จะนำมาเข้าสมการเอกโพเนเชียล $y = a+b\ [(1-Exp\ (-ct)]$ (Ørskov and McDonald, 1979) ถึงแม้ว่าจะมีโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายจลศาสตรการผลิตแก๊สได้หลายโมเดลแต่การทดลองนี้เลือกใช้โมเดลของ (Ørskov and McDonald, 1979) เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับตัวชี้วัดอื่น คือ ปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อยได้และคุณลักษณะในการย่อยสลายของทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบ (Blummel and Ørskov,1993; Khazaal et al., 1993; Sommart et al., 2000; Nitipot and Sommart, 2003)

คุณลักษณะในการผลิตแก๊ส ดังแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะในการผลิตแก๊สของวัตถุแต่ละชนิดแล้วพบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ค่าจุดตัดแกน y หรือค่า a อยู่ในช่วง -15.30 ถึง 0.99 โดยเปลือกสับปะรด มีค่า a ต่ำที่สุดในลักษณะกากเมล็ดยางพารามีค่า a สูงที่สุด จากตารางจะเห็นว่าค่า a มีค่าติดลบ ยกเว้นกากเมล็ดยางพารา จากข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นได้ว่าในกระบวนการหมักเกิดระยะพักตัวในช่วงแรก ซึ่งจากการทดลองของนักวิจัยหลายคน เช่น Khazaal et al. (1993); Blummel and Becker, (1997) ก็ให้ผลติดลบเช่นเดียวกัน และเป็นที่ทราบกันดีว่าค่าสมบูรณ์ของ a ($|a|$) ใช้อธิบายค่าของส่วนที่สามารถละลายได้ของวัตถุดิบอาหาร ซึ่งส่วนที่สามารถละลายได้ง่ายจะถูกนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ ในกระเพาะหมักและทำให้ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก๊สเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 6) ในการทดลองนี้เปลือกสับปะรดมีค่าสมบูรณ์ของ a สูงสุดซึ่งชี้ให้เห็นได้ว่าส่วนที่สามารถละลายได้ง่ายของเปลือกสับปะรดมีค่าสูงสุดด้วย นอกจากนั้นยังพบว่าเมล็ดเงาะ และเปลือกมันสำปะหลังมีส่วนที่สามารถละลายได้ง่ายสูงเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับ พีระพจน์ และกฤตพล (2546) ซึ่งพบว่าเปลือกมันสำปะหลังมีส่วนที่สามารถละลายใช้ได้สูง ค่าแก๊สที่จุดเส้นกราฟราบเรียบหรือค่า b ใช้อธิบายถึงส่วนที่ไม่ละลายในน้ำ แต่มีศักยภาพในการย่อยสลาย ซึ่งเมื่อเรียงลำดับวัตถุดิบจากที่มีศักยภาพในการย่อยสลายสูงไปหาต่ำ สามารถเรียงได้ดังนี้คือ เปลือกสับปะรด, เปลือกทุเรียน, เปลือกเสาวรส, เปลือกมันสำปะหลัง, เมล็ดเงาะ, ชานอ้อย, เปลือกเงาะ, เปลือกเมล็ดยางพารา ซึ่งจะพบว่าเปลือกเมล็ดยางพารามีความสามารถในการผลิตแก๊สต่ำมาก และค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และวัตถุแห้งก็ต่ำเช่นกัน (ตารางที่ 6) ดังนั้นกากเมล็ดยางพาราจึงไม่เหมาะสมในการนำมาทำอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งผลที่ได้นี้อาจเป็นผลเนื่องจากสัดส่วนของเยื่อใยในอาหาร (Nherera et al., 1999) ซึ่งพบว่ากากเมล็ดยางพารามีเยื่อใย NDF และ ADL สูงมาก (ตารางที่ 1)

อัตราการผลิตแก๊ส (c, %/h) เมื่อเรียงจากอัตราเร็วสูงสุดไปต่ำสุดสามารถเรียงได้ดังนี้ คือ เปลือกเมล็ดยาง, เปลือกสับปะรด, ชานอ้อย, เปลือกถั่วลิสง, เปลือกทุเรียน, เปลือกเสาวรส, เปลือกมันสำปะหลัง, เมล็ดเงาะบด และเปลือกเงาะ อัตราการผลิตแก๊สเร็วแสดงว่ามีส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เร็ว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในถุงไนล่อน (ตารางที่ 3)

ศักยภาพในการผลิตแก๊ส (|a|+b) แสดงค่าเป็น ml เรียงจากสูงไปต่ำ ได้แก่ เปลือกสับปะรด, เปลือกทุเรียน, เปลือกมันสำปะหลัง, เปลือกเสาวรส เมล็ดเงาะ, ชานอ้อย, เปลือกเงาะ, เปลือกถั่วลิสง และเปลือกเมล็ดยางพารา จะเห็นได้ว่าเปลือกเงาะ, เปลือกถั่วลิสง และเปลือกยางพารามีศักยภาพในการผลิตแก๊สต่ำมาก ซึ่งสาเหตุอาจมาจากปริมาณเยื่อใยสูง และโปรตีนต่ำ (ตารางที่ 1) Kazaal et al. (1995) การหมักย่อยโปรตีนจะได้แก๊สในปริมาณต่ำ และปริมาณเยื่อใยอาหารส่งผลทางลบต่อการผลิตแก๊สในหลอดทดลอง (Melaku et al., 2003) ในการทดลองนี้ เปลือกสับปะรดมีศักยภาพสูงที่สุด และย่อยได้สูงที่สุดเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแก๊สของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม

ปริมาณแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 6 ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าปริมาณแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กราฟของปริมาณแก๊สสะสมในแต่ละกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟ เริ่มที่จุดราบเรียบหลังจากชั่วโมงที่ 72 ปริมาณแก๊สในแต่ละช่วงเวลา เป็นผลมาจากช่วงของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งผลชี้ให้เห็นว่าส่วนของวัตถุดิบและความสามารถในการย่อยได้ของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรแตกต่างกันด้วย เพราะปริมาตรแก๊สที่ผลิตได้จะเป็นผลโดยตรงจากการย่อยสลายของวัตถุดิบ (Dhanoa et al., 2000) นอกจากนั้น จลศาสตร์การผลิตแก๊สยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนของส่วนที่ละลายได้ และละลายไม่ได้แต่สามารถย่อยสลายได้ รวมถึงส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ของอาหารด้วย (Getachew et al., 1998)

Menke et al. (1979) พบว่าปริมาตรแก๊สที่ 24 ชั่วโมงหลังการบ่มมีความสัมพันธ์สูงกับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในวัตถุดิบ ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคแก๊สโปรดัคชั่นในการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ Sommart et al. (2000) พบว่าปริมาณแก๊สเป็นตัวชี้วัดที่ดีในการทำนายค่าการย่อยได้ กระบวนการหมักและการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในหลอดทดลอง นอกจากนั้นยังพบว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุมีความสัมพันธ์สูงกับปริมาตรแก๊สที่ผลิตได้ (Nitipot and Sommart, 2003) ปริมาตรแก๊สยังมีความสัมพันธ์สูงกับปริมาณการกินได้ (Blummel and Becker, 1997) และอัตราการเจริญเติบโต (Blummel and Ørskov, 1993)

ค่าความสามารในการย่อยได้ในหลอดทดลอง

จากการทดลองพบว่าค่าความสามารถในการย่อยได้ในหลอดทดลองของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุ ณ ชั่วโมงที่ 24 และ 48 ของวัตถุดิบแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ซึ่งความสามารถในการย่อยได้ของเปลือกสับปะรด เมล็ดเงาะ เปลือกมันสำปะหลัง มีการย่อยได้สูงสุดทั้งวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุซึ่งชี้ให้เห็นได้ว่าวัตถุดิบ 3 ชนิดนี้มีศักยภาพสูงในการนำไปเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง และนอกจากนั้นปริมาณการย่อยได้ก็มีความสัมพันธ์กับปริมาตรแก๊สสะสมดังที่ได้อธิบายมาเบื้องต้น กล่าวคือ ถ้ามีค่าความสามารถในการย่อยได้สูงจะทำให้มีค่าแก๊สสะสมสูงด้วย (ตารางที่ 6)

ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้

จากการทดลองจะเห็นว่าเปลือกสับปะรดและเปลือกทุเรียนมีค่าพลังงานที่ได้ประโยชน์สูงส่วนวัตถุดิบอื่นมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าแต่เมื่อเรียงลำดับจากสูงไปต่ำสามารถเรียงได้ดังต่อไปนี้ คือ เปลือกสับปะรด, เปลือกทุเรียน, เปลือกเสาวรส, เปลือกมันสำปะหลัง, ชานอ้อย, เมล็ดเงาะ, เปลือกถั่วลิสง เปลือกเงาะและเปลือกเมล็ดยางพารา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

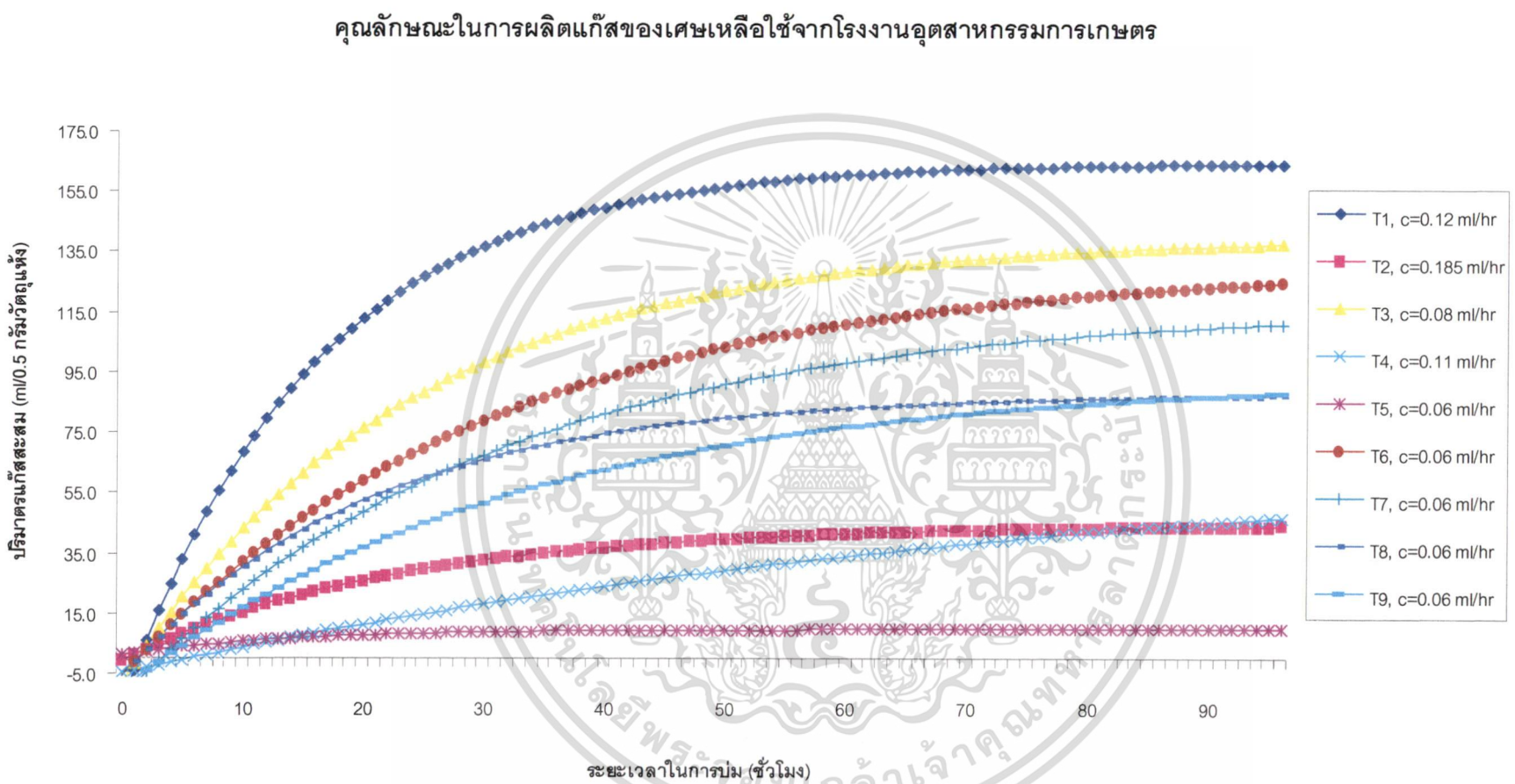
ตารางที่ 6. คุณสมบัติการผลิตแก๊ส การย่อยได้ในหลอดทดลอง ปริมาตรแก๊ส และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ของเศษเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมการเกษตร

Parameter	Treatment									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	SEM
Gas production characteristic[2]										
a, mL	-15.30^{f}	-1.15^{h}	-8.23^{cd}	-5.29^{a}	0.99^{b}	-5.77^{c}	-13.77^{ef}	-5.91^{c}	-10.66^{de}	1.04
b, mL	179.82^{a}	45.63^{e}	148.30^{b}	76.01^{d}	8.49^{f}	136.57^{b}	130.30^{b}	93.96^{cd}	104.51^{c}	7.96
c, %/h	0.062^{ab}	0.044^{cd}	0.042^{cd}	0.012^{e}	0.07^{a}	0.032^{cd}	0.032^{cd}	0.048^{bc}	0.03^{d}	0.00
a+*b*, mL	195.13^{a}	46.78^{e}	156.54^{b}	81.31^{d}	9.50^{f}	142.35^{b}	144.08^{b}	99.88^{cd}	115.18^{c}	8.61
Gas volume (mL/0.5g)										
24 h	119.60^{a}	30.10^{e}	88.70^{b}	23.10^{e}	6.10^{f}	68.90^{c}	59.90^{c}	57.20^{cd}	46.12^{d}	5.18
48 h	152.30^{a}	38.2^{f}	121.30^{b}	44.9^{f}	8.9^{g}	98.50^{c}	92.40^{cd}	75.0^{de}	70.10^{e}	6.53
96 h	168.7a	45.0e	138.10b	62.5e	9.8f	123.40bc	106.8c	87.4d	84.60d	7.23
IVDMD, 24 h	73.42a	14.38f	48.23c	34.0e	10.16f	53.51b	69.77a	39.85d	74.59a	3.53
IVOMD, 24 h	74.05a	12.69f	46.55c	32.20e	10.39f	51.98b	71.03a	40.92d	74.68a	4.45
IVDMD, 96 h	86.94a	19.24f	69.22c	42.55e	10.30g	80.00b	87.99a	56.06d	91.35a	4.41
IVOMD, 96 h	88.57a	17.74f	68.83c	50.30e	10.49g	79.08b	88.78a	56.90d	88.95a	3.56
ME, Mj/kg	9.02a	4.14e	7.24b	3.77e	2.58f	6.08c	5.52dc	5.34d	5.12d	0.29

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

[1] *a*= 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), (*a*+*b*)= potential extent of gas production (mL), IVDMD =in vitro dry matter digestibility, IVOMD = in vitro organic matter digestibility

T1= เปลือกสับปรด, T2= เปลือกถั่วลิสง, T3= เปลือกทุเรียน, T4= เปลือกเงาะ, T5= กากเมล็ดยางพารา, T6= เปลือกเสาวรส, T7= เปลือกมันสำปะหลัง, T8= ชานอ้อย , T9= เมล็ดเงาะบด



ภาพที่ 2 ค่าประเมินผลผลิตแก๊สของเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร

การทดลองย่อยที่ 2.3 การประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคแก๊สโปรดัคชั่นในเศษเหลือใช้ทางการเกษตรและอื่น ๆ

คุณลักษณะการผลิตแก๊สของเศษเหลือใช้ทางการเกษตร

การผลิตแก๊สของเศษเหลือใช้ทางการเกษตรจะทำการวัดปริมาตรแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 3, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ซึ่งจะนำมาเข้าสมการเอกโพเนนเชี่ยล $y = a+b\ [(1-Exp\ (-ct)]$ (ϕrskov and McDonald, 1979) เพื่อใช้อธิบายถึงจลศาสตร์การย่อยสลายสาเหตุที่ใช้สมการนี้มาอธิบายเนื่องจากได้ตัวชี้วัดที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้ การย่อยได้ และการย่อยสลายได้ของวัตถุดิบดังอธิบายมาแล้วเบื้องต้น

ปริมาตรแก๊ส และคุณลักษณะในการผลิตแก๊สดังแสดงในตารางที่ 7 และภาพที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะการผลิตแก๊สระหว่างกลุ่ม พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ค่า a สำหรับกลุ่มต่างๆ จะอยู่ในช่วง –18.64 ถึง 0.006 มิลลิลิตรในผักตบชวามีค่า a สูงที่สุด ในขณะที่ใบมันสำปะหลังมีค่า a ต่ำที่สุด ค่า a จากการทดลองนี้จะติดลบยกเว้นค่า a ของใบผักตบชวา เหตุผลดังที่อธิบายมาแล้วเบื้องต้น แต่อย่างไรก็ตามการอธิบายผลจะให้ค่าสมบูรณ์ของ a $|a|$ ซึ่งจากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าค่าสัมบูรณ์ของ a สูงที่สุด คือใบมันสำปะหลัง รองลงมาได้แก่ กากมะพร้าว และต้นข้าวฟ่าง ซึ่งจะเห็นว่าค่าสัมบูรณ์ของ a นี้จะใช้อธิบายถึงค่าของส่วนที่ละลายได้ง่าย แสดงว่าค่าวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวข้างต้น มีส่วนที่ละลายได้ง่ายอยู่สูง ในขณะที่ใบผักตบชวา ต้นข้าวโพด ใบมะพร้าว และต้นผักตบชวา จะมีค่าของส่วนที่ละลายน้ำได้อยู่ต่ำ โดยทั่วไปแล้วเศษเหลือใช้ทางการเกษตรจะมีค่าของส่วนที่ละลายได้ต่ำ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเศษเหลือใช้ทางการเกษตรจะมีเยื่อใยอยู่สูง มีโปรตีนต่ำ (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับ (Hindichsen et al., 2000) ซึ่งการที่เศษเหลือใช้ทางการเกษตรมีเยื่อใยสูงก็จะทำให้ยากแก่การเข้าไปย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ดังนั้นการนำผลพลอยได้จากการเกษตรมาใช้ซึ่งต้องมีการนำมาปรับปรุงคุณภาพ และเพิ่มความสามารถการย่อยได้ด้วย ตัวอย่างเช่น หมักด้วยยูเรีย ด้วยสารเคมีหรือหมักด้วยจุลินทรีย์ (เมธา, 2533)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าปริมาณแก๊สที่จุดเส้นกราฟเรียบ (b) ใช้อธิบายถึงค่าของส่วนที่ไม่ละลายในน้ำแต่สามารถย่อยได้โดยกระบวนการหมัก ซึ่งค่า b จากการทดลองนี้สามารถเรียงจากสูงไปต่ำได้ดังนี้ ต้นข้าวโพด หญ้าอะตราตั้ม กากมะพร้าว ซังข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง ใบมันสำปะหลัง ต้นผักตบชวา ดังนั้นผักตบชวา และใบมะพร้าว จากการทดลองจะชี้ให้เห็นว่า ก้านผักตบชวา และใบมะพร้าวจะสามารถย่อยได้ต่ำมาก เมื่อพิจารณาถึงปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้น และค่าการย่อยได้จากตารางที่ 7 ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน เพราะปริมาตรแก๊สจะมีความสัมพันธ์กับการย่อยได้ ถ้าปริมาตรแก๊สเกิดขึ้นมากการย่อยได้ก็จะมากตามไปด้วย (Menke et al., 1973; Makkar et al., 1995) ซึ่งผลนี้อาจเกิดจากส่วนประกอบของเยื่อใยที่มีลิกนินอยู่สูงมีโปรตีนต่ำ (Nherera et al., 1999) หรือเกิดจากส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในวัตถุดิบด้วยซึ่งจะมีผลต่อจลศาสตร์การย่อยสลายของแก๊ส (Deaville and Givens, 2001)

อัตราการย่อยสลาย (c) ถ้าเรียงลำดับจากสูงไปต่ำจะสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ คือ กากมะพร้าว ใบมันสำปะหลัง ต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง ใบผักตบชวา ซังข้าวโพด ใบมะพร้าว หญ้าอะตราตั้ม จากการทดลองจะเห็นว่ากากมะพร้าวและใบมันสำปะหลังจะมีอัตราการย่อยสลายหรืออัตราการเกิดแก๊สเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในเทคนิคถุงไนล่อน (การทดลองที่ 1.3) แสดงให้เห็นว่ามีส่วนที่ย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว และการย่อยได้เร็วอาจเนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีที่ง่ายต่อการเข้าไปย่อยของจุลินทรีย์ (Chumpawadee et al., 2006)

ศักยภาพการผลิตแก๊ส ($|a|+b$) พบว่าต้นข้าวโพด หญ้าอะตราตั้ม กากมะพร้าว ต้นข้าวฟ่างมีศักยภาพในการผลิตแก๊สสูง เนื่องจากมีส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายอยู่สูง เนื่องจากผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการหมักย่อยส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตให้กลายเป็นกรดอะซีเตต โพรพิโอเนต และบิวทีเรต (Getachew et al., 1998) แต่การย่อยของส่วนโปรตีนจะให้ปริมาณแก๊สน้อยมาก (Khazaal et al., 1995) ส่วนประกอบของเยื่อใยก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีผลในทางลบ กับปริมาตรแก๊สที่ผลิตได้ (Melaku et al., 2003)

ปริมาตรแก๊สสะสม

ปริมาตรแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 ชั่วโมง หลังการบ่ม ดังแสดงในตารางที่ 7 ผลการทดลองพบว่าปริมาตรแก๊สสะสมที่ชั่วโมงที่ 24, 48 และ 96 หลังการบ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) ระหว่างกลุ่ม ลักษณะเส้นกราฟของการผลิตแก๊สในแต่ละกลุ่มด้วยแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลผลิตแก๊สจะขึ้นถึงจุดเส้นกราฟเรียบปริมาตร 72 ชั่วโมงหลังจากการบ่ม ซึ่งปริมาตรแก๊สสะสมจะขึ้นกับชนิดของผลพลอยได้ทางการเกษตร ผลผลิตแก๊สจะเป็นผลโดยตรงจากการย่อยสลายของวัตถุดิบ (Dhanoa et al., 2002) นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นอีกที่มีผลต่อปริมาตรแก๊สที่ 24 ชั่วโมง ยังสามารถนำมาคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์นี้ได้ (Menke et al.,1997) และยังมีความสัมพันธ์กับอย่างอื่นมากมายดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสามารถในการย่อยได้ที่ชั่วโมงที่ 24 และ 96 หลังการบ่ม

จากการทดลองพบว่าถ้าค่าความสามารถการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และวัตถุแห้งหลังการบ่มที่ 24 และ 96 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) และจากการทดลองจะเห็นได้ว่าการย่อยได้ของต้นข้าวโพด หญ้าอะตราตั้ม กากมะพร้าว ใบมันสำปะหลังมีค่าความสามารถในการย่อยได้สูง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาตรแก๊สที่ผลิตได้ ดังนั้นวัตถุดิบเหล่านี้ จึงน่าจะนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากสามารถย่อยได้สูงกว่าวัตถุดิบอื่นในกลุ่มเดียวกัน และยังสามารถหาได้ง่าย ส่วนใบผักตบชวา ใบมะพร้าวและซังข้าวโพดนั้นมีความสามารถย่อยได้ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลผลิตแก๊สที่ผลิตได้ อาจเนื่องมาจากส่วนประกอบของเยื่อใยที่มีอยู่สูง ทำให้ความสามารถในการย่อยได้ต่ำ ดังนั้นก่อนนำมาให้สัตว์กินควรนำไปปรับปรุงคุณภาพโดยทำให้มีคุณค่าทางโภชนะสูงขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วเบื้องต้น

ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้

ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่คำนวณจากสมการของ Menke et al. (1997) โดยใช้ค่าปริมาตรแก๊สที่ชั่วโมง 24 และค่าโปรตีนดังสมการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารที่ได้จากผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยส่วนมากแล้วผลพลอยได้จากการเกษตรจะมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังตารางที่ 7 ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จากการประเมินโดยเทคนิคแก๊สนี้ เป็นค่าที่สามารถหาได้ และนำไปใช้ประโยชน์ในการประกอบสูตรอาหารได้ เพราะปัจจุบันค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารเขตร้อนยังขาดข้อมูลอยู่อีกมาก การนำเอาเทคนิคนี้มาประเมินเป็นวิธีการอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้เพราะลงทุนต่ำ ง่าย สะดวก รวดเร็ว ดังนั้นการทดลองต่อไปจึงควรหาสมการที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารเขตร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

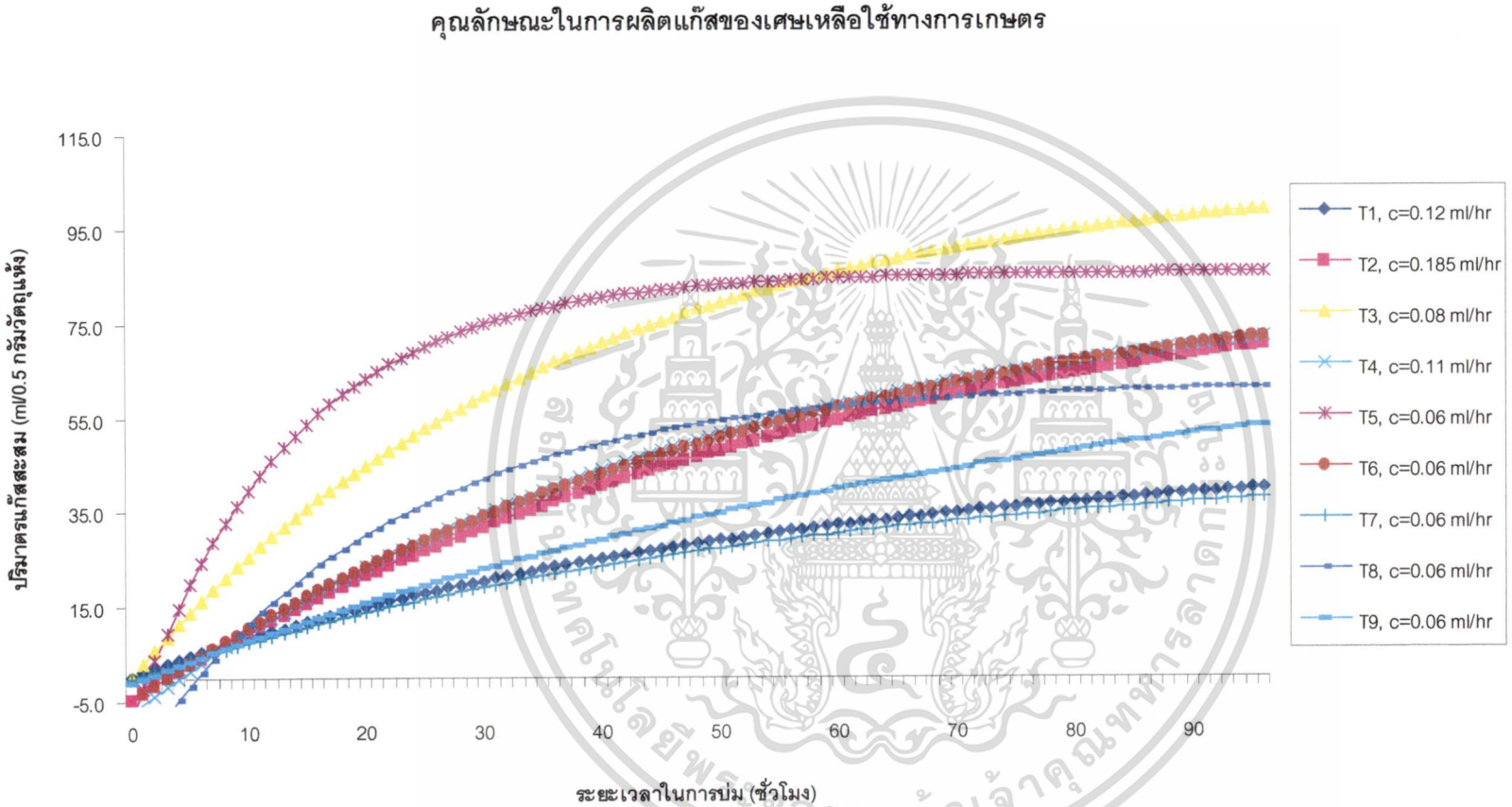
ตารางที่ 7. คุณสมบัติการผลิตแก๊ส การย่อยได้ในหลอดทดลอง ปริมาตรแก๊ส และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ของเศษเหลือใช้ทางการเกษตร

Parameter	Treatment									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	SEM
Gas production characteristic[2]										
a, mL	0.006a	-4.81b	-0.06d	-7.63[cd]	-9.19d	-5.25bc	-0.72a	-18.64e	-1.54a	0.87
b, mL	48.11d	95.48ab	106.75a	92.87abc	94.48ab	93.73abc	46.47d	80.60bc	79.70c	3.38
c, %/h	0.018d	0.016d	0.027c	0.020cd	0.072a	0.018d	0.018d	0.046b	0.012d	0.00
| *a* | +*b*, mL	49.04d	100.30ab	114.81a	100.50ab	113.13a	98.98ab	47.80d	89.80bc	80.54c	3.90
Gas volume (mL/0.5g)										
24 h	17.90c	15.30c	45.0b	20.40c	60.30a	25.0c	18.10c	48.30b	15.60c	2.62
48 h	30.20ef	44.70cde	78.30a	48.30cd	70.80ab	40.40def	23.80f	60.70bc	29.10ef	3.16
96 h	40.70de	69.40bc	88.87a	67.60bc	76.20ab	73.20abc	38.30e	71.10bc	55.80dc	2.88
IVDMD, 24 h	22.99d	25.39cd	42.6ab	24.83cd	66.36a	22.21d	32.41bc	62.99a	38.41bc	2.79
IVOMD, 24 h	17.35g	22.69e	41.37c	21.09efg	67.00a	21.74ef	32.45d	62.09b	17.94fg	2.30
IVDMD, 96 h	33.70d	65.09b	73.29a	58.73b	78.64a	48.29c	42.37c	64.34b	48.77c	2.78
IVOMD, 96 h	30.26f	64.37c	72.97ab	57.07d	79.25a	48.13e	47.54bc	62.11cd	44.56e	2.33
ME, Mj/kg	3.82c	3.54c	5.12b	3.59c	5.71a	3.60c	3.66c	6.14a	3.46c	0.16

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

[1] *a*= 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), (*a*+*b*)= potential extent of gas production (mL), IVDMD =in vitro dry matter digestibility, IVOMD = in vitro organic matter digestibility

T1= ใบผักตบชวา, T2= หญ้าอะตราตั้ม, T3= ต้นข้าวโพด, T4= ต้นข้าวฟ่าง, T5= กากมะพร้าว, T6= ซังข้าวโพด, T7= ใบมะพร้าว, T8= ใบมันสำปะหลัง, T9= ก้านผักตบชวา



ภาพที่ 3 ค่าประเมินผลผลิตแก๊สของเศษเหลือใช้ทางการเกษตร

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองถึงการประเมินคุณค่าทางโภชนะของผลพลอยได้จากการเกษตร อุตสาหกรรมการเกษตร และพืชอาหารสัตว์ในโคนมโดยแบ่งกลุ่มวัตถุดิบออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มพืชตระกูลถั่ว กลุ่มเศษเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร และกลุ่มผลพลอยได้จากการเกษตร พบว่ากลุ่มพืชตระกูลถั่วมีโปรตีนสูง และกลุ่มเศษเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรมีโปรตีนต่ำ และเยื่อใยสูง ยกเว้น ใบมันสำปะหลังบด และเมื่อนำมาประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อนและเทคนิคแก๊สโปรดัคชั่นพบว่า

1. กลุ่มพืชตระกูลถั่วมีความสามารถในการย่อยได้สูง และมีศักยภาพในการผลิตแก๊สได้สูง และเมื่อนำมาเรียงลำดับคุณภาพจากสูงไปต่ำสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ คือ ใบกระถินบด ถั่วลายบด ถั่วฮามาต้า และถั่วคาวาเคด ตามลำดับ

2. กลุ่มผลพลอยได้ จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรพบว่า เปลือกสับปะรด เปลือกเสาวรส เปลือกมันสำปะหลัง และเมล็ดเงาะมีศักยภาพสูงในการนำมาเป็นอาหารสัตว์ได้สูง ในขณะที่เปลือกทุเรียน เปลือกเงาะ และชานอ้อย มีศักยภาพในการนำมาเป็นอาหารสัตว์ในระดับปานกลาง ส่วนเปลือกเมล็ดยางพารา และเปลือกถั่วลิสงมีศักยภาพต่ำในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารโคนม

3. กลุ่มเศษเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่าใบมันสำปะหลังบด กากมะพร้าว ต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง มีศักยภาพสูงในการนำมาเป็นวัตถุดิบอาหารโคนม ส่วนใบผักตบชวา ซังข้าวโพด ใบมะพร้าวบด ก้านผักตบชวา หญ้าอะตราตั้ม มีศักยภาพปานกลาง ในการนำมาทำเป็นอาหารโคนม และจะเห็นได้ว่าวัตถุดิบกลุ่มนี้มีเยื่อใยสูง มีโปรตีนต่ำ และการย่อยได้ค่อนข้างต่ำด้วย ดังนั้นการนำมาใช้ควรนำมาทำการปรับปรุงคุณภาพก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. กรุงเทพฯ : ฟันนี่พับบลิชชิ่ง.

บรรจบพร วรรณชาติ. 2541. "การศึกษาการย่อยได้ของหญ้าขนโดย *in sacco* และ *in vitro*." ปัญหาพิเศษ สาขาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และสมคิด พรหมมา. 2539. การหาการย่อยได้โดยการใช้ถุง. เอกสารสนับสนุนทางวิชาการฉบับที่ 2.

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

สายัณห์ ทัดศรี. 2540. พืชอาหารสัตว์เขตร้อนการผลิตและการจัดการ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ลินคอร์น.

Aiple, K.P., H. Steingass and W. Drochner. 1996. Prediction of net energy content of raw materials and compound feeds for ruminants by different laboratory methods. Arch. Anim. Nutri. 49: 213-220.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, Vol.1, 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA. 69-90.

Arieli, A., I. Bruckental, O. Kedar and D. Sklan. 1995. *In sacco* disappearance of starch nitrogen and fat in processing grains. Anim. Feed Sci. Technol. 51: 287-295.

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.

Barnes, R.F. *et al.* 1971. "*In vitro* dry matter disappearance of brown midrib mutants of maize." J. Anim. Sci. 33(4) : 881-884.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. Nutri. 77: 757-768.

Blummel, M., H.P.S. Makkar, G. Chisanga, J. Mtimuni and K. Becker. 1997a. The prediction of dry mater intake of temperate and tropical roughages from *in vitro* digestibility of African roughages in relation to ruminant live weight. Anim. Feed Sci. Technol. 69: 131-141.

Blummel, M., H. Steingass and K. Becken. 1997b. *In vitro* gas production: a technique revisited. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 77: 24-34.

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.

Broderick, G.A. and R.C. Cochran. 2000. *In vitro* and *in situ* methods for estimating digestibility with reference to protein degradability. In: Feed Evaluation for Animal Production: Feeding Systems and Feed Evaluation Models (Ed, M.K. Theodorou and J. France, pp 53-85). CABI publishing CAB international Wallingford Oxon OX10 8DE, UK.

Chantalakhana, C. and P. Skunmun. 2002. Sustainable small holder animal systems in the tropics. Kasetsart University Press, BK.

Chen, X.B., L. Samaraweera, K.J. Kyle and E.R. Ørskov. 1996. Urinary excretion of purine derivatives and tissue xanthin oxidase (EC 1.2.3.2) activity in buffaloes (*Bubalis bubalis*) with special reference to difference between buffaloes and *Bos taurus* cattle. Br. J. Nutr. 75: 397-407.

Chumpawadee, S., K Sommart, T. Vongpralub and V. Pattarajinda. 2004. In sacco degradation characteristics of non forage high fibrous tropical feed sources in Brahman-Thainative crossbred steers. Journal of Science and Technology Mahasarakham University: 53-62

Church, D.C. 1975. Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants. Vol II. USA: Metropolitan printing Co., Portland.

Church, D.C. 1991. Livestock Feed and Feeding. 3rd Edition. USA, Prentice-Hall International, Inc., Englewoods Cliffs. 546 p.

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cone, J.W., A.H. van Gelder, A.A. Mathijssen-Kamman and V.A. Hindle. 2004. Rumen escapes protein in grass and grass silage determined with a nylon bag and an enzymatic technique. Anim. Feed Sci. Technol.111: 1-9.

Deaville, E.R. and D.I. Givens. 2001. Use of the automated gas production technique to determine the fermentation kinetics of carbohydrate fractions in maize silage. Anim. Feed Sci. Technol. 93: 205-215.

Dhanoa, M.S., S. Lopez and J. Dijkstra. 2000. Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed *in vitro*: Comparison of models. Br. J. Nutri. 83: 131-142.

Djajanegara, A. and P.T. Doyle. 1989. Urea supplementation compared with pre treatment. Effect on intake, digestion and live-weight change by sheep fed rice straw. Anim. Feed Sci. Technol. 25: 21-36.

Dryhurst, N. and V.B. Woods. 1998. The effect of nitrogen source and concentration *in vitro* gas production using rumen microorganism. Anim. Feed Sci. and Technol. 71: 131-143.

Egan, A.R. 1992. Strategies of feeding and nutrition of dairy cattle based on crop residues. In: The 6th AAAP Animal Science Congress, Bangkok, Thailand. (Eds. Bunyavejchewin, P., S. Sangdid and K.Kangsanet), The animal Husbandry Association of Thailand. 167-176.

Figroid, W., W.H. Hale and B. Theure. 1972. An evaluation of the nylon bag technique for estimating rumen utilization of grains. J. Anim. Sci. 35: 113-121.

Garnsworthy, P.C. and J. Wiseman. 2000. Rumen digestibility of starch and nitrogen in near-isogenic line of wheat. Anim. Feed Sci. Technol. 85: 33-40.

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

Getachew, G., G.M. Crovetto, M, Fondivila, U. Krishnamoorthy, B. Singh, M. Spaghero, H. Steingass, P.H. Robinson and M.M. Kailas. 2002. Laboratory variation of 24 h *in vitro* gas production and estimated metabolizable energy values of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 102: 169-180.

Getachew, G., H.P.S. Makkar and K. Becker.1998. The *in vitro* gas coupled with ammonia nitrogen measurement for evaluation of nitrogen degradability in low quality roughages using incubation medium of different buffering capacity. J. Sci. Food Agri. 77: 87-95.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Getachew, G. H.P.S. Makkar and K. Becker. 2000. Effect of polyethylene glycol on *in vitro* degradability of nitrogen and microbial protein synthesis from tannin rice browse and herbaceous legumes. Bri. J. Nutri. 84: 73-83.

Gizzi, G., R. Zanchi and F. Scairaffia. 1998. Variation in number and portion of rumen microbes examined both *in vivo* and *in vitro* using simulation system. In: Proceedings of the British Society of animal Science. 1998 March 22-24; Scarborough;1998. p. 56.

Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures and some applications), Agricultural Handbook Number 379, ARS-USDA, Washington, DC.

Herrero, M., I. Murray, R.H. Fawcett and J.B. Dent. 1996. Prediction of *in vitro* gas production and chemical composition of kikuyu grass by near-infrared reflectance spectroscopy. Anim. Feed Sci. Technol. 60: 51-67.

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 libilitum*. TSAP Proceeding Vol. 28.

Huntington, J.A. and D.I. Givens. 1997. Studies on *in situ* degradation of feed in the rumen: 1-Effect of species, bag motility and incubation sequence on dry matter disappearance. Anim. Feed Sci. Technol. 64: 227-241.

Ibrahim, M.N.M., S. Tamminga and G. Zemmelink. 1995. Degradation of tropical roughages and concentrate feeds in the rumen. Anim. Feed Sci. Technol. 54: 81-92.

Kabuga, J.D. and Darko, C.A. 1993. "In sacco degradability of dry matter and nitrogen in oven dried and fresh tropical grasses and some relationships to *in vitro* dry matter digestibility." Anim. Feed Sci. Technol. 40 :191-205.

Khan, M.J., H. Steingass and W. Drochner. 2002. Evaluation of some aquatic plants from Bangladesh through mineral composition, *In vitro* gas production and *in situ* degradation measurements. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 15(4): 537-542.

Khandaker, Z.H. and A.M.M. Tareque. 1996. Studies on protein degradability of feedstuffs in Bangladesh. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 9(6): 637-642.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Khazaal, K., M.T. Dentinho, J.M. Ribeiro and E.R. Ørskov. 1995. Prediction of apparent digestibility and voluntary feed intake of hays fed to sheep: Comparison between using fibre component, *in vitro* digestibility or characteristics of gas production or nylon bag degradation. Anim. Sci. 61: 521-538

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. Pro. 57: 105-112.

Leng, R.A. 1997. Application of Biotechnology to Nutrition Animals in Developing Countries. FAO Animal Production and Health Paper No. 90. Armidale, NSW, Australia.

Lopez, S., F.D. De, B. Hovell, B. Manyuchi and R.I. Smart. 1995. Comparison of sample preparation methods for determination of the rumen degradation characteristics of fresh and ensiled forages by nylon bag technique. Anim. Sci. 70: 439-450.

Mahadevan, S., J.D. Erfle and F.D. Sauer. 1980. Degradation of soluble and insoluble proteins by *Bacteroides amylophilus* protease and by rumen microorganisms. J. Anim. Sci. 50: 723-728.

Makkar, H.P.S., M. Blummel and K. Becker. 1995. Formation of complete between polyvinyl pyro lidones or polyethylene glycol and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in *in vitro* technique. Br. J. Nutr. 73: 897-913.

Makkar, H.P.S., M. Blummel and K. Becker. 1995. *In vitro* effects of and interactions between tannins and saponins and fate of tannins in the rumen. J. Food. Agric. 69: 481-493.

Mabjeesh, S.J., M. Cohen and A. Arieli. 2000. *In Vitro* Method for Measuring the Dry Matter Digestibility of Ruminant Feedstuffs : Comparison of Methods and Inoculum Source. J. Dairy Sci. 83: 2289-2294.

Mehrez, A.Z. and Orskov, E.R.1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. J. Agric. Sci.(Camb.).88:645-650.

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. Agri. Sci. (Camb). 93: 217-222.

Menke, K. and H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Anim. Res. and Development. 28: 7-55.

Mupangwa, J.F., N.T. Ngongoni, J.H. Topps and P. Ndlovu. 1997. Chemical composition and dry matter of forage legumes *Cassia rotundiforlia 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.

Nherera, F.V., L.R. Ndlovu and B.H. Dzowela. 1999. Relationships between *in vitro* gas production characteristics chemical composition and *in vivo* quality measures in goats fed tree fodder supplements. Small Ruminant Research. 31: 117-126.

Nitipot, P. and K. Sommart. 2003. Evaluation of ruminant nutritive value of cassava starch industry by products, energy feed sources and roughages using *in vitro* gas production technique. In: Proceeding of Annual Agricultural Seminar for year 2003, 27-28 January, KKU; 2003. p. 179-190.

Nocek, J. E. 1985. Evaluation of specific variables affecting *in situ* estimates of ruminal dry matter and protein digestion. J. Anim. Sci. 60: 1347-1358.

Nocek, J.E. and J.B.Russell. 1988. Protein and energy as on integrated system: Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. J. Dairy Sci. 71: 2070-2077.

Noziere, P. and B. Michalet-Doreau. 2000. *In sacco* methods: Farm Animal Metabolism and Nutrition. (Ed., J.P.F. Dmello), CABI Publishing CAB International Wallingford Oxon Ox10 8DE, UK.

Olivera, R.M.P. Use of *in vitro* gas production technique to assess the contribution of both soluble and insoluble fractions on nutritive value of forages [Master Thesis in Animal Nutrition]. Aberdeen: University of Aberdeen Scotland; 1998.

Preston, T.R. and R.A.Leng. 1987. Matching Ruminant Production Systems with Available Resources in the Tropics and Subtropics. Armidale, Auastralia, Penambul Books.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Poppi, D.P., R. Stuart and McLennan. R. 1995. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. J Anim. Sci. 73: 278-290.

Promkot, C. and M. Wanapat. 2004. Ruminal 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.

Ørskov, E.R. 1992. Protein Nutrition in Ruminant. Second Edition, Academic Press Inc., San Diego, CA.

Ørskov, E.R. 1998. Feed evaluation with emphasis on fibrous roughages and fluctuating supply of nutrients: a review. Small Ruminant Research. 28: 1-8.

Ørskov, E.R., F.D. DeBHovell and F. Mould. 1980. The use of nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Trop. Anim. Pro. 5(3): 195-213.

Ørskov, E.R.,G.W. Reid and M kay. 1988. Prediction of intake by cattle from degradation characteristics of roughage. Animal. Prod. 46:29-34.

Ørskov, E.R and W.J. Shand. 1997. Use of the nylon bag technique for protein and energy evaluation and rumen environment studies in ruminants. Livestock Research for Rural Development. 9(1): 1-5.

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.

Rahnema, S.H. and B.Theurer. 1986. Comparison of various amino acids for estimation of microbial nitrogen in digesta. J. Anim. Sci. 63: 603-612.

Rameke, K. 2004. Production, supply and demand outlok for coarse grains. New dimensions and challenges for sustainable livestock farming (V. I). In: Proceeding of the 11th Animal science congress the Asian- Australasian Association of Animal production societies 5-9th September 2004, Kuala Lumpur, Malaysia.

SAS. 1996. SAS User's Guide: Statistics, Version 6.12th Edition. SAS Institute Inc.Cary, NC.

Scales, G.H. *et al.* 1974. "Comparison of indirect methods of predicting *in vivo* digestibility of grazed forage." J. Anim. Sci. 38(1) : 192-199.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

Shem, M.N., E.R. Ørskov and A.E. Kimambo. 1995. Prediction of voluntary dry matter intake, digestible dry matter intake and growth rate of cattle from the degradation characteristics of tropical foods. Anim. Sci. 60-74.

Sinclair, L.A., P.C. Garnsworthy, J.R. Newbold, and P.J. Buttery. 1993. Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. J. Agric. Sci. (Camb).120: 251-263.

Siulapwa, N.J. and H. Simukoko. Status of crop residues and agro-industrial by-products as supplementary animal feed in Zambia-A review [online] 2005 [cited 2005 Sep 25]. Available from: http://www.fiuc.org/esap/ZAMB/ZAMB7/General/cropszambia.php.

Sommart, K. 1998. The use of cassava in ruminant diets based on low quality roughages. [Ph.D. Thesis in Ruminant Nutrition] Newcastle: University of Newcastle Upon Tyne;1998.

Sommart, K., Wanapat, M., Parker, D.S. and Rowlinson, P. 2000. Cassava chip as an energy source for lactating dairy cows fed rice straw. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 13: 1094-1101.

Sommart, K., D.S. Parker, P. Rowlinson and M. Wanapat. 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): 1084-1093.

Tessema, Z. and R.M.T. Baars. 2004. Chemical composition, *in vitro* dry matter digestibility and degradation of Napier grass (*Pennisetum Purpureum* (L) Schumach.) mixed with different levels of *Sebania Sesban* (L.) Merr. Anim. Feed Sci. Technol. 117: 29-41.

Theodorou, M.K., B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. McAllan and J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 48: 185-197.

Tilley, J.M.A. and R.A. Terry. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. Br. Grassl. Soc. 18: 104-109.

Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and Non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74: 3583-3597.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vanzant, E.S., R.C. Cochan and E.V. Titgemeyer. 1998. Standardization of *in situ* techniques for ruminant feedstuffs evaluation. J. Anim. Sci. 76: 2717-2729.

Vitti, D.M., A.L. Abdalla, J.C. Silva, S.S. Filho, N.L. del Mastro, R. Mauricio, E. Oven and F. Mould. 1999. Misleading relationships between *in situ* rumen dry mater disappearance, chemical analyzed and *in vitro* gas production and digestibility, of sugarcane baggage treated with varying levels of electron irradiation and ammonia. Anim. Feed. Sci. Technol. 79: 145-153.

Wanapat, M. 1999. Feeding of Ruminant in the Tropics based on Local Feed Resources. Khon Kaen Publishing Company Ltd., Khon Kaen, Thailand.

Wanapat, M., O. Pimpa, A. Petlum and U. Boontao.1997. Cassava hay: A new strategic feed for ruminant during the dry season. Livestock Research for Rural Development. 9: 1-5.

Woods, V.B., F.P.O. Mara and A.P. Moloney. 2003. The nutritive value of concentrates feedstuffs for ruminant animals. Part I: *In situ* ruminal degradability of dry matter and organic matter. Anim. Feed Sci. Technol. 110: 111-130.

Woods, V.B., F.P.O. Mara and A.P. Moloney. 2003. The nutritive value of concentrates feedstuffs for ruminant animals. Part I: *In situ* ruminal degradability of crude protein. Anim. Feed Sci. Technol. 110: 131-143.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

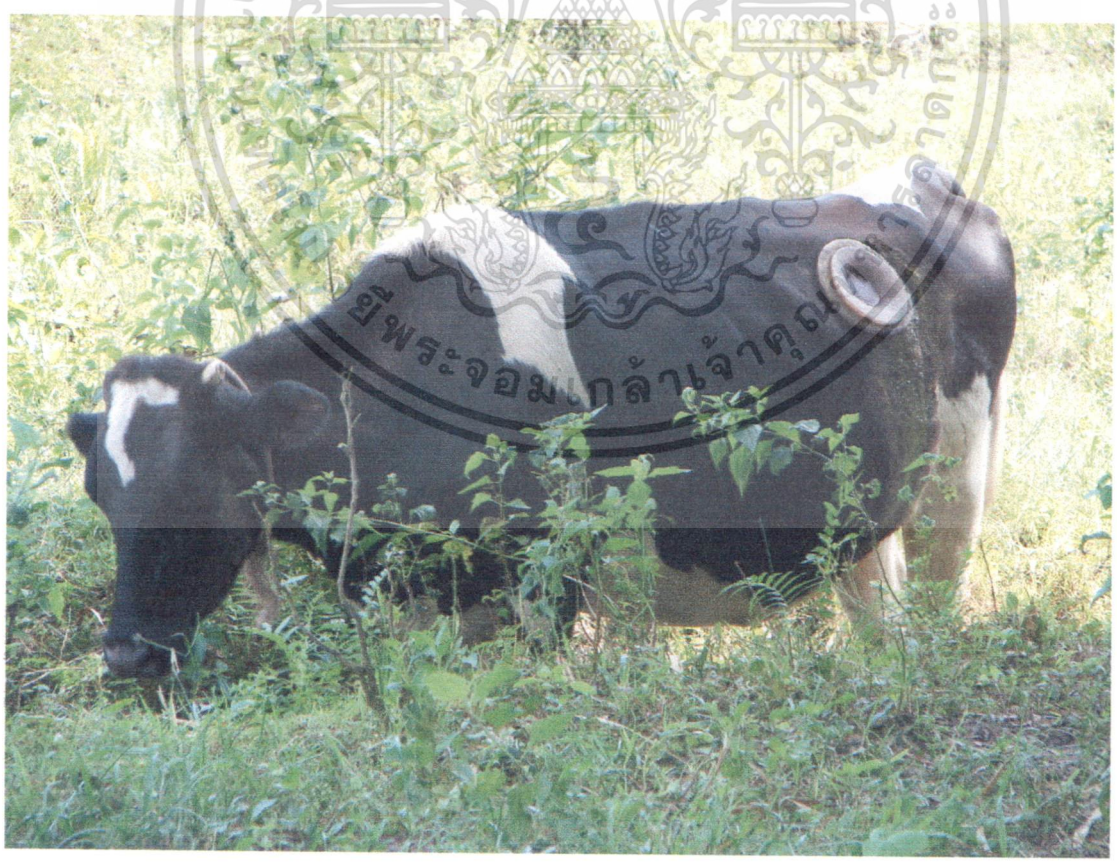
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 1 โคนมแจาะกระเพาะที่ใช้ในการศึกษาก่อนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 2 ถุงไนล่อนที่ใช้ในการศึกษาในขณะทดสอบการย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 3 โคเจาะกระเพาะที่ใช้ในการศึกษาถูกเลี้ยงปกติในช่วงทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้