บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การทดลองที่ 1 การปรับวัตถุแห้งและการใช้สารเสริมปรุงแต่งที่เหมาะสมในการหมักเปลือกและซังข้าวโพดหวาน

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดหวาน ซังข้าวโพดหวาน และเปลือกปนซังข้าวโพดหวาน

นำเปลือก ซัง และเปลือกปนซังข้าวโพดหวานที่ได้จากโรงงานข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง บริษัท เชียงใหม่ฟู้ดแคนนิ่ง จำกัด มาทำการศึกษาเบื้องต้นถึงองค์ประกอบทางเคมี จากการสังเกตลักษณะภายนอก พบว่าวัตถุดิบดังกล่าวมีความฉ่ำน้ำ เนื่องจากขั้นตอนการผลิตต้องนำฝักข้าวโพดหวานมาแช่ในน้ำอุ่นก่อนเพื่อให้เปลือกและไหมคลายตัวเพื่อให้การแยกส่วนเปลือกและไหมออกจากฝักทำได้ง่ายขึ้น ลักษณะของซังข้าวโพดหวานจะมีเนื้อเมล็ดบางส่วนติดมาด้วย ส่วนเปลือกปนซังข้าวโพดหวานนั้นประกอบด้วยส่วนของเปลือก 55% และซัง 45% โดยประมาณ องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดหวาน ซังข้าวโพดหวาน และเปลือกปนซังข้าวโพดหวาน (% ของวัตถุแห้ง)

วัตถุดิบ	DM	OM	CP	EE	NDF	ADF	NFC
เปลือกข้าวโพดหวาน	17.79	96.13	5.41	1.51	77.48	38.73	11.73
ซังข้าวโพดหวาน	24.24	97.52	6.11	4.44	68.50	33.48	18.47
เปลือกปนซังข้าวโพดหวาน	19.75	96.03	6.86	3.21	70.89	35.61	15.07

เปลือกข้าวโพดหวานมีวัตถุแห้ง (DM) 17.79% โปรตีน (CP) 5.41% และไขมัน (EE) 1.51% ต่ำกว่าซังข้าวโพดหวานที่มีค่าดังกล่าวเท่ากับ 24.24, 6.11 และ 4.44% ตามลำดับ แต่จะมีเยื่อใยส่วน Neutral detergent fiber (NDF) และ Acid detergent fiber (ADF) สูงกว่าซังข้าวโพดหวาน คือ 77.48 เทียบกับ 68.50% และ 38.73 เทียบกับ 33.48% ตามลำดับ

ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของจินดา และคณะ (2541) ที่กล่าวว่าซังข้าวโพดหวานมีโภชนะสูงกว่าเปลือกข้าวโพดหวานทั้งนี้เนื่องจากซังข้าวโพดหวานมีเมล็ดบางส่วนติดมาด้วยจึงทำให้มีองค์ประกอบส่วน CP และ EE สูงกว่าเปลือกข้าวโพดหวาน ส่วนเปลือกปนซังข้าวโพดหวานนั้นพบว่ามีค่าขององค์ประกอบทางเคมีอยู่ระหว่างเปลือกข้าวโพดและซังข้าวโพดหวาน โดยมี DM 19.75%, CP 6.86%, EE 3.21%, NDF 70.89% และ ADF 35.61% เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีระหว่างวัตถุดิบที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ (ตารางที่ 8) กับรายงานของราเชนทร์ และ เอกภพ (2537) และรายงานของจินดา และคณะ (2541) ซึ่งเป็นเศษเหลือประเภทเดียวกันที่ได้จากโรงงานข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง (ตารางที่ 3) พบว่าเปลือกข้าวโพดหวานในงานทดลองนี้มี CP และ ADF ต่ำกว่าแต่มี EE และ NDF สูงกว่ารายงานของจินดา และคณะ (2541) ในขณะที่เมื่อเทียบกับรายงานของราเชนทร์ และ เอกภพ (2537) ให้ผลในทางกลับกัน คือ เปลือกข้าวโพดหวานที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มี CP และ ADF สูงกว่า สำหรับซังข้าวโพดหวานพบว่ามี CP ต่ำกว่าทั้งสองรายงาน โดยมี ADF ใกล้เคียงกับรายงานของราเชนทร์ และ เอกภพ (2537) แต่มีค่าสูงกว่ารายงานของจินดา และคณะ (2541) การที่ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเหลือข้าวโพดหวานมีความแตกต่างกันระหว่างงานทดลองทั้งนี้เกิดจากสายพันธุ์ข้าวโพด การจัดการ สภาพแวดล้อม อายุการเก็บเกี่ยว และกระบวนการของโรงงานที่แตกต่างกันออกไป

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดหวานกับเปลือกไหมข้าวโพดฝักอ่อน (Cheva-Isarakul and Paripattananont, 1988) พบว่าเปลือกข้าวโพดหวานมี DM, NDF และ ADF สูงกว่า แต่มี CP ต่ำกว่า ซึ่งเปลือกไหมข้าวโพดฝักอ่อนมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 13.6, 55.1, 26.8 และ10.6% ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะข้าวโพดฝักอ่อนมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นกว่าจึงทำให้มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่า (จินดา, 2539)

สำหรับเปลือกปนซังข้าวโพดหวานนั้นจะมีองค์ประกอบทางเคมีไม่แตกต่างจากหญ้ารูซี่เท่าใดนัก ฉายแสง (2530 ; อ้างโดย ชูศักดิ์, 2533) รายงานว่าหญ้ารูซี่อายุ 60 วัน มี CP 7.24%, EE 2.59%, NDF 67.79% และ ADF 41.69% และเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Cheva-Isarakul (1990) พบว่า เปลือกปนซังข้าวโพดหวานมี CP ต่ำกว่าต้นข้าวโพดหวานเล็กน้อย (6.59 เทียบกับ 7.2%) แต่มี EE และ NDF สูงกว่า คือ 3.03 เทียบกับ 2.4% และ 70.89 เทียบกับ 60.9% ตามลำดับ และมี ADF ต่ำกว่า (35.61 เทียบกับ 41.3%) นอกจากนี้เปลือกปนซังข้าวโพดหวานเมื่อเทียบกับฟางถั่วเหลืองจะมี CP, EE สูงกว่า และADF ต่ำกว่า ตามรายงานของจินดา และคณะ (2540) ฟางถั่วเหลืองมี CP 6.23% EE 1.27% และADF 41.36% เปลือกปนซังข้าวโพดหวานมีความสดเขียวเนื้ออ่อนนุ่มและมีเยื่อใยต่ำกว่า ดังนั้นน่าจะมีความน่ากินสูงและมีการย่อยได้ที่ดีกว่าฟางถั่วเหลือง

จากการศึกษาเบื้องต้นถึงองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปนซังข้าวโพดหวาน จะเห็นได้ว่าเปลือกปนซังข้าวโพดหวานเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางอาหารสูงเทียบเคียงกับหญ้ารูซี่ ซึ่งเป็นหญ้าที่ใช้ปลูกเลี้ยงโคนมทั่วไป ดังนั้นการนำเปลือกปนซังข้าวโพดหวานมาใช้เป็นอาหารหยาบทดแทนสำหรับเลี้ยงโคนมน่าจะให้ผลดีแก่เกษตรกรในการลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากเปลือกปนซังข้าวโพดหวานมีความชื้นสูงและเกิดการเน่าเสียได้ง่ายซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์ การนำไปใช้จึงควรใช้วัตถุดิบที่สดและใหม่ การนำเปลือกปนซังข้าวโพดหวานมาเก็บถนอมในรูปของพืชหมักน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการเก็บสำรองอาหารไว้ใช้ในยามขาดแคลน

4.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและซังข้าวโพดหวานหลังการปรับวัตถุแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ

เปลือกและซังข้าวโพดหวานที่ผ่านการหั่นด้วยเครื่องหั่นจนได้ขนาดชิ้นประมาณ 3 เซนติเมตร นำมาปรับวัตถุแห้งโดยผสมกับวัตถุดิบต่อไปนี้ คือ ฟางข้าว (HC+RS) หรือฟางถั่วเหลือง (HC+SBS) หรือมันเส้น (HC+Cass) ในอัตรา 14 %น้ำหนักสด หรือปรับวัตถุแห้งโดยนำมาคั้นเอาน้ำออก (HC+Press) และการคั้นน้ำร่วมกับผสมมันเส้นในอัตรา 3 %น้ำหนักสด (HC+Press+Cass) เมื่อนำเปลือกและซังข้าวโพดหวานที่ปรับวัตถุแห้งแล้วมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและซังข้าวโพดหวานที่ไม่ได้ปรับวัตถุแห้ง (HC+0) ที่ปรับวัตถุแห้งด้วยฟางข้าว (HC+RS) ฟางถั่วเหลือง (HC+SBS) มันเส้น (HC+Cass) ปรับวัตถุแห้งโดยการคั้นน้ำ (HC+Press) และ การปรับโดยการคั้นน้ำร่วมกับผสมมันเส้น (HC+Press+Cass)

การปรับวัตถุแห้ง	องค์ประกอบทางเคมี (%ของวัตถุแห้ง)						
	DM	**OM**	**CP**	**EE**	**NDF**	**ADF**	**NFC**
HC+0	21.98	96.90	6.27	2.28	77.32	33.90	11.03
HC+RS	33.81	91.44	5.21	2.02	74.44	41.78	9.77
HC+SBS	32.47	94.92	6.29	2.24	71.56	41.59	14.83
HC+Cass	31.58	96.07	5.23	1.53	58.29	26.79	31.02
HC+Press	28.57	92.27	5.91	2.15	79.28	36.40	9.93
HC+Press+Cass	30.12	97.20	5.54	1.86	76.46	35.90	13.34

จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าการปรับวัตถุแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ ทำให้เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งมีค่าสูงขึ้น คือ จากเดิมเปลือกและซังข้าวโพดหวานที่ไม่ได้ปรับวัตถุแห้ง (HC+0) มีค่าเท่ากับ 21.98% เพิ่มขึ้นเป็น 33.81, 32.47, 31.58, 28.57 และ 30.12% ตามลำดับ การปรับวัตถุแห้งด้วยฟางข้าวและฟางถั่วเหลืองมีผลให้ได้วัตถุแห้งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมี พบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนของพืชกลุ่มที่ปรับวัตถุแห้งมีค่าลดลงยกเว้นกลุ่มที่ปรับวัตถุแห้งด้วยฟางถั่วเหลืองจะมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มที่ไม่ได้ปรับวัตถุแห้ง เปอร์เซ็นต์ไขมันของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันมากนักยกเว้นกลุ่มที่ปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้น (HC+Cass และ HC+Press+Cass) เปอร์เซ็นต์ NDF ของกลุ่ม HC+0 มีค่าสูงถึง 77.32% ซึ่งการปรับวัตถุแห้งโดยคั้นเอาน้ำออกทำให้มีค่า NDF เพิ่มสูงขึ้น คือ 79.28% และเมื่อคั้นน้ำร่วมกับผสมมันเส้นทำให้ NDF ลดลงเหลือ 76.46% กลุ่มที่ปรับวัตถุแห้งด้วยฟางข้าวมี NDF สูงกว่ากลุ่มที่ปรับวัตถุแห้งด้วยฟางถั่วเหลือง ขณะที่กลุ่มที่ปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้นจะมีค่าต่ำที่สุด 58.29% ในทำนองเดียวกันการปรับวัตถุแห้งโดยการการคั้นเอาน้ำออกทำให้มี ADF สูงขึ้นเมื่อเทียบกับ HC+0 และการปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้นทำให้มี ADF ต่ำที่สุด คือ 26.79% เมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรตส่วนที่ไม่ใช่เยื่อใย (NFC) ซึ่งเป็นโภชนะที่ย่อยได้ง่ายและเป็นแหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก พบว่า การปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้นทำให้มีค่า NFC สูงที่สุดอย่างเห็นได้ชัดเจน คือ 31.02% ในขณะที่กลุ่มอื่นมีค่าต่ำกว่า 15%

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและซังข้าวโพดหวานของแต่ละกลุ่มที่แตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการปรับวัตถุแห้งมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน คือ ฟางข้าวมีวัตถุแห้งประมาณ 86.0-97.7%, CP 1.7-4.3%, EE 1.4-2.3%, NDF 74.1-85.6% และ ADF 55.0-63.1% (Cheva-Isarakul and Cheva-Isarakul, 1984, 1986 and 1991 ; Potikanond *et al.*, 1987 ; เจริญ, 2529 และ เสาวลักษณ์, 2541) ฟางถั่วเหลืองมีวัตถุแห้งประมาณ 88.0-93.4%, CP 5.2-6.2%, EE 1.3-3.4%, NDF 55.7-65.0% และ ADF 41.4-55.0% (สมปอง และคณะ, 2537 ; จินดา และคณะ, 2540 และ Bath *et al.*, 1999) ในขณะที่มันเส้นมีวัตถุแห้งประมาณ 88.3-90.9%, CP 1.9-2.9%, EE 0.7-0.8%, NDF 18.7% และ ADF 5.9-6.0% (ชวนิศนดากร, 2534 ; Promma *et al.*, 1992 และ Bath *et al.*, 1999) สำหรับการปรับวัตถุแห้งด้วยวิธีการคั้นน้ำออกจากเปลือกและซังข้าวโพดหวานจะทำให้โปรตีนและ NFC บางส่วนสูญเสียไปกับน้ำที่คั้นออกไปเป็นผลให้มีโภชนะดังกล่าวต่ำกว่าและมีเยื่อใย (NDF และ ADF) สูงกว่า HC+0 ดังนั้นการใช้วัตถุดิบแต่ละชนิดมาปรับวัตถุแห้งจึงควรคำนึงถึงส่วนประกอบของโภชนะด้วย การใช้วัตถุดิบที่มีโภชนะต่ำกว่าวัตถุดิบดั้งต้นแม้ว่าจะทำให้ได้วัตถุแห้งที่เพิ่มขึ้นแต่เปอร์เซ็นต์โภชนะกลับลดลงได้เช่นเดียวกับการคั้นน้ำ

4.1.3 ผลการปรับวัตถุแห้งและการใช้สารเสริมปรุงแต่งต่อการสูญเสียวัตถุแห้งของพืชหมัก

การปรับวัตถุแห้งของเปลือกและซังข้าวโพดหวานด้วยวิธีการต่าง ๆ และการใช้สารเสริมปรุงแต่งตามแผนการทดลอง มีผลต่อการสูญเสียวัตถุแห้งของพืชหมักดังแสดงในตารางที่ 10 เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของพืชหมัก พบว่าการปรับวัตถุแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ มีผลทำให้พืชหมักสูญเสียวัตถุแห้งเพียง 4.61-6.25% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัตถุแห้งค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์เฉลี่ยทั่วไปและต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่มีการปรับวัตถุแห้งโดยไม่ใช้สารเสริมปรุงแต่ง (กลุ่มควบคุม = 11.74%) Weiss (1996) รายงานว่า การหมักพืชภายใต้การจัดการที่เหมาะสมจะมีการสูญเสียวัตถุแห้งประมาณ 10-15% การที่พืชหมักในการศึกษาครั้งนี้มีการสูญเสียวัตถุแห้งน้อยอาจเป็นเพราะทำการหมักพืชในถุงพลาสติกที่ใช้ปั๊มดูดอากาศออกทำให้สามารถควบคุมสภาพไร้ออกซิเจนได้ดีกว่าการหมักพืชในหลุมหมักขนาดใหญ่ (silo) ส่วนผลของการใช้สารเสริมปรุงแต่งพบว่า การปรุงแต่งด้วยสารผสมระหว่างฟอร์มาลินและกรดฟอร์มิก หรือ ฟอร์มาลินเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้พืชหมักสูญเสียวัตถุแห้งน้อยที่สุด คือ 2.57 และ 3.03% ตามลำดับ รองลงมาคือการปรุงแต่งด้วยยูเรียเท่ากับ 5.51% ส่วนการใช้กรดฟอร์มิกปรุงแต่งให้ผลไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมและพบว่าการปรับวัตถุแห้งไม่มีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับการใช้สารเสริมปรุงแต่ง

ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัตถุแห้งของพืชหมักเนื่องจาก การปรับวัตถุแห้งและการใช้สารเสริมปรุงแต่ง

การปรับวัตถุแห้ง	การใช้สารเสริมปรุงแต่ง					ค่าเฉลี่ย
	ควบคุม	กรดฟอร์มิก	ฟอร์มาลิน	ฟอร์มาลินและกรดฟอร์มิก	ยูเรีย	
HC+0	11.74	7.50	2.00	1.72	4.29	**6.02**
HC+RS	9.31	7.34	4.84	3.94	4.81	**6.25**
HC+SBS	5.99	5.31	3.95	2.77	7.01	**5.21**
HC+Cass	9.43	7.52	3.01	1.54	6.87	**5.90**
HC+Press	8.27	7.65	1.95	3.27	5.80	**5.85**
HC+Press+Cass	6.91	7.70	2.24	1.95	3.28	**4.61**
ค่าเฉลี่ย	**8.62^{C}**	**7.11^{C}**	**3.03^{A}**	**2.57^{A}**	**5.51^{B}**	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งหรือแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกัน ($p<0.05$)

4.1.4 ผลการปรับวัตถุแห้งและการใช้สารเสริมปรุงแต่งต่อค่า pH ของพืชหมัก

จากตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าการปรับวัตถุแห้งด้วยฟางถั่วเหลือง (HC+SBS) ทำให้พืชหมักมีค่า pH สูงที่สุด คือ 4.70 ซึ่งต่างจากกลุ่มที่ปรับวัตถุแห้งแบบ HC+Press และ HC+Press+Cass คือ 4.03 และ 4.07 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากกลุ่ม HC+0, HC+RS และ HC+Cass พืชหมักกลุ่มที่มีการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกและกลุ่มควบคุมจะมีค่า pH ต่ำที่สุด คือ 3.98 และ 4.00 ตามลำดับ โดยพบว่าค่า pH ของทั้งสองกลุ่มไม่ต่างกันทางสถิติ ส่วนการใช้ฟอร์มาลินปรุงแต่งเพียงอย่างเดียวนั้นมีผลทำให้ได้พืชหมักมีค่า pH สูงสุด คือ 4.77 แตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ค่า pH ของพืชหมักในกลุ่มที่ปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินผสมกรดฟอร์มิกและยูเรียมีค่าลดต่ำลงมาตามลำดับ การปรับวัตถุแห้งมีปฏิสัมพันธ์กับการใช้สารเสริมปรุงแต่ง

ตารางที่ 11 ค่า pH ของพืชหมักเนื่องจากการปรับวัตถุแห้งและการใช้สารเสริมปรุงแต่ง

การปรับวัตถุแห้ง	การใช้สารเสริมปรุงแต่ง					ค่าเฉลี่ย
	ควบคุม	กรดฟอร์มิก	ฟอร์มาลิน	ฟอร์มาลินและกรดฟอร์มิก	ยูเรีย	
HC+0	4.21	3.97	4.93	4.12	3.88	**4.26^{ABC}**
HC+RS	3.89	3.97	4.93	4.45	3.98	**4.24^{ABC}**
HC+SBS	4.14	4.14	5.10	4.70	5.46	**4.70^{C}**
HC+Cass	3.92	3.95	4.75	4.22	4.06	**4.18^{ABC}**
HC+Press	3.98	3.91	4.43	4.06	3.80	**4.03^{AB}**
HC+Press+Cass	3.91	3.95	4.52	4.10	3.86	**4.07^{AB}**
ค่าเฉลี่ย	**4.00^{A}**	**3.98^{A}**	**4.77^{C}**	**4.28^{B}**	**4.20^{AB}**	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งหรือแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกัน($p<0.05$)

เป็นที่น่าสังเกตว่า พืชหมักกลุ่มที่มีการใช้ยูเรียปรุงแต่งจะมีค่า pH ค่อนข้างต่ำ คือ 3.80-4.06 ยกเว้นกลุ่ม HC+SBS ซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 5.46 ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้ทำการวิเคราะห์หายูเรียที่เหลืออยู่ในพืชหมักกลุ่มต่าง ๆ ที่มีการใช้ยูเรียปรุงแต่ง เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การแตกตัวของยูเรีย พบว่าผลที่ได้สอดคล้องกับค่า pH ของพืชหมัก คือ พืชหมักกลุ่มที่มีค่า pH สูง

(HC+SBS) จะพบว่ามีการแตกตัวของยูเรียสูงที่สุด (73.31%) ซึ่งพืชหมัก HC+0, HC+RS, HC+SBS, HC+Cass, HC+Press และ HC+Press+Cass มีเปอร์เซ็นต์การแตกตัวของยูเรียเท่ากับ 17.20, 24.80, 73.31, 22.68, 16.70 และ 15.35% ตามลำดับ การที่ยูเรียมีการแตกตัวได้ดีเป็นผลให้มีปริมาณก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ซึ่งก๊าซแอมโมเนียมีคุณสมบัติเป็นด่างจึงมีผลทำให้ค่า pH ของพืชหมักสูงขึ้น

4.1.5 ผลการปรับวัตถุแห้งและการใช้สารเสริมปรุงแต่งต่อการเกิดก๊าซแอมโมเนียในพืชหมัก

ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ที่เกิดขึ้นในพืชหมักได้มาจากการสลายตัวของโปรตีนและกรดอะมิโนของพืชซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ในพืชและจุลินทรีย์ ดังนั้นปริมาณก๊าซแอมโมเนียในพืชหมักสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ได้ว่ามีการสลายตัวของโปรตีนและกรดอะมิโนมากน้อยเพียงใด ผลของการปรับวัตถุแห้งและการใช้สารเสริมปรุงแต่งต่อเปอร์เซ็นต์ก๊าซแอมโมเนียในพืชหมักแสดงดังตารางที่ 12 พบว่า การปรับวัตถุแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ ไม่มีผลต่อการเกิดก๊าซแอมโมเนียในพืชหมัก ยกเว้นการปรับวัตถุแห้งด้วยฟางถั่วเหลือง (HC+SBS) มีก๊าซแอมโมเนียสูงที่สุด (0.379%) แตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ตารางที่ 12 เปอร์เซ็นต์แอมโมเนียในพืชหมักเนื่องจากการปรับวัตถุแห้งและการใช้สารเสริมปรุงแต่ง

การปรับวัตถุแห้ง	การใช้สารเสริมปรุงแต่ง					ค่าเฉลี่ย
	ควบคุม	กรดฟอร์มิก	ฟอร์มาลิน	ฟอร์มาลินและกรดฟอร์มิก	ยูเรีย	
	(% ของวัตถุแห้ง)					
HC+0	0.150	0.115	0.052	0.052	0.271	**0.117^{B}**
HC+RS	0.090	0.072	0.039	0.035	0.212	**0.089^{B}**
HC+SBS	0.134	0.102	0.061	0.054	1.490	**0.379^{A}**
HC+Cass	0.138	0.090	0.050	0.048	0.315	**0.128^{B}**
HC+Press	0.116	0.080	0.039	0.038	0.186	**0.092^{B}**
HC+Press+Cass	0.107	0.076	0.040	0.041	0.172	**0.087^{B}**
ค่าเฉลี่ย	**0.123^{B}**	**0.089^{B}**	**0.047^{A}**	**0.045^{A}**	**0.441^{C}**	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งหรือแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกัน ($p<0.05$)

ส่วนการใช้สารเสริมปรุงแต่งมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ก๊าซแอมโมเนียในพืชหมัก ($P<0.05$) โดยพบว่า การปรุงแต่งด้วยสารผสมระหว่างฟอร์มาลินและกรดฟอร์มิก หรือฟอร์มาลินเพียงอย่างเดียว ทำให้พืชหมักมี $\%NH_3$ ต่ำที่สุด คือ0.045 และ 0.047%DM ตามลำดับ แตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) การปรุงแต่งด้วยยูเรียทำให้พืชหมักมี $\%NH_3$ สูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มควบคุมและการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก ตามลำดับ และพบว่าการปรับวัตถุแห้งมีปฏิสัมพันธ์กับการใช้สารเสริมปรุงแต่ง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การปรับวัตถุแห้งมีผลทำให้สามารถลดการสูญเสียของของเหลวที่ไหลออกจากพืชหมักได้ (effluent losses) ส่วนการใช้สารเสริมปรุงแต่งนั้น พบว่าฟอร์มาลินมีผลต่อการยับยั้งกระบวนการหมักและการสลายโปรตีนในพืชหมัก (proteolysis) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Brown and Valentine (1972), Valentine and Brown (1973) และ Siddons *et al.* (1979) โดยสังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัตถุแห้งของพืชหมักที่ลดลง เปอร์เซ็นต์ก๊าซแอมโมเนียที่น้อยกว่า และค่า pH ที่สูงกว่าพืชหมักกลุ่มอื่น การที่พืชหมักในกลุ่มที่มีการใช้สารฟอร์มาลินปรุงแต่งมีค่า pH สูงเป็นดัชนีบ่งบอกได้ว่าการใช้สารปรุงแต่งดังกล่าวมีผลในการยับยั้งหรือลดกิจกรรมของจุลินทรีย์จึงทำให้พืชหมักเกิดกรด (acidity) ขึ้นน้อยเป็นผลให้มีค่า pH สูง ส่วนการใช้กรดฟอร์มิกพบว่าไม่สามารถยับยั้งกระบวนการหมักและการสลายโปรตีนในพืชหมักได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งขัดแย้งกับรายงานของ Waldo *et al.* (1971) ที่รายงานว่าการใช้กรดฟอร์มิกสามารถยับยั้งกระบวนการหมักได้ และ Carpintero *et al.* (1979) ที่รายงานว่าการใช้กรดฟอร์มิกสามารถลดการสลายโปรตีนในพืชหมักได้ การที่เป็นเช่นนี้น่าจะเนื่องมาจากอัตราการใช้กรดฟอร์มิก (2.8 กรัม/กิโลกรัมพืชสด) ในการศึกษาครั้งนี้ไม่เพียงพอที่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ การปรุงแต่งด้วยยูเรียสามารถลดการสูญเสียวัตถุแห้งของพืชหมักได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียมากที่สุดเนื่องจากยูเรียบางส่วนมีการแตกตัวเป็นก๊าซแอมโมเนีย

เมื่อพิจารณาถึงวิธีการปรับวัตถุแห้งและการใช้สารเสริมปรุงแต่งที่เหมาะสมในการหมักเปลือกและซังข้าวโพดหวานแล้ว พบว่าการปรับวัตถุแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ ไม่มีผลต่อการสูญเสียวัตถุแห้ง ค่าpH และก๊าซแอมโมเนียของพืชหมัก ยกเว้นการปรับวัตถุแห้งด้วยฟางถั่วเหลือง (HC+SBS) ที่มีค่า pH และก๊าซแอมโมเนียที่สูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ การปรับวัตถุแห้งด้วยฟางข้าวเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากการใช้ฟางข้าวทำให้โภชนะลดลงและมีเยื่อใยเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับ HC+0 ส่วนการปรับวัตถุแห้งด้วยวิธีการคั้นน้ำโดยใช้เครื่องไฮดรอลิกขนาดเล็กพบว่ามีการสูญเสียโภชนะบางส่วนไปกับน้ำที่คั้นออกไปทำให้มีโภชนะลดลงแต่เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นพบว่าการคั้นน้ำเป็นวิธีการที่น่าสนใจอีกวิธีการหนึ่งแต่ทั้งนี้ต้องมี

การพัฒนารูปแบบของเครื่องที่ใช้ให้เหมาะสมกับการใช้ในภาคสนาม สำหรับการปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้นแม้ว่าจะทำให้เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนลดลงก็ตามแต่ทำให้มีเยื่อใยต่ำลงมากและมี NFC สูง ซึ่ง NFC จะเป็นแหล่งพลังงานให้แก่ตัวสัตว์และยังเป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักอีกด้วย ส่วนการใช้สารเสริมปรุงแต่ง พบว่าการใช้ฟอร์มาลิน หรือ ฟอร์มาลินผสมกรดฟอร์มิก สามารถยับยั้งกระบวนการหมักและการสลายโปรตีนในพืชหมักได้ ซึ่งสังเกตได้จากการสูญเสียวัตถุแห้งและการเกิดก๊าซแอมโมเนียที่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น การใช้ฟอร์มาลินผสมกรดฟอร์มิกจะมีข้อยุ่งยากและมีต้นทุนสูงกว่าการใช้ฟอร์มาลินเพียงอย่างเดียว ดังนั้นวิธีการปรับวัตถุแห้งของเปลือกและซังข้าวโพดหวานด้วยมันเส้นและปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ศึกษาในการทดลองที่ 2 ต่อไป

4.2 การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบการใช้มันเส้นและรำข้าวสกัดน้ำมันปรับวัตถุแห้งในการหมักเปลือกและซังข้าวโพดหวาน โดยไม่ใช้และใช้ฟอร์มาลินปรุงแต่ง

จากผลการทดลองที่ 1 พบว่า การปรับวัตถุแห้งของเปลือกและซังข้าวโพดหวานด้วยมันเส้นและปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินให้ผลการหมักที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในแง่ปริมาณโปรตีนของพืชหมักแล้ว พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ คือ 5.23% ของวัตถุแห้งเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองใช้วัสดุที่สามารถดูดความชื้นและเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายเพื่อเอื้อให้เกิดสภาพการหมักที่เหมาะสม แต่มีโปรตีนในระดับสูงพอควรเพื่อช่วยยกระดับโปรตีนในพืชหมักให้สูงขึ้น วัสดุดังกล่าว คือ รำข้าวสกัดน้ำมัน (deoil rice bran, DRB) การทดลองนี้จึงได้ศึกษาการใช้รำข้าวสกัดน้ำมันเปรียบเทียบกับมันเส้นเพื่อปรับวัตถุแห้ง โดยไม่ใช้หรือใช้ฟอร์มาลินปรุงแต่งตามแผนการทดลอง

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของพืชก่อนและหลังทำการหมัก

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและซังข้าวโพดหวานที่ปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้นโดยไม่ใช้ (Cass+0) หรือใช้ฟอร์มาลินปรุงแต่ง (Cass+F) และที่ปรับวัตถุแห้งด้วยรำข้าวสกัดน้ำมันทั้งที่ไม่ใช้ (DRB+0) หรือใช้ฟอร์มาลินปรุงแต่ง (DRB+F) แสดงดังตารางที่ 13

จากตารางที่ 13 จะเห็นได้ว่าการปรับวัตถุแห้งของเปลือกและซังข้าวโพดหวานด้วยมันเส้นหรือรำข้าวสกัดน้ำมันในอัตรา 14 %น้ำหนักสด จะทำให้ได้ปริมาณวัตถุแห้งของพืชเท่ากับ 32.08-34.27% เปลือกและซังข้าวโพดหวานปรับวัตถุแห้งด้วยรำข้าวสกัดน้ำมันมีปริมาณโปรตีน ไขมันและเยื่อใยสูงกว่า แต่มี NFC ต่ำกว่าที่ปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้น ทั้งนี้เป็นผลจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวสกัดน้ำมันและมันเส้น ซึ่งรำข้าวสกัดน้ำมันมีโปรตีน

14.3-15.9% ไขมัน 3.1-3.4% และ ADF 17% (ชวนิศนดากร, 2534 และ Bath *et al.*, 1999) ขณะที่มันเส้นมีโปรตีน 1.9-2.9% ไขมัน 0.7-0.8% และ ADF 5.9-6.0% (ชวนิศนดากร, 2534 ; Promma *et al.*, 1992 และ Bath *et al.*, 1999)

ตารางที่ 13 องค์ประกอบทางเคมีตัวอย่างพืชก่อนทำการหมักของกลุ่มทดลองต่าง ๆ (%ของวัตถุแห้ง)

องค์ประกอบทางเคมี	เปลือกปนซังข้าวโพดหวาน+มันเส้น		เปลือกปนซังข้าวโพดหวาน+รำสกัดน้ำมัน	
	ไม่ปรุงแต่ง (Cass+0)	ปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลิน (Cass+F)	ไม่ปรุงแต่ง (DRB+0)	ปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลิน (DRB+F)
DM	32.08	32.50	34.27	33.99
OM	95.66	95.98	92.64	92.92
CP	5.83	5.89	10.91	10.81
EE	2.24	2.06	3.01	2.86
NDF	55.35	53.41	57.84	59.37
ADF	25.31	23.41	25.75	25.16
NFC	32.24	34.62	20.88	19.88

ตารางที่ 14 องค์ประกอบทางเคมีตัวอย่างพืชหมักของกลุ่มทดลองต่าง ๆ (% ของวัตถุแห้ง)

องค์ประกอบทางเคมี	เปลือกปนซังข้าวโพดหวาน+มันเส้น		เปลือกปนซังข้าวโพดหวาน+รำสกัดน้ำมัน	
	ไม่ปรุงแต่ง (Cass+0)	ปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลิน (Cass+F)	ไม่ปรุงแต่ง (DRB+0)	ปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลิน (DRB+F)
DM	30.41	30.41	31.21	31.26
OM	95.17	95.85	92.72	92.11
CP	6.40	6.20	11.14	11.27
EE	2.33	1.69	3.13	2.82
NDF	51.96	51.77	54.88	57.66
ADF	25.79	25.15	27.01	27.54
NFC	34.48	36.19	23.57	20.36

หลังจากหมักพืชในถุงพลาสติกเป็นเวลา 30 วัน ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพืชหมักทั้ง 4 กลุ่ม ดังแสดงผลไว้ในตารางที่ 14 พบว่า พืชหมักมีการสูญเสียวัตถุแห้งไปเพียงเล็กน้อย การปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของพืชหมักต่างจากกลุ่มที่ไม่ปรุงแต่ง ส่วนการใช้รำข้าวสกัดน้ำมันปรับวัตถุแห้งทำให้พืชหมักมีโปรตีน, ไขมัน และเยื่อใยสูงกว่าการใช้มันเส้นเช่นเดียวกับในระยะก่อนหมัก (ตารางที่ 13)

4.2.2 ผลของการปรับวัตถุแห้งและการปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินต่อกระบวนการหมัก

ค่า pH, แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N), กรดอะซิติก, กรดแลคติก, ผลรวมของกรดทั้งสอง (total acid) และปริมาณวัตถุแห้งของพืชหมักกลุ่มต่าง ๆ ที่แกะกินได้ (DMI) แสดงไว้ในตารางที่ 15 พบว่าการปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้น (Cass) ทำให้พืชหมักที่ได้มีค่า pH, กรดแลคติก และ total acid ต่ำกว่า และมี %NH_3-N ต่อเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าการปรับด้วยรำข้าวสกัดน้ำมัน (DRB) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) การปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้นทำให้เกิดกรดอะซิติกสูงกว่าแต่ไม่แตกต่างทางสถิติ สาเหตุที่พืชหมักที่ได้จากการปรับวัตถุแห้งด้วยรำข้าวสกัดน้ำมันมีค่า pH สูงกว่าทั้ง ๆ ที่มีเปอร์เซ็นต์กรดมากกว่า น่าจะเป็นผลมาจากการปรับวัตถุแห้งด้วยรำข้าวสกัดน้ำมันทำให้โปรตีนในพืชหมักมีค่าสูงขึ้น (11.21%DM) ซึ่งโปรตีนมีคุณสมบัติเป็นสารบัฟเฟอร์จึงทำให้พืชหมักมีค่า buffering capacity สูงกว่าเป็นผลให้ pH ของพืชหมักมีค่าสูงตามไปด้วย สำหรับค่า %NH_3-N ที่แสดงในตารางนั้นเมื่อคิดเทียบเป็นปริมาณก๊าซแอมโมเนียที่มีอยู่ในพืชหมัก พบว่าการปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้นและรำข้าวสกัดน้ำมันมีค่าไม่แตกต่างกัน คือ 0.132% และ 0.133%ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ การใช้ฟอร์มาลินปรุงแต่งทำให้พืชหมักมี pH สูงกว่าและมีการสลายตัวของโปรตีนซึ่งวัดในรูปของ NH_3-N ที่เกิดขึ้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดและการสร้างกรดอินทรีย์น้อยกว่าการไม่ใช้ฟอร์มาลินอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Brown and Valentine (1972) และ Valentine and Brown (1973) ที่รายงานว่า การปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินสามารถยับยั้งกระบวนการหมักและการย่อยสลายโปรตีนในพืชหมักได้ ทำให้พืชหมักมีปริมาณกรดอินทรีย์และก๊าซแอมโมเนียต่ำกว่าที่ไม่ได้ปรุงแต่ง แสดงว่าการปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินช่วยให้คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในพืชหมักถูกทำลายโดยจุลินทรีย์น้อยลง เหลือส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์มากขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพืชหมักทั้ง 4 กลุ่ม พบว่าการปรับวัตถุแห้งด้วยรำข้าวสกัดน้ำมันโดยไม่ใช้ฟอร์มาลินปรุงแต่ง (DRB+0) ทำให้พืชหมักมีค่า pH ต่ำที่สุด (3.92) มีปริมาณกรดแลคติกสูงที่สุด (9.27%DM) และสามารถลดการสลายโปรตีนในพืชหมักได้เมื่อเปรียบเทียบกับการปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้นโดยไม่ใช้ฟอร์มาลินปรุงแต่ง (Cass+0) การปรับวัตถุแห้งด้วยรำข้าวสกัดน้ำมันร่วมกับ

การปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลิน (DRB+F) ทำให้พืชหมักมีค่า pH สูงที่สุด (4.98) มี NH_3-N และการสร้างกรดอะซิกติกและแลคติกต่ำที่สุด ($P<0.05$) แสดงให้เห็นว่า DRB+F มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกระบวนการหมักและการสลายตัวของโปรตีนในพืชหมักได้ดีที่สุด

ตารางที่ 15 ผลของการใช้มันเส้น (Cass) หรือรำข้าวสกัดน้ำมัน (DRB) ในการปรับวัตถุแห้งและการใช้ฟอร์มาลินต่อคุณภาพของพืชหมัก

	กลุ่มทดลอง				การปรับวัตถุแห้ง[1/]		สารปรุงแต่ง[2/]	
	Cass+0	Cass+F	DRB+0	DRB+F	Cass	DRB	+0	+F
pH	4.03^{b}	4.54^{c}	3.92^{a}	4.98^{d}	4.28^{A}	4.45^{B}	3.97^{x}	4.76^{y}
NH_3-N (%total-N)	14.28^{d}	7.20^{b}	8.43^{c}	3.87^{a}	10.74^{B}	6.15^{A}	11.36^{y}	5.53^{x}
NH_3 [3/]	0.176	0.086	0.182	0.084	0.132	0.133	0.179	0.085
acetic acid [3/]	2.51^{b}	0.81^{a}	2.11^{b}	1.01^{a}	1.66^{A}	1.56^{A}	2.31^{y}	0.91^{x}
lactic acid [3/]	5.81^{b}	1.66^{a}	9.27^{c}	2.16^{a}	3.74^{A}	5.72^{B}	7.54^{y}	1.91^{x}
total acid [3/]	8.32^{b}	2.47^{a}	11.38^{c}	3.17^{a}	5.40^{A}	7.28^{B}	9.85^{y}	2.82^{x}
DMI(g/kg $BW.^{0.75}$)	41.27	45.87	36.30	52.81	43.57^{A}	42.90^{A}	38.78^{x}	48.64^{y}

หมายเหตุ : [1/] Cass คือ การปรับวัตถุแห้งด้วยมันเส้น, DRB คือ การปรับวัตถุแห้งด้วยรำข้าวสกัดน้ำมัน
[2/] +0 คือ ไม่ใช้ฟอร์มาลิน, +F คือ ใช้ฟอร์มาลิน [3/] มีหน่วยเป็น % DM
ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีอักษรกำกับต่างกัน (a-d หรือ A, B หรือ x, y) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

4.2.3 ปริมาณการกินอาหารทดลองของแกะ

การใช้มันเส้น (Cass) หรือรำข้าวสกัดน้ำมัน (DRB) ผสมลงในเปลือกและซังข้าวโพดหวานเพื่อปรับวัตถุแห้งของพืชหมักให้สูงขึ้นมีผลทำให้แกะกินพืชหมักคิดเป็นวัตถุแห้ง (DMI) ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) คือ กินได้ 43.57 และ 42.90 กรัม/นน.$^{0.75}$ แต่การปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินมีผลทำให้แกะกินพืชหมักได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 48.64 เทียบกับ 38.78 กรัม/นน.$^{0.75}$ ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ใช้รำข้าวสกัดน้ำมันปรับวัตถุแห้งและปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลิน (DRB+F) แกะกินได้มากที่สุด 52.81 กรัม/นน.$^{0.75}$ Valentine and Brown (1973) และ Barry (1975 ; อ้างโดย McDonald *et al.*, 1991) ซึ่งได้ทดลองกับแกะ และ Valentine and Radcliffe (1975) ที่ได้ทดลองกับโคให้นม รายงานไว้เช่นกันว่า การที่สัตว์กินพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วย

ฟอร์มาลินได้เพิ่มขึ้นน่าจะมีสาเหตุมาจากพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินนั้นจะมีปริมาณกรดอินทรีย์และก๊าซแอมโมเนียในปริมาณต่ำกว่าพืชหมักที่ไม่ได้ปรุงแต่ง ซึ่ง McLeod *et al.* (1970) รายงานว่าปริมาณกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักเป็นปัจจัยหนึ่งที่ลดปริมาณการกินได้ของพืชหมัก และ Wilkins *et al.* (1971) รายงานว่าปริมาณการกินได้ของพืชหมักจะมีสหสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณกรดอะซิติกและก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในพืชหมัก

นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการปรับวัตถุแห้งมีปฏิสัมพันธ์กับการใช้สารเสริมปรุงแต่งกับค่า pH กรดอินทรีย์และแอมโมเนียไนโตรเจนในพืชหมัก แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อปริมาณพืชหมักที่กินได้

4.3 การทดลองที่ 3 ปริมาณการกิน การย่อยได้ และพลังงานของเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักในโคนม

จากผลการทดลองที่ 2 ก่อนหน้านี้ พบว่าการปรับวัตถุแห้งของเปลือกและซังข้าวโพดหวานด้วยรำข้าวสกัดน้ำมันในอัตรา 14 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด ทำให้พืชหมักที่ได้มีวัตถุแห้งที่เหมาะสม (~30%) มีปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้น (~11%) และสามารถลดการสูญเสียโปรตีนในรูปของก๊าซแอมโมเนียได้ และพบว่าการปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินในอัตรา 4.38 กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด สามารถลดกระบวนการหมัก การสลายตัวของโปรตีน และยังทำให้ปริมาณการกินได้ของพืชหมักในแกะเพิ่มขึ้นอีกด้วย เนื่องจากรำข้าวสกัดน้ำมันเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่หาได้ค่อนข้างลำบาก โดยเฉพาะในระดับเกษตรกร จึงได้เลือกวัตถุดิบที่หาได้ทั่วไปในท้องถิ่น คือ รำข้าวที่ไม่ผ่านการสกัดน้ำมันซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงกว่า (15.1% เทียบกับ 3.4%) และมีโปรตีนต่ำกว่ารำข้าวสกัดน้ำมันเพียงเล็กน้อย คือ 14.4% เทียบกับ 15.9% แต่มีเยื่อใย (CF) และ ADF ใกล้เคียงกัน (Bath *et al.*, 1999) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงปรับวัตถุแห้งของเปลือกและ ซังข้าวโพดหวานด้วยรำข้าวที่ไม่ผ่านการสกัดน้ำมันและปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินก่อนทำการหมัก เพื่อศึกษาถึงการย่อยได้ของโภชนะและพลังงานของพืชหมักในโค นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงการย่อยได้โดยใช้ถุงไนลอน (*in sacco*) และการย่อยได้แบบ *in vitro* โดยวิธี Gas production

4.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักปรับวัตถุแห้งด้วยรำข้าวและปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลิน (พืชหมัก HC+RB)

พืชหมัก HC+RB ที่หมักในถุงพลาสติกเป็นเวลา 40 วัน หลังจากเปิดถุงพบว่ามีเชื้อราขึ้นเพียงเล็กน้อยที่บริเวณผิวหน้าและมีกลิ่นของกรดเพียงเล็กน้อย ส่วนฟอร์มาลินนั้นมีกลิ่นจางมาก ซึ่งจะพบกลิ่นฟอร์มาลินเฉพาะตัวอย่างที่เก็บมาจากส่วนกลางของถุงหมักเท่านั้นลักษณะโครงสร้างภายนอกของพืชหมักที่ศึกษานี้พบว่า มีลักษณะปกติ ไม่เปื่อยยุ่ย หรือมีเมือกเกิดขึ้น

ส่วนองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 16 พบว่า พืชหมัก HC+RB มีวัตถุแห้ง 28.34%, โปรตีน 10.91%, ไขมัน 11.71%, NDF 57.95%, ADF 28.87% และค่าพลังงานรวม (GE) เท่ากับ 4.84 Mcal/kgDM

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของวัตถุแห้ง) ของพืชหมัก HC+RB

องค์ประกอบทางเคมี	%ของวัตถุแห้ง	องค์ประกอบทางเคมี	%ของวัตถุแห้ง
DM	28.34	**ADF**	28.87
OM	92.85	**ADL**	5.66
CP	10.91	**Cellulose**	23.21
EE	11.71	**Hemicellulose**	29.08
Ash	7.15	**NFC**	12.28
NDF	57.95	**GE (Mcal/kgDM)**	4.84

4.3.2 การกินพืชหมัก HC+RB ของโคทดลอง

โคทดลองกินพืชหมัก HC+RB ได้ปริมาณวัตถุแห้งเฉลี่ยวันละ 4.13 กิโลกรัม หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวเท่ากับ 0.91% หรือ 41.81 g/kg$W^{0.75}$ ซึ่งเป็นปริมาณค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับรายงานอื่น เช่น Jaster *et al.* (1983) รายงานว่าโคนมสาว (Heifers) สามารถกินเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมัก (sweet corn residue) ได้ถึง 1.5% ของน้ำหนักตัว อาจจะมีสาเหตุจากอาหารทดลอง HC+RB มีเปอร์เซ็นต์ไขมันค่อนข้างสูง (11.71%) ซึ่งบุญล้อม (2532) รายงานว่าอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีไขมันสูงเกิน 5-7% จะทำให้สัตว์กินอาหารได้ลดลงและทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักผิดปกติได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของเสาวลักษณ์และคณะ (2543) ซึ่งได้ทดลองกับแม่โคท้องว่างนมแห้งที่ได้รับต้นข้าวโพดหวานหลังเก็บฝักหมัก พบว่า มีปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าเท่ากับ 0.97% ของน้ำหนักตัว แต่ทั้งนี้ก็ยังถือว่ามีปริมาณการกินได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

4.3.3 การย่อยได้ของโภชนะ และพลังงานของพืชหมัก HC+RB

การทดลองให้โคกินพืชหมัก HC+RB เป็นอาหารเดี่ยวได้ค่าการย่อยได้ของโภชนะและค่าพลังงานในรูปของ TDN และ DE ตลอดจนค่าสมดุลไนโตรเจนของสัตว์ทดลอง ดังแสดงใน

ตารางที่ 17 จะเห็นได้ว่าพืชหมัก HC+RB มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งเฉลี่ย 58.50% ใกล้เคียงกับของเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมัก (sweet corn residue) ที่ Jaster *et al.* (1983) ได้รายงานไว้ (59.1%) แต่มีค่าต่ำกว่าค่าการย่อยได้ของต้นข้าวโพดหวานหลังเก็บฝักหมัก (65.5%) ซึ่งรายงานโดยเสาวลักษณ์ และคณะ (2543) ทั้ง ๆ ที่พืชหมักของทั้งสอง รายงานดังกล่าวมีเยื่อใย (NDF และ ADF) สูงกว่าพืชหมักที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากฟอร์มาลินทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งต่ำกว่าที่ควรจะเป็น Brown and Valentine (1972) พบว่าการใช้ฟอร์มาลินหมักถั่ว lucerne ทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในแกะลดลง และ Valentine and Radcliffe (1975) รายงานเช่นกันว่าในการศึกษาค่าการย่อยได้ในห้องทดลอง (*in vitro* digestibility) หญ้าและถั่ว clover ที่หมักพร้อมกับฟอร์มาลินมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งลดลง พืชหมัก HC+RB มีเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของไขมันสูงมาก คือ 84.68% ส่งผลให้มีค่าพลังงาน TDN สูงตามไปด้วย คือ 71.31% ซึ่งค่าการย่อยได้ของไขมันที่ค่อนข้างสูงนี้ก็พบในรายงานของเสาวลักษณ์ และคณะ (2543) เช่นเดียวกัน คือ 80.2% ค่าการย่อยได้ของ NDF และADF ในการศึกษานี้เท่ากับ 58.97 และ 51.30% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับข้าวโพดหมัก (corn silage) ที่ Jaster *et al.* (1983) รายงาน คือ มีค่าเท่ากับ 59.8 และ52.2% ตามลำดับ

ตารางที่ 17 ค่าการย่อยได้ของโภชนะ ค่าพลังงาน และสมดุลไนโตรเจนของพืชหมัก HC+RB ในโค

โภชนะ	%การย่อยได้	โภชนะ	%การย่อยได้
DM	58.50	**NFC**	70.68
OM	63.45	**Energy**	63.09
CP	56.26	**TDN (%)**	71.31
EE	84.68	**DE (Mcal/kgDM)**	3.05
NDF	58.97	**N-balance (g/day)**	-0.53
ADF	51.30		

พืชหมัก HC+RB มีค่าการย่อยได้ของพลังงานสูงถึง 63.09% ทำให้มีค่าพลังงาน DE เท่ากับ 3.05 Mcal/kgDM โคทดลองได้รับโปรตีนจากพืชหมัก HC+RB เฉลี่ยเท่ากับ 403.07 กรัม/วัน สูงกว่าความต้องการเพื่อการดำรงชีพของโคนมไม่ได้อุ้มท้องน้ำหนัก 450-500 กิโลกรัม ที่ NRC (1988)

ได้รายงานไว้ว่าต้องการโปรตีนประมาณ 341-364 กรัม/วัน และเมื่อพิจารณาถึงค่าสมดุลไนโตรเจนของโคทดลองพบว่ามีค่าติดลบเพียงเล็กน้อย (-0.53 กรัม/วัน) ซึ่งถือได้ว่าโคได้รับโปรตีนเพียงพอต่อความต้องการ ถึงแม้ว่าจะกินพืชหมักได้เพียง 0.91%น้ำหนักตัวก็ตาม

4.3.4 การประเมินค่าพลังงาน DE, ME และNEL ของพืชหมัก HC+RB

เมื่อนำค่า TDN ที่คำนวณได้จากค่าการย่อยได้ของสัตว์ทดลองมาประเมินค่าพลังงาน DE, ME และ NEL และนำค่าพลังงาน DE ที่ได้จากการหาค่าการย่อยได้มาประเมินค่าพลังงาน ME และ NEL ตามสมการของ NRC (1988) ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 18

การคำนวณค่าพลังงานย่อยได้ (DE) พลังงานเมแทบอไลท์ (ME) และ พลังงานสุทธิสำหรับการให้นม (NEL) จากค่าพลังงาน TDN ที่คำนวณได้จากค่าการย่อยได้ของสัตว์ทดลอง โดยใช้สูตรที่เสนอโดย NRC (1988) ดังต่อไปนี้

DE (Mcal/Kg of DM) = **0.04409 x TDN (%)**

ME*(Mcal/Kg of DM) = **-0.45 + 0.0445309 x TDN (%)**

NEL (Mcal/Kg of DM) = **0.0245 x TDN (%) – 0.12**

และ คำนวณค่า ME และ NEL จากค่าพลังงาน DE ที่ได้จากการหาค่าการย่อยได้ โดยใช้สูตร

ME(Mcal/Kg of DM) = **-0.45 + 1.01 DE**

NEL*(Mcal/Kg of DM) = **0.5557 x DE – 0.12**

หมายเหตุ : * คือ สูตรที่ดัดแปลงจาก NRC (1988)

จากตารางที่ 18 จะเห็นได้ว่า พลังงาน ME และNEL ที่คำนวณจาก DE (2.63 และ 1.57 Mcal/kgDM ตามลำดับ) มีค่าต่ำกว่าที่คำนวณจาก TDN (2.73 และ 1.63 Mcal/kgDM ตามลำดับ) และค่า DE ที่คำนวณจากค่า TDN (3.14Mcal/kgDM) มีค่าสูงกว่าค่า DE ที่ได้จากสัตว์ (3.05 Mcal/kgDM) ผลที่ได้ลักษณะเช่นนี้ปรากฏในรายงานอื่นเช่นกัน ดังเช่นของเสาวลักษณ์ (2542) ซึ่งศึกษาในฟางข้าวและของ ไกรสิทธิ (2543) ในต้นอ้อยสับตากแห้ง ในการศึกษานี้เมื่อนำค่าพลังงานที่ได้จาก 2 วิธีมาหาค่าเฉลี่ย พบว่าพืชหมัก HC+RB มีค่าพลังงาน DE, ME และNEL

เท่ากับ 3.10, 2.68 และ1.60 Mcal/kgDM ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับของต้นข้าวโพดหวานหลังเก็บฝักหมัก (เสาวลักษณ์ และคณะ, 2543) ที่มีค่าเท่ากับ 3.09, 2.67 และ1.60 Mcal/kgDM ตามลำดับ

ตารางที่ 18 ค่าพลังงาน TDN และ DE จากการทดลองกับโค และค่าพลังงาน DE ME และ NEL จากการคำนวณ

ค่าพลังงาน (Mcal/kgDM)	ทดลองกับโค	คำนวณจาก		ค่าเฉลี่ย
		TDN	DE	
TDN (%)	71.31	-	-	-
DE	3.05	3.14	-	3.10
ME	-	2.73	2.63	2.68
NEL	-	1.63	1.57	1.60

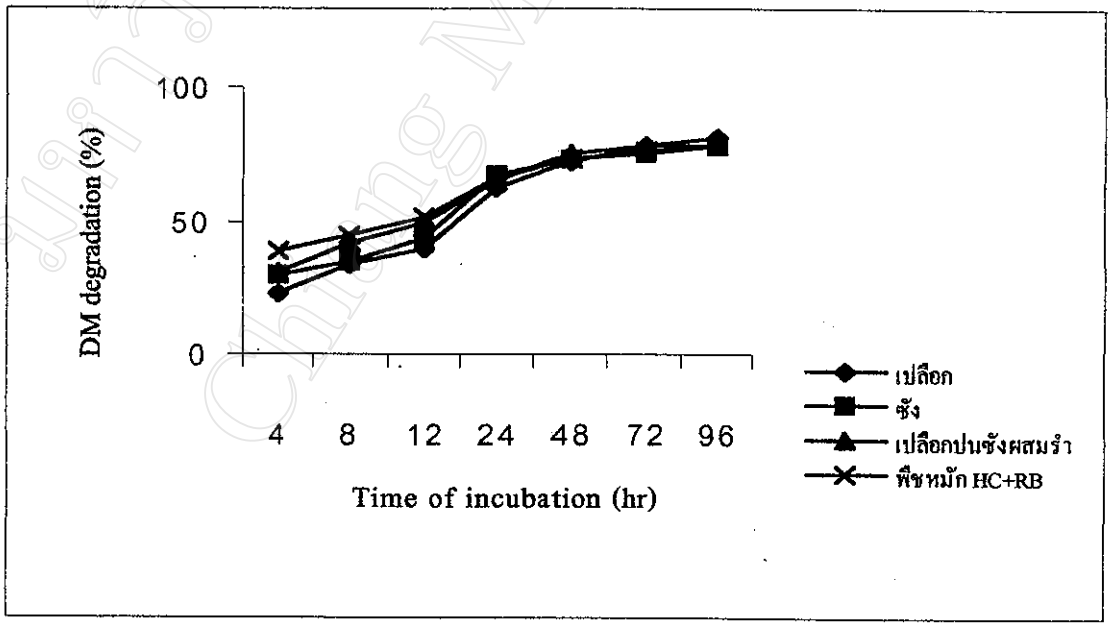
4.3.5 ลักษณะการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนของเปลือก ซัง เปลือกปนซังข้าวโพดผสมรำ และพืชหมัก HC+RB

การศึกษาลักษณะการย่อยสลายวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมน กระทำโดยใช้เทคนิคถุงไนลอน อาหารทดลองได้แก่ เปลือกข้าวโพดหวาน ซังข้าวโพดหวาน และเปลือกปนซังข้าวโพดหวานผสมรำ รวมทั้งพืชหมัก HC+RB บรรจุในถุงไนลอนแล้วหย่อนลงในกระเพาะรูเมน โดยให้มีระยะแช่นาน 4, 8, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 19 และ 20

ตารางที่ 19 ค่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งที่หายไปที่ชั่วโมงต่าง ๆ วัดโดยใช้เทคนิคถุงไนลอน

วัตถุดิบ	ระยะเวลาในการหย่อน (ชั่วโมง)						
	4	8	12	24	48	72	96
เปลือกข้าวโพดหวาน	22.4	33.3	39.5	62.8	72.6	78.4	81.4
ซังข้าวโพดหวาน	29.9	34.6	43.8	67.1	72.8	75.1	78.3
เปลือกปนซังข้าวโพดผสมรำ	30.8	41.5	49.8	65.1	75.6	78.0	78.5
พืชหมัก HC+RB	38.4	44.3	51.5	66.5	73.2	76.2	78.4

การสลายตัววัตถุแห้งของอาหารทั้ง 4 ชนิด เปรียบเทียบที่ระยะเช่นานต่าง ๆ กัน จะเห็นได้ว่าช่วง 48 ชั่วโมงแรกค่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งที่หายไปเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 3) หลังจากนั้นจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ซังข้าวโพดหวานจะมีค่าการสลายตัวของวัตถุแห้งมากกว่าเปลือกข้าวโพดในช่วง 24 ชั่วโมงแรก แต่หลังจาก 48 ชั่วโมงเป็นต้นไปเปลือกข้าวโพดหวานจะมีค่าการสลายตัวของวัตถุแห้งสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากซังข้าวโพดหวานมีโภชนะส่วนที่ละลายได้ทันทีหรือย่อยได้ง่าย (A) สูงกว่า คือ 24.0% เทียบกับ 18.0% ซึ่งสอดคล้องกับค่า NFC (18.47% เทียบกับ 11.73%) ในขณะที่หลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้วจะเกิดการย่อยสลายโภชนะส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถหมักย่อยได้ (B) มากขึ้น ซึ่งเปลือกข้าวโพดหวานมีค่า B สูงกว่าซังข้าวโพดหวาน (62.7% เทียบกับ 53.5%) เป็นผลให้เปลือกข้าวโพดหวานมีการสลายตัวของวัตถุแห้งหลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้วสูงกว่า ส่วนการสลายตัววัตถุแห้งของเปลือกปนซังข้าวโพดหวานผสมรำข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกับพืชหมัก HC+RB แต่ไม่ได้ผ่านการหมัก พบว่าพืชหมัก HC+RB มีการสลายตัวในช่วง 12 ชั่วโมงแรกสูงกว่า สอดคล้องกับค่า A (32.6% เทียบกับ 29.2%) และหลังจาก 12 ชั่วโมงไปแล้วมีค่าไม่ต่างกันมากนักโดยเปลือกและซังข้าวโพดหวานผสมรำมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย



ภาพที่ 3 เปอร์เซ็นต์การสลายวัตถุแห้งที่ชั่วโมงต่าง ๆ

ตารางที่ 20 ค่าการย่อยสลายที่วัดโดยใช้เทคนิคถุงไนลอน

วัตถุดิบ	a	b	c	L	A	B	A+B
	——(%)——		(%/hr)	(hr)	——(%)——		
เปลือกข้าวโพดหวาน	8.4	72.3	0.052	2.7	18.0	62.7	80.7
ซังข้าวโพดหวาน	13.2	64.2	0.060	3.0	24.0	53.5	77.5
เปลือกปนซังข้าวโพดผสมรำ	17.1	61.5	0.063	3.5	29.2	49.4	78.6
พืชหมัก HC+RB	27.4	50.4	0.056	2.0	32.6	45.1	77.7

4.3.6 ค่าการย่อยได้และพลังงานของพืชหมัก HC+RB โดยวิธีวัดปริมาณก๊าซ

จากการนำพืชหมัก HC+RB มาบ่มหมักกับ rumen fluid buffer ในหลอด syringe ชนิดพิเศษ แล้วนำค่าก๊าซที่เกิดขึ้นที่เวลา 24 ชั่วโมงมาคำนวณค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (OMD) และพลังงาน ME และ NEL โดยอาศัยสมการของ Menke and Steingrass (1988) ปรากฏดังตารางที่ 21 จะเห็นได้ว่าพืชหมัก HC+RB มีค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (OMD) เท่ากับ 52.38% ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากตัวสัตว์ทดลอง (63.45%) เป็นอย่างมาก และมีค่าพลังงาน ME และ NEL เท่ากับ 2.48 และ 1.42 Mcal/kgDM ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้จาก TDN (2.73 และ 1.63 Mcal/kgDM) และที่คำนวณได้จาก DE (2.63 และ 1.57 Mcal/kgDM)

ตารางที่ 21 ค่าพลังงานของพืชหมัก HC+RB ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการต่าง ๆ

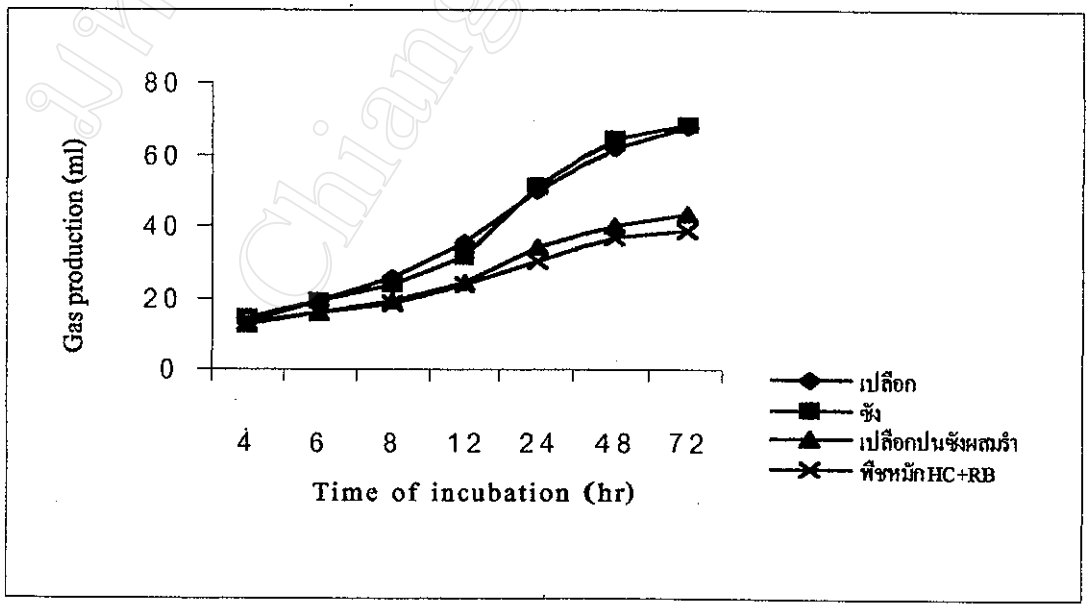
ค่าพลังงาน	คำนวณจาก			ค่าเฉลี่ย
(Mcal/kgDM)	Gas production	TDN	DE	
ME	2.48	2.73	2.63	2.61
NEL	1.42	1.63	1.57	1.54

ตัวอย่างอาหารทดลอง 4 ชนิดเช่นเดียวกับการศึกษาเทคนิคถุงไนลอนถูกนำมาศึกษาการย่อยได้โดยวิธีวัดปริมาณก๊าซที่ดัดแปลงโดย Bluemmel and Orskov (1993) ได้ค่าก๊าซแสดงในตารางที่ 22 จะเห็นได้ว่า ที่ทุก ๆ ระยะเวลาที่ทำการบ่มหมักตัวอย่างอาหารทดลองในหลอด syringe เปลือกปนซังข้าวโพดหวานผสมรำและพืชหมัก HC+RB มีปริมาตรก๊าซเกิดขึ้นต่ำกว่าเปลือกข้าว

โพดและซังข้าวโพดหวาน (ภาพที่ 4) ที่เป็นเช่นนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากการมีรำข้าวเป็นส่วนประกอบอยู่สูง (14% น้ำหนักสดหรือประมาณ 45% น้ำหนักแห้ง) ทำให้มีไขมันสูงจึงอาจรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์ดังได้กล่าวมาแล้วและเมื่อเปรียบเทียบการเกิดก๊าซระหว่างเปลือกปนซังข้าวโพดผสมรำกับพืชหมัก HC+RB พบว่าพืชหมัก HC+RB มีปริมาตรก๊าซเกิดขึ้นต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีการสูญเสียโภชนะบางส่วนไปในระหว่างการหมักทำให้พืชหมักเหลือโภชนะส่วนที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้สร้างก๊าซได้น้อยลง

ตารางที่ 22 ปริมาตรก๊าซ (ml) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายที่ชั่วโมงต่าง ๆ กัน

วัตถุดิบ	ระยะเวลาในการบ่มหมัก (ชั่วโมง)						
	4	6	8	12	24	48	72
เปลือกข้าวโพดหวาน	12.9	19.2	25.4	35.3	50.1	61.9	67.6
ซังข้าวโพดหวาน	14.5	18.8	23.3	31.6	51.1	64.5	67.9
เปลือกปนซังข้าวโพดผสมรำ	12.7	16.0	19.2	24.4	33.9	40.2	43.5
พืชหมัก HC+RB	12.9	15.9	18.6	23.4	30.4	36.4	38.8



ภาพที่ 4 ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายที่ชั่วโมงต่าง ๆ