บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การหาระยะตัดที่เหมาะสม และผลของการเสริมยูเรีย

1.1 คุณภาพข้าวโพดหมักที่ระยะตัดต่าง ๆ กันประเมินโดยใช้ประสาทสัมผัส

เมื่อหมักข้าวโพดครบ 45 วัน ได้สุ่มตัวอย่างข้าวโพดที่ตัดในระยะ 25, 50 และ 75 %แป้ง ทั้งที่ไม่เสริมและเสริมยูเรียมาประเมินคุณภาพโดยใช้ประสาทสัมผัส ได้แก่ การดูสี ดมกลิ่น และดูลักษณะโครงสร้าง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลของระยะตัดและการเสริมยูเรียที่มีต่อคุณภาพของข้าวโพดหมักที่ประเมินโดยใช้ประสาทสัมผัส

Effect of cutting stage and urea supplement on quality of silage evaluated by organoleptic test.

Cutting stage	25% starch		50% starch		75% starch		%starch			% urea		Interaction
Urea	0	1%	0	1%	0	1%	25	50	75	0	1	
Odor	14.0	11.7	12.3	13.0	12.7	9.3	12.8^{a}	12.7^{a}	11.0^{b}	13.0^{A}	11.3^{B}	$p < 0.05$
Color[2]	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	1.8	1.9	2.0	ns
Texture[2]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	ns
Score[1]	**20.0**	**17.7**	**18.3**	**19.0**	**18.3**	**15.3**	$\mathbf{18.8^{a}}$	$\mathbf{18.7^{a}}$	$\mathbf{16.8^{b}}$	$\mathbf{18.9^{A}}$	$\mathbf{17.3^{B}}$	$p < 0.05$

^{ab,AB} Mean in the same row with different superscript differ significantly ($P < 0.05$)

[1] Total score: 0 – 4 = Grade 4 = poor 10 – 15 = Grade 2 = fairy - good

5 – 9 = Grade 3 = fair 16 – 20 = Grade 1 = good - very good

[2] No significant difference ($P > 0.05$)

จากตารางจะเห็นได้ว่า ข้าวโพดหมักแต่ละระยะมีคุณภาพใกล้เคียงกันคืออยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมาก โดยระยะ 25% แป้งและ 50% แป้ง มีคะแนนรวมสูงกว่าระยะ 75% แป้งอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เพราะระยะ 75% แป้งมีกลิ่นเน่าเจือปนบาง ๆ ของกรดบิวทีริก และ/หรือ มีกลิ่นกรดฉุน แสบจมูกของ

กรดอะซิติก ซึ่งทำให้ได้คะแนนต่ำกว่าระยะอื่น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากที่ระยะ 75% แป้งต้นข้าวโพดมีความฟ่ามสูง ทำให้อัดแน่นได้ยาก จึงทำให้สภาพการหมักไม่เหมาะสม เป็นเหตุให้ข้าวโพดหมักมีคุณภาพต่ำ (Raymond *et al.*, 1986) สำหรับเรื่องสีและโครงสร้างของพืชหมักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับผลของการเสริมยูเรียจะทำให้ข้าวโพดหมักมีกลิ่นด้อยกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยเฉพาะเมื่อตัดที่ระยะ 75% แป้ง คุณภาพลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากในระหว่างการหมัก ยูเรียถูกไฮโดรไลซ์เป็นแอมโมเนีย ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ คือมีฤทธิ์ต้านความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้นจึงทำให้ pH ลดต่ำลงได้ยาก โดยเฉพาะพืชที่มีความชื้นต่ำ ทำให้สภาพการหมักไม่เหมาะสม การผลิตกรดเกิดขึ้นช้า จุลินทรีย์อื่น เช่น เอนเทอโรแบคทีเรีย คลอสตริเดียและยีสต์จะเจริญได้ซึ่งทำให้คุณภาพของพืชหมักลดลง

1.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมักที่ระยะตัดต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 10 ผลของระยะการตัดและการเสริมยูเรียที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี (%วัตถุแห้ง) ของข้าวโพดหมัก

Effect of cutting stage and urea supplement on chemical composition (DM basis) of corn silage.

Cutting stage	25% starch		50% starch		75% starch		%starch			%Urea		Interaction
Urea	0	1%	0	1%	0	1%	25	50	75	0	1	
DM	26.8	26.8	31.2	31.8	35.9	36.0	26.8^{c}	31.5^{b}	36.0^{a}	31.3^{A}	31.5^{A}	ns
OM	93.8	94.5	94.5	94.6	95.1	94.5	94.2^{c}	94.6^{b}	94.8^{a}	94.5^{A}	94.5^{A}	$p < 0.05$
CP	7.7	15.7	7.9	14.6	7.5	12.7	11.7^{a}	11.3^{b}	10.1^{c}	7.7^{B}	14.4^{A}	$p < 0.05$
EE	2.7	2.4	2.0	2.1	3.1	2.6	2.6	2.1	2.9	2.6	2.4	ns
NDF	62.2	60.2	58.4	59.4	58.9	59.4	61.2^{a}	59.2^{b}	59.1^{b}	59.8^{A}	59.8^{A}	$p < 0.05$
ADF	28.9	27.4	27.4	27.9	27.2	26.4	28.2^{a}	27.6^{a}	26.8^{b}	27.9^{A}	27.2^{B}	$p < 0.05$
NSC[1]	21.2	16.1	26.2	18.5	25.6	19.7	18.6	22.0	22.6	24.4	18.6	ns

[1] NSC = OM – CP – EE – NDF

[abc,AB] Means in the same row with different superscript differ significantly ($P < 0.05$)

จากตารางที่ 10 พบว่าเมื่อนำข้าวโพดที่ระยะตัดต่าง ๆ กันมาหมัก พืชที่มีอายุเพิ่มขึ้นจะมีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งสูงขึ้น แต่มีโปรตีนรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) สำหรับ ADF และ NDF นั้น พบว่ามีค่าลดลงเช่นเดียวกัน ($P < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดมีการสะสมแป้งเพิ่มขึ้น ดังจะ

เห็นได้จากค่า NSC ที่สูงขึ้นตามลำดับ ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับรายงานของ Bal *et al.*, 1997 ที่พบว่า เมื่อตัดต้นข้าวโพดในระยะแก่ขึ้นจากช่วงที่เมล็ดเริ่มเป็นแป้งจนถึงระยะเป็นแป้ง 1/4, 2/3 ของเมล็ดและระยะเมล็ดแก่ (black layer stage) ข้าวโพดหมักที่ได้จะมีโปรตีน, NDF, ADF และ ADL ลดลง แต่จะมีแป้งเพิ่มขึ้นเพราะมีสัดส่วนของเมล็ดเพิ่มขึ้น การเสริมยูเรียมีผลทำให้ %CP สูงกว่าไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน

สำหรับผลการหมัก ที่มีต่อการสูญเสียวัตถุแห้ง (DM loss), pH, ปริมาณกรดที่เกิดขึ้น, คุณภาพและความหนาแน่นของพืชหมัก แสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลของระยะตัดและการเสริมยูเรียที่มีต่อการสูญเสียวัตถุแห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง กรดอินทรีย์ คะแนนคุณภาพและความหนาแน่นของข้าวโพดหมัก

Effect of cutting stage and urea supplement on dry matter loss, pH, organic acid, quality score and density of corn silage.

Cutting stage	25% Starch		50% Starch		75% Starch		%Starch			%Urea	
Urea	0	1%	0	1%	0	1%	25	50	75	0	1
DM loss (%)	5.5	2.9	5.9	6.3	9.4	7.6	4.2^{b}	6.1^{ab}	8.5^{a}	6.9^{A}	5.6^{A}
pH	3.9^{a}	4.2^{b}	4.0^{a}	4.3^{b}	4.0^{a}	4.6^{b}	4.1^{b}	4.2^{b}	4.3^{a}	4.0^{B}	4.4^{A}
Organic acid (%DM)											
Acetic[2]	0.70	0.72	0.74	0.81	0.73	1.06	0.72	0.78	0.90	0.72	0.87
Butyric[2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lactic	1.93^{a}	2.77^{b}	2.01^{a}	2.61^{b}	2.14^{a}	2.93^{b}	2.34^{a}	2.31^{a}	2.53^{a}	2.03^{B}	2.77^{A}
Qual. score[1,2]	79.9	84.1	85.2	88.8	79.2	88.3	82.0	87.0	83.7	81.4	87.0
Density (kg fresh/l)	0.50^{b}	0.49^{b}	0.45^{ab}	0.45^{ab}	0.40^{a}	0.38^{a}	0.50^{a}	0.45^{b}	0.39^{c}	0.45^{A}	0.44^{A}

^{ab,AB} Means in the same row with different superscript differ significantly ($P < 0.05$)

[1] Quality score: 0 – 20 = Grade 5 = bad; 21 – 40 = Grade 4 = fair; 41 – 60 = Grade 3 = average; 61 – 80 = Grade 2 = good; 81 – 100 = Grade 1 = very good

[2] No significant difference ($P > 0.05$)

จากตาราง พบว่าข้าวโพดที่ตัดเมื่ออายุมากขึ้น (มีสัดส่วนของแป้งสูงขึ้น) มีแนวโน้มว่าเกิดการสูญเสียวัตถุแห้งระหว่างการหมักเพิ่มขึ้น และมีปริมาณกรดอะซิติกและกรดแลคติกเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อข้าวโพดมีอายุมากขึ้นนั้น มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายในรูปของแป้งในเมล็ดสูงขึ้น ซึ่งเป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้มีแบคทีเรียชนิดนี้เพิ่มขึ้น และทำการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดอะซิติกและกรดแลคติกเพิ่มขึ้น สำหรับคะแนนคุณภาพของพืชหมักนั้น พบว่าแม้ว่าทุกอายุการตัดจะทำให้ได้ข้าวโพดหมักที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันคืออยู่ในระดับดีถึงดีมาก แต่การตัดเมื่อสัดส่วนของแป้งเท่ากับ 50% ของเมล็ดจะมีแนวโน้มว่าได้ข้าวโพดหมักที่มีคุณภาพดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าอายุการตัดมีผลต่อความหนาแน่นของข้าวโพดด้วย คือเมื่ออายุมากขึ้นจะมีความหนาแน่นน้อยลง ($P < 0.05$) ทำให้เกิดความลำบากในการอัดให้แน่นและการไล่อากาศออกเพื่อให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจน

สำหรับการเสริมยูเรียพบว่าทำให้ pH ของข้าวโพดหมักสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และทำให้เกิดกรดอะซิติกและกรดแลคติกเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระหว่างการหมักนั้น ยูเรียถูกไฮโดรไลซ์เป็นแอมโมเนียซึ่งมีสภาพเป็นด่างอ่อนและทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์จึงมีผลทำให้ pH และกรดอินทรีย์สูงขึ้น ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับรายงานของ จีระชัย (2528), Essig (1968) และ Weiss (1996) การมีกรดแลคติกเพิ่มขึ้นนั้นนับว่าเป็นผลดี เนื่องจากกรดแลคติกเป็นกรดที่ต้องการให้มีมากในการหมัก เพราะทำให้ได้พืชหมักที่มีคุณภาพดี มีกลิ่นหอม และสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดี นอกจากนี้การเสริมยูเรียยังมีแนวโน้มทำให้คุณภาพของข้าวโพดหมักดีขึ้น อีกทั้งยังมีโปรตีนรวมเพิ่มขึ้นด้วยดังผลที่แสดงไว้ในตารางที่ 10

การทดลองที่ 2 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารเคมีเพื่อป้องกันการหมักระยะที่สอง

การทดลองที่ 2.1:

ผลของการใช้กรดฟอร์มิกและ/หรือฟอร์มาลินเป็นสารป้องกันการหมักระยะที่ 2 (secondary fermentation) แสดงไว้ในภาพที่ 13 และตารางที่ 12

จากภาพที่ 13 จะเห็นได้ว่าในกลุ่มควบคุมมีอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่วันแรกของการทดลอง แสดงว่าเกิดการหมักระยะที่ 2 เนื่องจากมีการหายใจของพืช และจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจึงเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน ในขณะที่กลุ่มที่ใช้ฟอร์มาลินหรือกรดฟอร์มิก : ฟอร์มาลิน (1 : 3) ในอัตรา 5 กรัม/กก.น้ำหนักสดนั้นได้แสดงผลใกล้เคียงกันคืออุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นหลังวันที่ 6 แสดงว่าสามารถเก็บข้าวโพดที่หมักแล้วไว้ได้นานเป็นเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ส่วนการเสริมฟอร์มาลินหรือฟอร์มิกผสมฟอร์มาลินในอัตรา 10 กรัม/กก.ของน้ำหนักข้าวโพดสด ช่วยให้อุณหภูมิไม่เพิ่มขึ้นตลอดระยะ 8 วัน แสดงว่าสามารถเก็บไว้ได้นานกว่า 1 สัปดาห์

ซึ่งผลในการทดลองอื่นที่ไม่ได้รายงานในที่นี้ พบว่าสามารถเก็บได้นานประมาณ 2 สัปดาห์ จะเห็นได้ว่าฟอร์มิกและ/หรือฟอร์มาลินนั้นมีบทบาทในการยับยั้งกระบวนการหมัก กล่าวคือ การใช้กรดฟอร์มิกจะช่วยป้องกันการเกิดการหมักของจุลินทรีย์พวก clostridium และลดการเกิดการหมักของคาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นภายในไซโล และความเป็นกรดจะช่วยให้พืชสามารถเก็บไว้ได้นานอีกด้วย (Waldo *et al.*, 1971) สำหรับฟอร์มัลดีไฮด์ช่วยยับยั้งกระบวนการหมักและสามารถป้องกันโปรตีนในอาหารให้ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน ช่วยให้โปรตีนไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กได้มากขึ้น (Wilkins *et al.*,1974; Wilson *et al.*, 1974; Ferguson *et al.*, 1967; Siddons *et al.*, 1979)

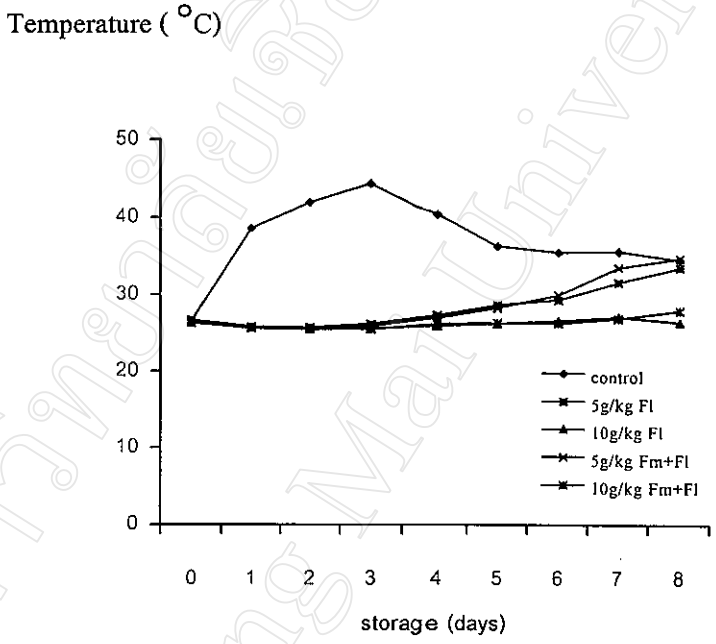

Figure. 13 Effect of formalin and formic plus formalin on the temperature of corn silage

สำหรับการใช้ฟอร์มิกผสมฟอร์มาลินนั้นสามารถยับยั้งกระบวนการหมัก คือ ช่วยลดการหมักของคาร์โบไฮเดรต และการย่อยสลายของโปรตีนได้ นอกจากนี้ยังช่วยทำให้วัตถุแห้งที่กินได้และผลผลิตนมสูงขึ้น (Siddons *et al* ., 1979; Glenn *et al.*, 1986)

- เมื่อวัดอุณหภูมิครบ 8 วัน ได้สุ่มตัวอย่างข้าวโพดดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อประเมินคุณภาพดังแสดงใน ตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลของการเสริมของฟอร์มาลินและฟอร์มิคผสมฟอร์มาลินต่อกระบวนการหมักระยะที่สองของข้าวโพดหมัก

Effect of formalin and formic plus formalin supplement on secondary fermentation of corn silage.

	Control	Formalin			Formic : Formalin (1:3)			SEM
		5 g/kg	10 g/kg	avg	5 g/kg	10 g/kg	avg	
DM loss (%)	25.9^{c}	5.5^{b}	3.7^{a}	4.6	9.0^{b}	3.2^{a}	6.1	0.8
pH	8.6^{c}	4.6^{b}	4.0^{a}	4.3	4.5^{b}	3.9^{a}	4.2	0.2
Organic acid (%)								
- acetic	0.8^{b}	0.4^{a}	0.5^{a}	0.5	0.5^{a}	0.8^{c}	0.7	1.7
- butyric	1.8	-	-	-	-	-	-	
- lactic	0.1^{a}	1.8^{b}	2.1^{b}	1.95	1.8^{b}	1.9^{b}	1.85	2.6
Qual. score[1]	53.0^{a}	88.4^{c}	92.2^{c}	90.3	94.1^{c}	74.9^{b}	84.5	4.2

^{abc} Means in the same row with different superscript differ significantly ($P < 0.05$)

[1] Quality score: 0 – 20 = Grade 5 = poor 61 – 80 = Grade 2 = good
21 – 40 = Grade 4 = fair 81 – 100 = Grade 1 = very good
41 – 60 = Grade 3 = average

จากตารางพบว่ากลุ่มที่ใช้สารยับยั้งทั้งสองในระดับสูง (10 กรัม/กก.น้ำหนักสด) มีการสูญเสียวัตถุแห้งระหว่างการหมัก และมีค่า pH ต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้สารยับยั้งในระดับต่ำ (5 กรัม/กก.น้ำหนักสด) และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) การใช้ฟอร์มาลินให้ผลดีกว่าการใช้ฟอร์มิกผสมฟอร์มาลิน และการใช้ฟอร์มาลินเป็นสารยับยั้งการหมักระยะที่ 2 ในระดับ 10 กรัม/กก.น้ำหนักสด ให้ผลดีที่สุด เนื่องจากมีการสูญเสียวัตถุแห้งระหว่างการหมักต่ำ มีค่า pH ต่ำ มีปริมาณกรดแลคติกสูง เนื่องจากฟอร์มาลินช่วยลดการสูญเสียของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายในข้าวโพดหมัก (Siddon *et al.*, 1984) ทำให้ได้ข้าวโพดหมักคุณภาพดี

การทดลองที่ 2.2:

เมื่อนำข้าวโพดหมักที่ไม่เสริมและเสริมฟอร์มาลินมาเก็บไว้ 3 และ 6 วัน แล้วจึงนำไปเลี้ยงแกะ เพื่อศึกษาปริมาณการกินได้ของแกะที่ได้รับข้าวโพดหมักแต่ละกลุ่มแสดงไว้ในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณการกินได้ของแกะที่ได้รับข้าวโพดหมักที่เสริมและไม่เสริมฟอร์มาลิน

Voluntary feed intake of sheep fed corn silage supplemented with or without formalin.

	No formalin	Plus formalin	
		Stored for 3 days	Stored for 6 days
Live weight			
kg	20.14 ± 1.51	22.28 ± 3.80	26.20 ± 1.56
$W^{0.75}$	9.51 ± 0.28	10.25 ± 1.31	11.58 ± 0.52
DMI (g/d)			
- Corn silage (CS)	391 ± 25.46	200 ± 28.28	393 ± 26.87
- Concentrate	203 ± 12.04	235 ± 22.63	263 ± 17.69
- %CS consumed	65.86 ± 2.74	45.95 ± 1.12	59.86 ± 3.22
Voluntary intake (DM basis)			
- g/day	594 ± 13.45	435 ± 51.62	656 ± 9.21
- % live weight	2.96 ± 0.29	1.96 ± 0.68	2.51 ± 0.18
- $g/kgW^{0.75}$	62.63 ± 2.74	42.52 ± 0.40	57.79 ± 3.38

จากตารางที่ 13 นี้ จะเห็นได้ว่า แกะที่ได้รับข้าวโพดหมักซึ่งไม่เสริมฟอร์มาลิน (กลุ่มที่ 1) มีการยอมรับและมีปริมาณการกินได้สูงที่สุด คือ 2.96±0.29 %น้ำหนักตัวหรือ 62.63±2.74 $g/kgW^{0.75}$ ในขณะที่กลุ่มที่เสริมฟอร์มาลินแล้วเก็บข้าวโพดหมักไว้ 3 วันก่อนนำมาให้แกะกิน (กลุ่ม 2) จะมีปริมาณการกินได้น้อยที่สุดคือเพียง 42.52±0.40 $g/kgW^{0.75}$ หรือ 1.96±0.68 %น้ำหนักตัว *แสดงว่าการใช้สารฟอร์มาลินในอัตรา 10 กรัมต่อกิโลกรัมข้าวโพดหมักสด เพื่อป้องกันการเกิดการหมักระยะที่สอง จะทำให้การกินได้ลดลงและเป็นอันตรายต่อสัตว์ ดังนั้นจึงไม่ควรใช้หรือถ้าจะใช้ก็ควรเก็บไว้ให้นานกว่า 1 สัปดาห์ ก่อนนำมาเลี้ยงสัตว์ หรืออาจใช้ในอัตราลดลง* ผลอันนี้สอดคล้องกับรายงานของ Brown and Valentine (1972) และ Valentine and Brown (1973) ที่พบว่าการใช้ฟอร์มาลินระดับสูง 22.6 ถึง 45 กรัม/พืชหมัก 1 กก. ทำให้แกะกินอาหารได้น้อยและมีการย่อยได้ลดลง แต่ถ้าใช้ในอัตราเพียง 6.7 กรัม/กก.พืชหมัก พบว่าไม่มีผลต่อวัตถุแห้งที่กินได้และทำให้การผลิตขนดีขึ้นด้วย

การทดลองที่ 3 การศึกษากรรมวิธีการบรรจุข้าวโพดหมัก เพื่อป้องกันการหมักระยะที่สอง

ผลของการศึกษากรรมวิธีการบรรจุข้าวโพดหมักร่วมกับการใช้สารเคมี เพื่อป้องกันการหมักระยะที่ 2 โดยวัดจากอุณหภูมิของข้าวโพดหมัก และอุณหภูมิภายนอกในแต่ละวัน แสดงไว้ในภาพที่ 14

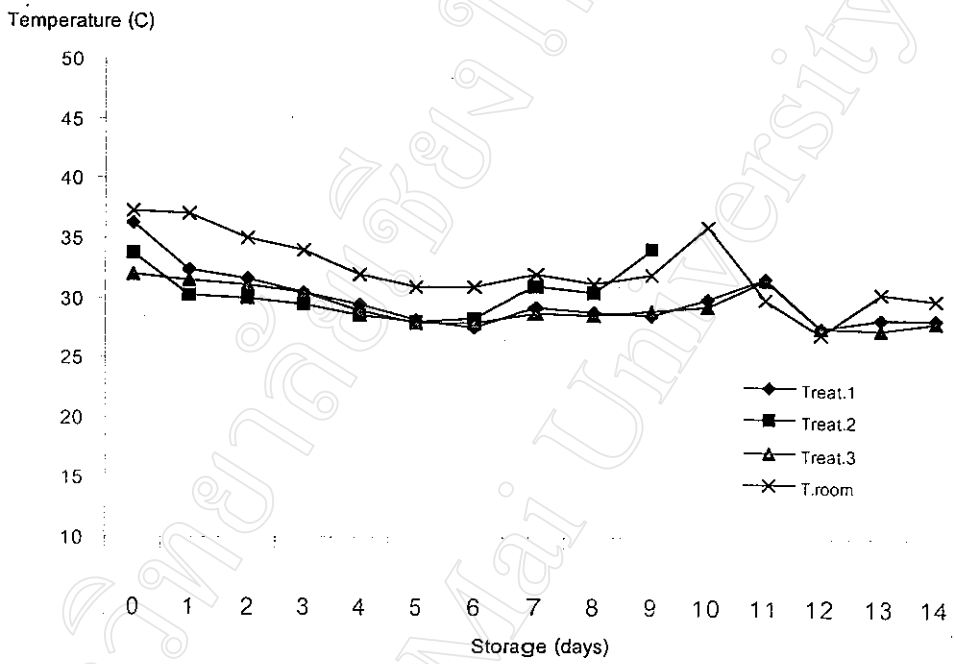

Figure 14 Effect of packaging on secondary fermentation

จากภาพที่ 14 จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่ 2 ซึ่งไม่มีถุงดำอยู่ด้านในและไม่ได้ดูดอากาศนั้น แม้ว่าจะมีการเสริมฟอร์มาลินในอัตรา 3.3 กรัมต่อกิโลกรัมข้าวโพดหมักสด ก็ไม่สามารถป้องกันการหมักระยะที่ 2 ได้ ดังจะเห็นได้จากอุณหภูมิที่สูงขึ้นตั้งแต่วันที่ 7 ของการทดลอง ในขณะที่กลุ่มที่ 1 และ 3 ซึ่งมีถุงดำอยู่ด้านในและมีการดูดอากาศให้ข้าวโพดหมักอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนนั้น ได้ผลใกล้เคียงกันคืออุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นในวันที่ 11 ของการทดลอง การที่ดูดอากาศออกสามารถเก็บข้าวโพดหมักไว้ได้นาน เนื่องจากสภาพภายในถุงไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของเชื้อราและจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน การเสริมหรือไม่เสริมฟอร์มาลินให้ผลไม่ต่างกันในการยับยั้งการหมักระยะที่ 2 ผลจากการทดลองนี้พอสรุปได้ว่า การบรรจุข้าวโพดหมักลงในถุงหลังจากนำออกมาจากหลุมใหญ่นั้นควรรักษาให้ข้าวโพดหมักอยู่ในสภาพอับอากาศ โดยการใช้ถุงดำรองด้านในและดูดอากาศออกให้หมด มัดปากถุงให้แน่น จะทำให้เก็บข้าวโพดหมักไว้ได้นานที่สุดโดยไม่จำเป็นต้องเสริมฟอร์มาลิน

การทดลองที่ 4 การศึกษาระยะการเกิดกระบวนการหมักระยะที่สอง (secondary fermentation) ในข้าวโพดหมัก

จากการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทีริก และกรดแลคติกได้ผลดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดอินทรีย์ และคุณภาพข้าวโพดหมักที่เก็บไว้ในระยะเวลา ต่าง ๆ กัน

pH, organic acid, quality score of corn silage stored for different time period.

	Day 0	Day 7	Day 14
pH	3.90	3.91	3.96
Organic acids (%)			
Acetic	0.82^{b}	0.90^{b}	1.24^{a}
Butyric	0^{b}	0^{b}	0.11^{a}
Lactic	1.88^{a}	1.80^{ab}	1.58^{b}
Quality score[1]	71.14	70.14	64.29

[ab] Means in the same row with different superscript differ significantly ($P < 0.05$)

[1] Quality score: 0 – 20 = Grade 5 = poor; 21 – 40 = Grade 4 = fair; 41 – 60 = Grade 3 = average; 61 – 80 = Grade 2 = good; 81 – 100 = Grade 1 = very good

จากตารางที่ 14 นี้พบว่าเมื่อนำข้าวโพดออกจากหลุมหมักและบรรจุถุงเพื่อนำมาเลี้ยงสัตว์นั้น เมื่อเก็บข้าวโพดหมักไว้นานกว่า 7 วันมีแนวโน้มทำให้ pH สูงขึ้น และทำให้มีปริมาณกรดอะซิติก และบิวทีริกสูงขึ้นแต่ปริมาณกรดแลคติกลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ซึ่งมีผลทำให้คุณภาพของพืชหมักลดลง ดังจะเห็นได้จากคะแนนคุณภาพที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บข้าวโพดหมักไว้นานขึ้น แสดงว่าเริ่มเกิดการหมักระยะที่สอง หลังจากเก็บไว้นานกว่า 7 วัน แต่ถ้าปรับปรุงการบรรจุ ดูดอากาศออกให้มากที่สุด และขนส่งอย่างระมัดระวัง จะสามารถเก็บไว้ได้นานกว่า 2 สัปดาห์ แต่คุณภาพจะค่อย ๆ ลดลงถ้าเก็บไว้นานเกินไป

การทดลองที่ 5 การศึกษาการยอมรับข้าวโพดหมักของสัตว์ การย่อยได้ และพลังงานในข้าวโพดหมัก

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมักและกากถั่วเหลืองแสดงไว้ในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมักและกากถั่วเหลือง (%ของวัตถุแห้ง)

Chemical composition of corn silage and soybean meal (DM basis).

	DM	OM	CP	EE	NDF	ADF	ADL	NFC
				(%)				
ข้าวโพดหมัก	23.17	93.33	8.70	2.37	64.48	39.13	2.82	17.78
กากถั่วเหลือง	88.92	92.96	48.65	3.68	18.38	10.08	1.10	22.25

ข้าวโพดหมักมีวัตถุแห้ง 23.17% ซึ่งต่ำกว่ารายงานต่าง ๆ คือ 30.1, 30.5 และ 30.8% (Byers *et al*., 1965, Ely *et al*., 1982 และ Deswysen *et al*., 1993 ตามลำดับ) แต่มีค่าอินทรีย์วัตถุ (OM) และมีโปรตีน (CP) เท่ากับ 93.33% และ 8.7% ซึ่งใกล้เคียงกับที่ NRC (1989) และ Pioneer Hi-Bred (1990) รายงานไว้ นอกจากนี้ยังมีปริมาณ NDF เท่ากับ 64.48 %และ ADF เท่ากับ 39.13% ซึ่งสูงกว่ารายงานดังกล่าวเล็กน้อย สำหรับกากถั่วเหลืองนั้นมีโปรตีนสูงคือเท่ากับ 48.65% แต่มีปริมาณ NDF และ ADF ต่ำ คือ 18.38% และ 10.08% ตามลำดับ เมื่อนำมาใช้ร่วมกับข้าวโพดหมักจะช่วยให้ข้าวโพดหมักมีโปรตีนสูงขึ้น มีโภชนะที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น

ปริมาณข้าวโพดหมักที่แกะกินได้ (Voluntary intake)

จากการทดลองให้แกะกินอาหารที่ประกอบด้วยข้าวโพดหมักที่ระดับต่าง ๆ กันร่วมกับกากถั่วเหลือง โดยให้แกะได้กินอาหารอย่างเต็มที่ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ของสูตรอาหารที่ประกอบด้วยข้าวโพดหมักระดับต่าง ๆ ในแกะ

Dry matter intake by sheep on diet containing different levels of corn silage.

% CS	91	82	73	r
g/day	735.07	822.39	864.98	-0.9846
%BW	2.71	2.99	3.19	-0.9972
$g/kgW^{0.75}$	61.57	68.33	72.66	-0.9945

หมายเหตุ: ร้อยละของข้าวโพดหมักที่กินจริง คิดเป็นสัดส่วนของสูตรอาหารเป็นค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้งจากข้าวโพดหมักที่แกะแต่ละกลุ่มได้กินจริง

จากตารางที่ 16 จะเห็นว่าเมื่อลดสัดส่วนของข้าวโพดหมัก (CS) ลงหรือเพิ่มสัดส่วนของกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารให้สูงขึ้น จะทำให้ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้สูงขึ้น เนื่องจากเป็นการเพิ่มโภชนะที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยได้ดีขึ้น อาหารจึงหายไปจากทางเดินอาหารเร็วขึ้น เหลือเนื้อที่ในรูเมนที่จะกินอาหารใหม่เข้ามาได้มากขึ้น (McDonald *et al.*,1995) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับเสาวลักษณ์ (2542) ที่ให้โคและแกะกินฟางข้าวเสริมด้วยอาหารข้นที่ระดับต่าง ๆ กัน (69.7:30.3, 55.1:44.9 และ 40.9:59.1) พบว่ามีปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้เพิ่มขึ้นทั้งในโคและแกะ คือ ในโค 7002, 8762 และ 8762 กรัม/วัน และในแกะ 776, 987 และ 1008 ตามลำดับปริมาณฟางข้าวที่ลดลง และยังสอดคล้องกับการทดลองของไกรสิทธิ (2543) ที่ให้โคกินอ้อยเสริมด้วยอาหารข้นที่ระดับต่าง ๆ กัน (68.7:31.3, 60.2:39.8 และ 51.1:48.9) พบว่ามีปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้เพิ่มขึ้นทั้งในโคและแกะ คือ ในโค 5867.7, 6287.0 และ 6629.3 กรัม/วัน และในแกะ 738.8, 800.0 และ 916.9 ตามลำดับปริมาณต้นอ้อยแห้งที่ลดลงเช่นเดียวกัน

เมื่อนำค่าเหล่านี้ปริมาณวัตถุแห้งที่สัตว์กินได้ และสัดส่วนของข้าวโพดหมักในสูตรอาหารมาหาสหสัมพันธ์ พบว่าได้ค่า r สูงมาก และค่าดังกล่าวเป็นลบ แสดงว่าเมื่อมีข้าวโพดหมักในสูตรอาหารสูง สัตว์จะกินอาหารได้น้อยกว่าเมื่อมีข้าวโพดหมักต่ำ

เมื่อนำค่าสัดส่วนของข้าวโพดหมักในอาหารทั้งหมด (x) และปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (y) มาหาค่าสหสัมพันธ์ เพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณข้าวโพดหมักที่กินได้ถ้าแกะได้รับข้าวโพดหมักเพียงอย่างเดียว พบว่าได้ สมการ regression และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ตลอดจนปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ของข้าวโพดหมัก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ปริมาณวัตถุแห้งของข้าวโพดหมักที่แกะกินได้คำนวณจากสมการถดถอย

Dry matter intake of corn silage as predicted by regression equation.

	regression equation	R^2	DMI
g/day	y = 1270.3 – 6.17x	0.9695	653.3
%BW	y = 4.67 – 0.02x	0.9943	2.67
$g/kgW^{0.75}$	y = 106.97 – 0.53x	0.9890	53.97

โดยที่ y คือ ปริมาณวัตถุแห้งที่แกะกินได้ (กก.) และ x คือ ปริมาณข้าวโพดหมักในสูตรอาหาร

จากตารางที่ 17 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าสูง แสดงว่าสมการ regression ที่สร้างโดยใช้ข้อมูลในตารางที่ 16 มีความแม่นยำสูง สามารถนำมาใช้ทำนายปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้เมื่อให้สัตว์ได้รับข้าวโพดหมักเพียงอย่างเดียวได้ดี ซึ่งเมื่อแทนค่าสมการดังกล่าว โดยให้ x เป็น

100 พบว่า ปริมาณวัตถุแห้งของข้าวโพดหมักที่แกะจะกินได้มีค่า เท่ากับ 2.67 % นน.ตัว และ 53.97 ก./กก.นน.$^{0.75}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่ชูศักดิ์ (2529) ได้รายงานไว้ คือ 2.5% นน.ตัว และสูงกว่าการกินได้ของข้าวโพดหมักที่ทดลองในโคที่บุญล้อม และชูศักดิ์ (2533) ได้รายงานไว้ คือ 2.3 % นน.ตัว ปริมาณอาหารที่สัตว์สามารถกินได้เต็มที่ (Voluntary feed intake, VFI) นี้สามารถบ่งบอกคุณภาพอาหารได้ทางอ้อม คือ ถ้าอาหารคุณภาพดีสัตว์จะสามารถกินได้มากแต่ถ้าอาหารหยาบคุณภาพเลวสัตว์จะกินอาหารลดลง ซึ่งแกะสามารถตอบสนองคุณภาพของอาหารได้ดีกว่าโค โดยอาหารคุณภาพต่ำแกะจะกินได้น้อยกว่าโค (Heaney, 1980)

สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ และพลังงานในข้าวโพดหมัก

จากการทดลองให้แกะกินอาหารที่ประกอบด้วยข้าวโพดหมักและกากถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน 3 ระดับ แล้วศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารแต่ละสูตร ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะและค่าพลังงานของอาหารที่ประกอบด้วยข้าวโพดหมักที่ระดับต่าง ๆ กันในแกะ

Digestibility coefficients of nutrients and energy contents of diets containing different levels of corn silage fed to sheep.

CS : SBM	86:14	75:25	65:35	r
DM	68.99	69.38	70.34	- 0.9710
OM	70.72	72.11	73.76	- 0.9980
CP	69.09	72.36	78.42	- 0.9500
EE	70.15	71.01	71.91	- 0.9977
ADF	70.07	63.87	61.18	0.9661
NDF	67.81	66.29	63.53	0.9918
NFC	86.38	87.91	91.83	– 0.9596
TDN (%)	68.14	70.83	71.27	– 0.9290
DE (Mcal/kgDM)	2.99	3.03	3.04	- 0.9505
N – balance (g/day)	2.69	2.71	3.53	- 0.8677

หมายเหตุ: สัดส่วนของข้าวโพดหมักและกากถั่วเหลืองในตารางนี้ เป็นสัดส่วนของอาหารที่ให้สัตว์กิน แต่การคำนวณหาการย่อยได้ของโภชนะในข้าวโพดหมักในตารางที่ 16 โดยวิธี regression ใช้สัดส่วนของโภชนะนั้น ๆ จากข้าวโพดหมักที่สัตว์แต่ละตัวกินเข้าไปได้จริง

จากตารางจะเห็นได้ว่า เมื่อลดระดับข้าวโพดหมักในสูตรอาหารลงหรือเพิ่มระดับกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารขึ้น จะทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม และไขมันเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่าสหสัมพันธ์ (r) ที่มีค่าสูงและเป็นลบ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสูตรอาหารมีกากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นจะทำให้มีโภชนะที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ในรูเมนเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าการย่อยได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีพบว่าเมื่อลดระดับข้าวโพดหมักในสูตรอาหารลงและเพิ่มปริมาณอาหารข้นขึ้น คือกินแป้งและคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจะทำให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง (Kromann, 1973 อ้างโดย Everson *et al.*, 1976) ทำให้ pH ในรูเมนต่ำจึงทำให้จุลินทรีย์ที่ทำให้หน้าที่ย่อยเยื่อใยลดลง ดังนั้นมีผลทำให้การย่อยได้ขององค์ประกอบผนังเซลล์ลดลง ดังจะเห็นได้จากค่าสหสัมพันธ์ของ ADF และ NDF ที่สูงมากและมีค่าเป็นบวก

เมื่อคำนวณค่าพลังงานในรูป TDN จากปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับค่าพลังงานย่อยได้ (DE) ซึ่งทำการวัดด้วย Bomb calorimeter

สำหรับค่าสมดุลไนโตรเจนนั้น มีค่าเป็นบวกแสดงให้เห็นว่ามีการขับไนโตรเจนออกน้อยกว่าที่กินเข้าไป ไนโตรเจนส่วนหนึ่งถูกสะสมไว้ในร่างกายแทนที่จะถูกขับออก แสดงว่าการให้แกะได้รับข้าวโพดหมัก ผสมกากถั่วเหลือง (คิดเป็นวัตถุแห้ง) ในอัตราตั้งแต่ 86 : 14 ขึ้นไปทำให้สัตว์ได้รับไนโตรเจนเพียงพอต่อความต้องการเพื่อการดำรงชีพ ดังจะเห็นได้ว่าโปรตีนที่แกะได้รับต่อวันเท่ากับ 120.6 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับที่ NRC (1985) แนะนำไว้คือ 122 กรัม/วัน สำหรับแกะที่มีน้ำหนักตัว 25 กก.

เมื่อนำปริมาณโภชนะในข้าวโพดหมักที่คิดเป็นร้อยละของโภชนะนั้น ๆ ในสูตรอาหาร (x) กับค่าการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหารนั้น ๆ (y) ไปสร้างสมการถดถอย (regression equation) เพื่อทำนายค่าการย่อยได้และพลังงานของข้าวโพดหมัก ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 19 จะเห็นได้ว่าสมการเหล่านี้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงมาก แสดงว่ามีความแม่นยำสูง ค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 20 นั้น ได้จากการแทนค่าสมการถดถอยในตารางที่ 19 โดยให้ค่า x เท่ากับ 100 ซึ่งหมายความว่า เมื่อโภชนะนั้นมาจากข้าวโพดหมักเพียงอย่างเดียว ค่า y ที่ได้จะเป็นการย่อยได้ของโภชนะในข้าวโพดหมัก เช่นในกรณีโปรตีนรวม (CP) มีค่าเท่ากับ 56.44 หมายความว่าเมื่อแกะได้รับโปรตีนรวมจากข้าวโพดหมัก 100 หน่วยจะมีการย่อยได้ของโปรตีนรวม 56.44 หน่วย

ตารางที่ 19 ร้อยละของโภชนะจากข้าวโพดหมัก การย่อยได้ของข้าวโพดหมักในสูตรอาหารและสมการถดถอย

Percentage of nutrients from corn silage, digestibility of diets and regression equation.

Nutrient	Nutrient from CS (x)			Digestibility (y)			Regression equation
DM	89.20	78.84	69.09	68.14	69.49	71.53	$y = 83.01 - 0.17x$ ($R^2 = 0.9820$)
OM	89.15	78.84	69.01	70.72	72.11	73.76	$y = 84.11 - 0.15x$ ($R^2 = 0.9960$)
CP	59.23	39.75	28.20	69.09	72.36	78.42	$y = 85.44 - 0.29x$ ($R^2 = 0.9026$)
EE	83.91	70.10	58.68	70.15	71.01	71.91	$y = 75.95 - 0.07x$ ($R^2 = 0.9954$)
ADF	96.98	93.55	89.65	70.07	63.87	61.18	$y = -47.12 + 1.20x$ ($R^2 = 0.9334$)
NDF	96.66	92.91	88.64	67.81	66.29	63.53	$y = 16.15 + 0.54x$ ($R^2 = 0.9836$)
NFC	86.47	74.40	63.79	86.38	87.91	91.83	$y = 106.51 - 0.24x$ ($R^2 = 0.9209$)
Energy							
TDN	89.20	78.84	69.09	67.60	70.58	70.84	$y = 82.49 - 0.16x$ ($R^2 = 0.8226$)
DE	89.20	78.84	69.09	2.99	3.03	3.04	$y = 3.22 - 0.0025x$ ($R^2 = 0.9035$)
N-balance	89.20	78.84	69.09	2.69	2.71	3.53	$y = 6.24 - 0.04x$ ($R^2 = 0.7529$)

หมายเหตุ: y คือสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหาร (%)

x คือปริมาณโภชนะที่ได้จากข้าวโพดหมักคิดเป็นร้อยละของโภชนะในสูตรอาหารทั้งหมด

ตารางที่ 20 สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะและพลังงานของข้าวโพดหมักในแกะ คำนวณจากสมการถดถอย

Digestibility coefficients of nutrients and energy content of corn silage predicted from regression equations.

Nutrient	**Digestibility (%)**	**Nutrient**	**Digestibility (%)**
DM (%)	66.01	NDF (%)	70.15
OM (%)	69.11	NFC (%)	82.51
CP (%)	56.44	TDN (%)	66.49
EE (%)	68.95	DE (Mcal/kgDM)	2.97
ADF (%)	72.88	N – balance (g/day)	2.24

จากตารางที่ 20 จะเห็นได้ว่าการย่อยได้ของโภชนะของข้าวโพดหมักในแกะอยู่ในช่วง 56 – 82 % โดยค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและ NDF ใกล้เคียงกับ Sudweeks *et al.* (1979) ได้รายงานไว้คือ 67.7 และ 71.9 % ตามลำดับ

TDN ของข้าวโพดหมักนี้เท่ากับ 66.49% ซึ่งใกล้เคียงกับที่ Pioneer Hi-Bred (1990) และ Alberta Ag-Industries Ltd. (1986) รายงานไว้คือ 64 และ 67% ตามลำดับ

เมื่อนำค่า TDN มาคำนวณค่า DE, ME และ NELจากสมการที่เสนอโดย NRC (1988) ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 โภชนะย่อยได้รวม และพลังงานย่อยได้ที่วัดโดยตรง และพลังงานย่อยได้ พลังงานเมแทบอไลซ์ และพลังงานสุทธิที่คำนวณจากค่าโภชนะย่อยได้รวม

TDN and DE measured directly as well as DE, ME and NEL (Mcal/kgDM) calculated from TDN

In vivo		Calculated from TDN		
TDN (%)	DE	DE	ME	NEL
66.49	2.97	2.93	2.55	1.51

DE ของข้าวโพดหมักจากการคำนวณจากค่า TDN เท่ากับ 2.93 Mcal/kgDM มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงจาก Bomb calorimeter คือ 2.97 Mcal/kgDM