บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 ศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนของอาหารหยาบและวัตถุดิบอาหารข้น โดยใช้วิธีถุงไนลอน

1ก. ศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนในอาหารหยาบ

จากการนำแหล่งของอาหารหยาบ 2 ชนิด คือฟางข้าวและฟางหมักยูเรียสดมาทดสอบการย่อยสลายของวัตถุแห้ง และโปรตีนในกระเพาะรูเมนแบบใช้ถุงไนลอนโดยดัดแปลงวิธีการของ Orskov *et al.* (1988) ที่ต้องบดตัวอย่างให้มีขนาด 2 มม. โดยเปลี่ยนมาเป็นตัดด้วยกรรไกรให้มีขนาดไม่เกิน 2 มม. ในสภาพเย็นจัด เพื่อป้องกันการระเหยของก๊าซแอมโมเนียในฟางหมักยูเรีย ได้ผลดังตาราง 4.1 และตาราง 4.2 จะเห็นว่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่ชั่วโมงที่ 2–12 ของการบ่มในกระเพาะรูเมน ของฟางหมักยูเรียสูงกว่าฟางข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากผลของการหมักฟางด้วยยูเรียทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งจะไปทำลายพันธะระหว่างลิกนินกับเซลลูโลส ทำให้ฟางหมักมีการย่อยสลายของวัตถุแห้งดีกว่าฟางธรรมดา ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wanapat *et al.* (1982) และ Jayasuriya and Pearce (1983) แต่เมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้นเป็น 24-72 ชั่วโมงกลับไม่พบความแตกต่างของการย่อยสลายของวัตถุแห้ง ซึ่งน่าจะเกิดจากส่วนที่ย่อยสลายง่ายที่เป็นผลจากการหมักด้วยแอมโมเนียจากยูเรีย ได้สลายตัวไปหมดแล้วในช่วง 12 ชั่วโมงแรกของการหมัก ส่วนที่เหลือจึงย่อยยากขึ้นและพบว่า เมื่อบ่มฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย ในกระเพาะรูเมนเป็นเวลา 72 ชั่วโมงจะพบการย่อยสลายของวัตถุแห้ง 66.0 และ 70.2% ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 เปอร์เซ็นต์การสลายตัวของวัตถุแห้งในฟางข้าวและฟางหมักยูเรียจากการบ่มในรูเมน ที่ชั่วโมงต่างๆ (N=3)

Table 4.1 Percentage of DM degradation of rice straw and urea-treated rice straw at different hours of rumen incubation (N=3)

Incubation time (hr)	Rice straw	Urea-treated rice straw	SEM
2	16.7369[a]	38.5432[b]	0.7452
6	18.5531[a]	40.4654[b]	1.1096
12	22.9315[a]	47.8997[b]	2.5797
24	38.0476	52.4432	5.6855
36	50.2910	59.2950	5.5560
48	57.0165	64.6779	4.2016
72	66.0062	70.2456	3.9615

[ab] means in the same row with different superscripts differ significantly ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับใส่ในถุงไนลอนในครั้งนี้ที่หั่นตัวอย่าง ซึ่งผ่านการแช่เย็นจัดโดยใช้กรรไกร กับวิธีการตามปกติของ Orskov *et al.* (1988) ที่ต้องบดตัวอย่างให้มีขนาด 2 มม. โดยใช้เครื่องบด เสาวลักษณ์ (2542) พบว่าในช่วงชั่วโมงที่ 12 ของการหมักฟางข้าวมีการย่อยสลายเท่ากับ 27.8% เทียบกับการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 22.9% จะเห็นว่าการบดตัวอย่างนั้นทำให้การสลายตัวในช่วงแรกของการบ่มดีกว่าเพราะมีขนาดชิ้นเล็กกว่า ดังนั้นในการทดลองนี้จึงไม่ใช้สมการ exponential ที่แนะนำโดยโปรแกรม NEWAY (Orskov, 1992) อ้างโดย (เสาวลักษณ์, 2542) ทำนายการย่อยสลาย เพราะใช้วิธีเตรียมตัวอย่างต่างกัน ซึ่งในประเด็นนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

การย่อยสลายของโปรตีนในฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย ดังตาราง 4.2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยฟางหมักยูเรียมีค่าสูงกว่าฟางธรรมดาในทุกๆ ระยะเวลาของการบ่ม ซึ่งน่าจะมาจากองค์ประกอบของโปรตีนในฟางหมักที่ส่วนใหญ่อยู่ในรูป NPN ที่สามารถละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังเนื่องมาจากการหมักฟางข้าวด้วยยูเรียนั้น ยูเรียได้ถูกย่อยโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ที่ติดมากับฟางหมักให้กลายเป็นแอมโมเนีย เมื่อละลายน้ำแล้วเกิดเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างสามารถย่อยพันธะของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่ผนังเซลล์ของฟางทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน สามารถเข้าย่อยโปรตีนภายในเซลล์ได้ดีขึ้น ในขณะที่โปรตีนในฟางธรรมดาอยู่ภายในผนังเซลล์ที่มีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินตลอดจนซิลิก้าสูง ซึ่งเอนไซม์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเข้าไปย่อยสลายได้ยาก จึงทำให้โปรตีนในฟางหมักยูเรียที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บ่มแล้ว 72 ชั่วโมง มีการย่อยสลายถึง 83.3% ในขณะที่โปรตีนในฟางข้าวธรรมดามีการย่อยสลายเพียง 59.3% ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง 4.2 เปอร์เซ็นต์การสลายตัวของโปรตีนรวมในฟางข้าวและฟางหมักยูเรียจากการบ่มในรูเมน ที่ชั่วโมงต่างๆ (N=3)

Table 4.2 Percentage of CP degradation of rice straw and urea-treated rice straw at different hours of rumen incubation (N=3)

Incubation time (hr)	Rice straw	Urea-treated rice straw	SEM
2	22.7943[a]	66.4450[b]	1.9033
6	25.0369[a]	66.5424[b]	2.4639
12	26.5628[a]	70.0423[b]	2.6750
24	33.6101[a]	71.9045[b]	4.3052
36	42.2560[a]	76.9122[b]	5.7483
48	49.9711[a]	81.3483[b]	3.9430
72	59.2689[a]	83.2658[b]	3.4680

[ab] means in the same row with different superscripts differ significantly ($p<0.05$)

การหาสมการที่เหมาะสมในการประเมินค่าการย่อยสลาย

ในการวัดการย่อยสลายของอาหารหยาบในกระเพาะรูเมนนั้นมีความยุ่งยาก เนื่องจากอาหารหยาบแต่ละชนิดมีระยะเวลาตกค้างในกระเพาะรูเมนนาน และแตกต่างกันออกไปตามปริมาณเยื่อใยที่อยู่ในอาหาร (Orskov, 1988) ดังนั้นจึงนิยมวัดเมื่อการย่อยสลายของวัตถุแห้งนั้นค่อนข้างคงที่หรือเมื่อการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุมากกว่า 90% ซึ่งจำเป็นต้องบ่มถุงอาหารในกระเพาะรูเมนนานกว่า 48 ชั่วโมง เมื่อนำค่า % Dry matter degradation และ % Degradation intake protein ของฟางหมักยูเรียในการทดลองนี้ที่ชั่วโมงต่าง ๆ ไปเข้าโปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY เพื่อหาค่าการย่อยสลาย โดยใช้สมการ

$$P = A + B\,(1-e^{-ct})$$

เมื่อ P = โภชนะที่หายไปที่เวลา t (degradation at time t)

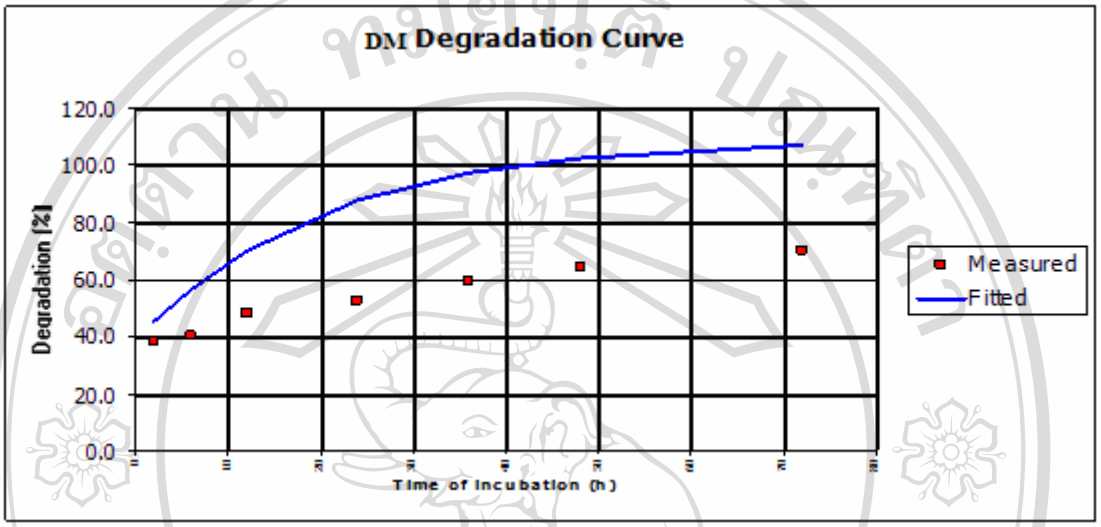
A = ส่วนที่ละลายได้ (immediately soluble material)

B = ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถหมักย่อยได้ (insoluble fermentable material)

C = อัตราการย่อยสลาย (degradation rate)

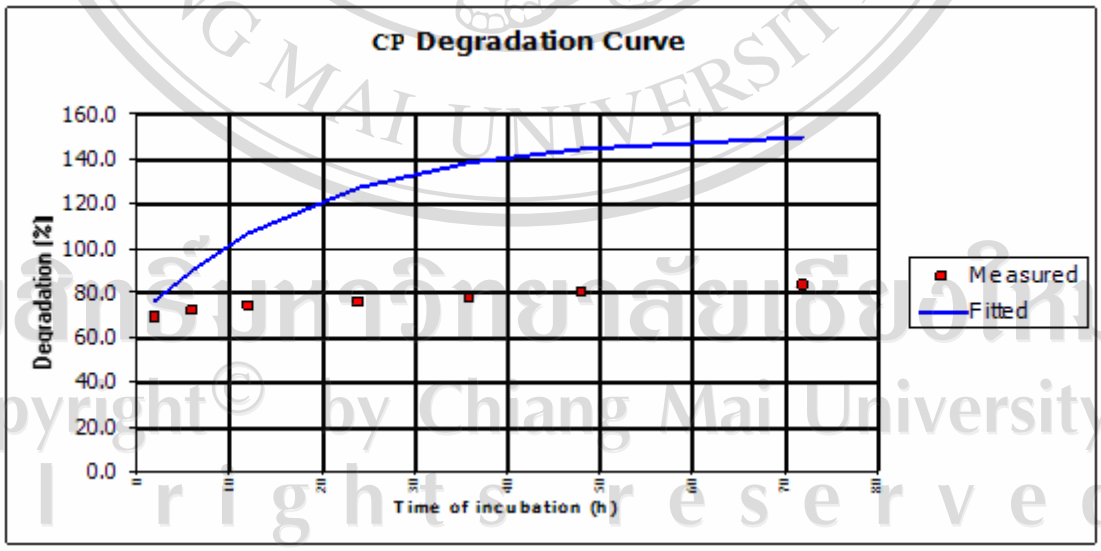
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะได้กราฟการย่อยสลายวัตถุแห้งของฟางหมักยูเรียดังภาพ 4.1 และกราฟการย่อยสลายวัตถุแห้งของฟางหมักยูเรียดังภาพ 4.2 จะเห็นว่าลักษณะเส้น fit curve นั้นอยู่ห่างจากค่าที่คำนวณไว้มาก จึงไม่เหมาะสำหรับใช้ทำนายการย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนที่สลายตัวได้



ภาพ 4.1 การย่อยสลายวัตถุแห้งของฟางหมักยูเรียที่ชั่วโมงต่างๆ ทำนายโดยโปรแกรม NEWAY

Figure 4.1 DM degradation curve of urea-treated straw different hours estimated by NEWAY program



ภาพ 4.2 การย่อยสลายโปรตีนรวมของฟางหมักยูเรียที่ชั่วโมงต่างๆ ทำนายโดยโปรแกรม NEWAY

Figure 4.2 CP degradation curve of urea-treated straw different hours estimated by NEWAY program

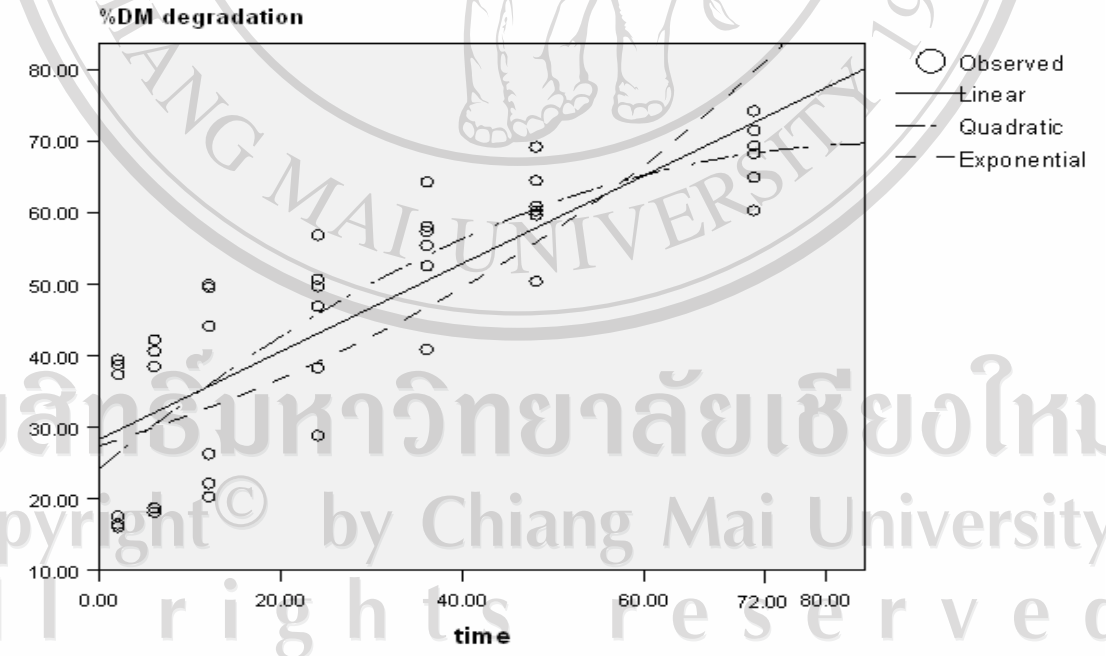
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงได้นำข้อมูลการย่อยสลายของวัตถุแห้งของอาหารหยาบทั้ง 2 ชนิด คือ ฟางข้าวและฟางหมักยูเรียมา plot กราฟและทดสอบความแม่นยำของสมการสามแบบคือ แบบ linear แบบ quadratic และแบบ exponential เพื่อหาสมการที่มีค่า R^2 สูงสุดสำหรับใช้ในการทำนาย การย่อยได้ของวัตถุแห้งและโปรตีน เมื่ออาหารหยาบมีการย่อยสลายคงที่แล้ว ผลการทดสอบสมการแสดงในตาราง 4.3 และกราฟแสดงในรูปภาพ 4.3

ตาราง 4.3 เปรียบเทียบความแม่นยำของสมการสามแบบจากข้อมูลการย่อยสลายของวัตถุแห้งในฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย

Table 4.3 Comparison the accuracy of three equations form DM degradation of rice straw and urea-treated rice straw

Type of equation	R^2	Sig. level	SEE
Linear	0.689	0.0001	9.901
Quadratic	0.717	0.0001	9.565
Exponential	0.566	0.0001	0.311



ภาพ 4.3 กราฟเส้นของการย่อยสลายวัตถุแห้งของฟางข้าวและฟางหมักยูเรียที่ชั่วโมงต่างๆ ทำนายโดยสมการสามแบบ

Figure 4.3 DM degradation curve of rice straw and urea-treated rice straw at different hours estimated by three equations

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.3 จะเห็นว่าสมการ quadratic มีค่า R^2 สูงสุด จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการทำนายการย่อยสลายได้ดีที่สุด ซึ่งดีกว่าสมการ exponential ที่มีความแม่นยำต่ำกว่า ดังนั้นสมการ quadratic ที่มีรูปแบบคือ $y = a + b_1x + b_2x^2$ จึงมีความเหมาะสมกับการใช้ในงานทดลองนี้

จากกราฟที่แสดงในภาพ 4.3 ของสมการ quadratic ซึ่งพบว่าหลังจากการบ่มถุงตัวอย่างในกระเพาะรูเมนเป็นเวลานาน 72 ชั่วโมงขึ้นไป อาหารหยาบจะมีการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่ค่อนข้างคงที่ ดังนั้นระยะเวลาบ่มอาหาร 72 ชั่วโมง จึงมีความเหมาะสมในการใช้ทำนายการย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนของฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย รูปแบบของสมการและพารามิเตอร์แสดงในตาราง 4.4

ตาราง 4.4 รูปแบบของสมการ[1/]และการประมาณค่าพารามิเตอร์ของฟางข้าว ฟางหมักยูเรีย และอาหารหยาบ[2/]

Table 4.4 Type of equation and estimate parameter value of rice straw, urea-treated rice straw and roughage

	Model Summary			Parameter Estimates		
	R^2	F	Sig. level	Constant[3/]	b_1	b_2
Rice straw	0.933	125.240	0.0001	11.653	1.292	-0.007
UTS	0.926	112.248	0.0001	37.036	0.788	-0.005
Roughage[2/]	0.717	49.362	0.0001	24.345	1.040	-0.006

[1/]Rice straw ($y = 11.653 + 1.292x - 0.007x^2$), UTS ($y = 37.036 + 0.788x - 0.005x^2$)

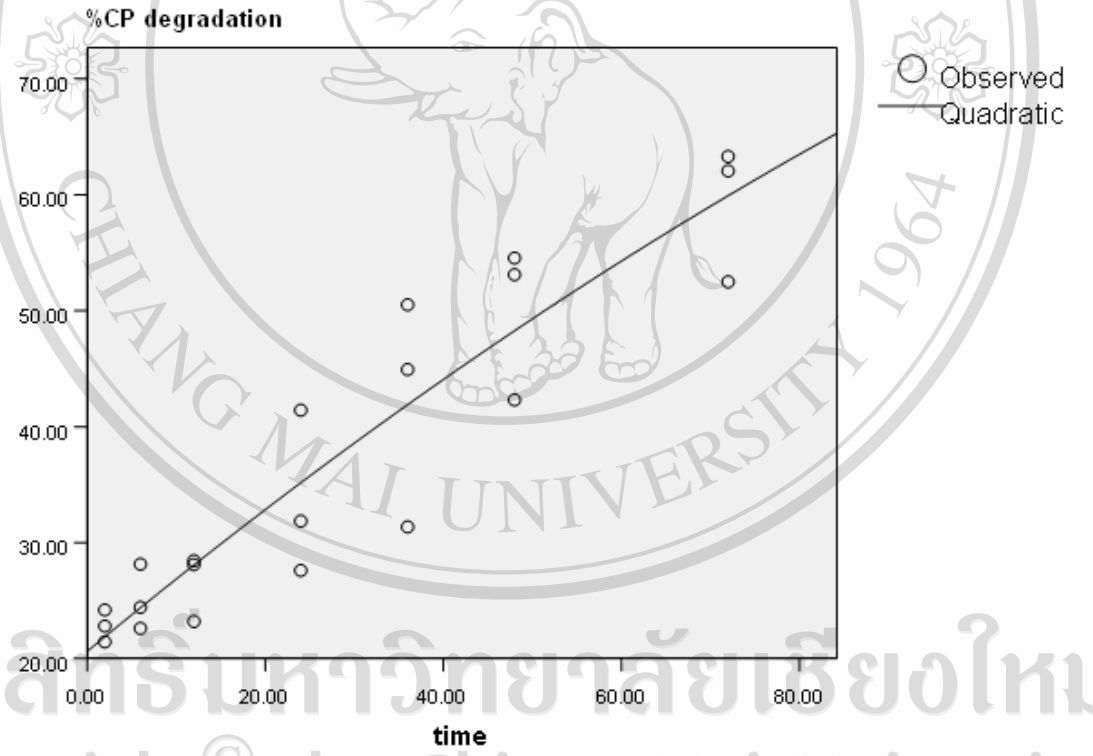
[2/]เป็นค่าเฉลี่ยของฟางข้าวและฟางหมัก

[3/]คือค่า a

อย่างไรก็ตามในการทดสอบหาการย่อยสลายของวัตถุแห้ง โดยทั่วไปอาจใช้เวลาแตกต่างจากนี้ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่อาหารหยาบตกค้างในกระเพาะรูเมน (retention time) จึงสามารถใช้สมการนี้ในการคำนวณการย่อยสลายของวัตถุแห้งโดยใช้ระยะเวลาการบ่ม (ชั่วโมง) เป็นค่า x ซึ่งเมื่อใช้ระยะเวลาบ่มที่ 48 และ 72 ชั่วโมง ทำนายการย่อยสลายแล้วจะได้ค่าของฟางข้าวเท่ากับ 57.5% และ 68.4% และของฟางหมักยูเรียเท่ากับ 63.3% และ 67.8% ตามลำดับซึ่งเบี่ยงเบนจากค่าที่แสดงไว้ในตาราง 4.1 ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จริงเล็กน้อย อย่างไรก็ดีเป็นที่น่าสังเกตว่า การใช้สมการ quadratic นี้ในการทำนายการย่อยสลายสลายของวัตถุแห้งในฟางหมักที่ 72 ชั่วโมง ได้ค่าที่ต่ำกว่าของฟางธรรมดา ซึ่งไม่น่าจะถูกต้อง แสดงว่าสมการ quadratic ยังมีจุดอ่อนอยู่บ้าง ควรมีการศึกษาหาสมการที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

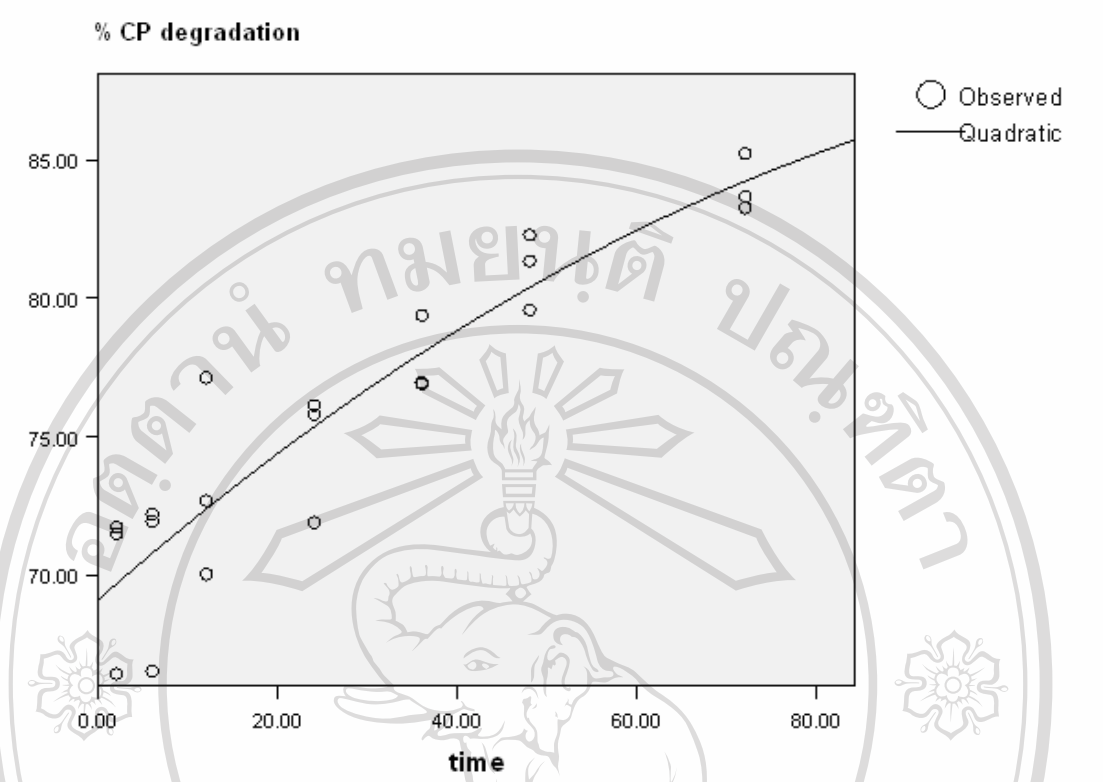
รูปแบบของการย่อยสลายของโปรตีนในฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย มีลักษณะที่แตกต่างออกไปจากการย่อยสลายของวัตถุแห้งดังแสดงในภาพ 4.4 และภาพ 4.5 โดยโปรตีนในอาหารทั้งสองชนิดยังมีการย่อยสลายต่อไป แม้การย่อยสลายของวัตถุแห้งจะค่อนข้างคงที่ที่ระยะเวลาการหมัก 72 ชั่วโมง ดังภาพ 4.3 ทั้งนี้น่าจะเนื่องมาจากโปรตีนที่ยังเหลือจากการย่อยสลายที่ 72 ชั่วโมงขึ้นไป เป็นโปรตีนที่อยู่ภายในเซลล์ของฟางและเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์บางส่วนที่เกาะติดแน่นกับผิวของอาหารหยาบ ที่เพิ่มปริมาณมากขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น และไม่สามารถชะออกหมดในกระบวนการล้าง (Orskov, 1988) โปรตีนส่วนนี้ไม่สามารถวัดได้ในการทดลองครั้งนี้ ดังนั้นจึงควรใช้ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงที่การย่อยสลายของวัตถุแห้ง ค่อนข้างคงที่แล้วเป็นช่วงใช้ทำนายการย่อยสลายของโปรตีน



ภาพ 4.4 เปอร์เซ็นต์โปรตีนรวมที่สลายตัวได้ของฟางข้าว

Figure 4.4 Percentage of CP degradation of rice straw

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.5 เปอร์เซ็นต์โปรตีนรวมที่สลายตัวได้ของฟางหมักยูเรีย

Figure 4.5 Percentage of CP degradation of urea-treated straw

เมื่อใช้ข้อมูลการย่อยสลายของโปรตีนในฟางข้าวและฟางหมักยูเรียมาสร้างสมการทำนายแบบ quadratic ได้รูปแบบของสมการดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 รูปแบบสมการ[1/]และการประมาณค่าพารามิเตอร์ของ ฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย

Table 4.5 Type of equation and estimated parameter values of rice straw and urea-treated rice straw

	Model Summary			Parameter Estimates		
	R^2	F	Sig. level	Constant[2/]	b_1	b_2
Rice straw	0.869	59.701	0.0001	20.597	0.637	-0.001
UTS	0.848	50.164	0.0001	69.136	0.285	-0.001

[1/]Rice straw ($y = 20.597 + 0.637x - 0.001x^2$), UTS ($y = 69.136 + 0.285x - 0.001x^2$)

[2/]คือค่า a

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนย่อยสลายได้ (DIP) ของฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย คำนวณโดยใช้สมการจากตาราง 4.5 ที่ชั่วโมงต่างๆ แสดงในตาราง 4.6 จะเห็นว่า DIP ของฟางข้าวที่ช่วง 72 ชั่วโมงเท่ากับ 61.3% ของโปรตีนรวม ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในเซลล์ของฟางข้าวและส่วนใหญ่เป็นโปรตีนแท้ แต่ DIP ของฟางหมักยูเรียวัดที่ 72 ชั่วโมงเช่นเดียวกันเท่ากับ 84.5% ของโปรตีนรวม ซึ่งส่วนใหญ่น่าจะเป็นโปรตีนจากไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน ได้แก่ แอมโมเนียและยูเรียที่หลงเหลือในขบวนการหมักฟางรวมกับโปรตีนแท้ที่อยู่ในเซลล์ของฟางที่น่าจะสลายตัวออกมาได้มากกว่าโปรตีนของฟางที่ไม่ผ่านการหมัก

ตาราง 4.6 เปอร์เซ็นต์การสลายตัวของโปรตีนในฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย ที่ชั่วโมงต่างๆ ทำนายโดยใช้สมการที่สร้างขึ้น

Table 4.6 Percentage of CP degradation of rice straw and urea-treated rice straw at different hours predicted by quadratic equation

	24 hours	48 hours	72 hours
Rice straw	35.3	48.9	61.3
UTS	75.4	80.5	84.5

1ข. ศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนของอาหารข้นและวัตถุดิบอาหารข้น

ในการหาการย่อยสลายของอาหารข้นและวัตถุดิบอาหารข้นในกระเพาะรูเมน ใช้วิธีการที่แนะนำโดย Orskov *et al.* (1988) โดยใช้ตัวอย่างบดให้มีขนาดไม่เกิน 2 มม. ก่อนบรรจุถุงไนลอนและนำไปบ่มในกระเพาะรูเมน เพื่อหาชั่วโมงที่เหมาะสมของการหมักซึ่งมีการย่อยสลายของวัตถุแห้งในอัตราที่ค่อนข้างคงที่ เพื่อใช้ในการทำนายโปรตีนที่ย่อยสลายได้ (DIP) ของอาหารข้น ในการทดลองได้เลือกวัตถุดิบที่เป็นตัวแทนของแหล่งพลังงานคือข้าวโพดบด ตัวแทนของแหล่งโปรตีนคือกากถั่วเหลือง ซึ่งทั้งสองชนิดนี้มีเยื่อใยต่ำ ส่วนตัวแทนของวัตถุดิบที่ผสมกันแล้วหลายชนิดคืออาหารข้นชนิดอัดเม็ดที่บดแล้ว

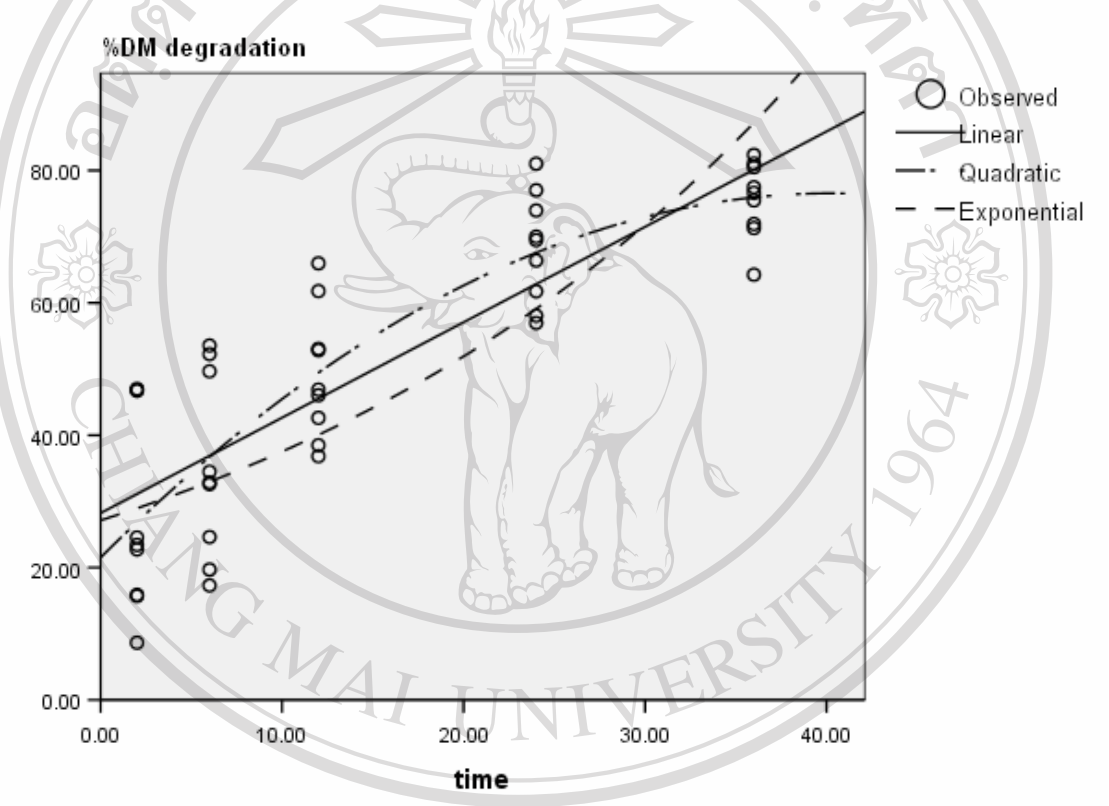
เมื่อนำข้อมูลการย่อยสลายของวัตถุแห้งในวัตถุดิบอาหารข้นทั้งสามชนิดมาสร้างกราฟ 3 แบบ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1ก. คือแบบ linear, quadratic และ exponential ได้เส้นกราฟดังภาพ 4.6 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการในรูป R^2 ดังตาราง 4.7 พบว่าสมการแบบ quadratic มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.753 ซึ่งดีกว่าแบบ linear (R^2=0.72) และแบบ exponential (R^2=0.568) เมื่อพิจารณากราฟการย่อยสลายของวัตถุแห้งในรูปแบบ quadratic จะเห็นว่าอัตราการย่อยสลายจะคงที่เมื่อหมักตัวอย่างเกิน 36 ชั่วโมงขึ้นไป ดังนั้นจึงใช้การบ่มที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อทำนายการย่อยสลายของโปรตีนในวัตถุดิบอาหารข้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.7 เปรียบเทียบความแม่นยำของสมการสามแบบในวัตถุดิบอาหารข้น

Table 4.7 Comparison the accuracy of three equations in feedstuff

Type of equation	R^2	Sig. level	SEE
Linear	0.720	0.0001	11.446
Quadratic	0.753	0.0001	10.879
Exponential	0.568	0.0001	0.361



ภาพ 4.6 กราฟเส้นของการย่อยสลายของวัตถุแห้งในอาหารข้นที่ชั่วโมงต่างๆ ทำนายโดยสมการสามแบบ

Figure 4.6 Degradation curve of DM of concentrate feed at different hours estimated by three equations

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนในวัตถุดิบอาหารข้นต่างชนิดกัน จะมีรูปแบบที่แตกต่างต่างกันไป ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบนั้นๆ เช่น ปริมาณแป้ง – น้ำตาล ปริมาณเยื่อใยและอื่นๆ ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงจัดกลุ่มวัตถุดิบออกเป็น 2

กลุ่มคือ กลุ่มที่เป็นแหล่งโปรตีน ได้แก่ กากถั่วเหลือง อาหารข้นแบบเม็ด และใบกระถิน กลุ่มที่เป็นแหล่งพลังงาน ได้แก่ ข้าวโพดบด มันเส้น และรำละเอียด

การย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนในวัตถุดิบประเภทโปรตีน

เมื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายของวัตถุแห้งของวัตถุดิบแหล่งโปรตีนที่ชั่วโมงต่างๆ ดังตาราง 4.8 จะเห็นว่า ในช่วงแรกของการบ่ม (2-12 ชั่วโมง) การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารข้นจะสูงกว่า ใบกระถินและกากถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากอาหารข้นมีคาร์โบไฮเดรตสลายตัวง่าย ซึ่งมีที่มาจากแหล่งแป้งหรือน้ำตาลในสูตรอาหาร ทำให้สลายตัวได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อบ่มนานขึ้นเป็น 24 หรือ 36 ชั่วโมง จะไม่พบความแตกต่างของการสลายตัวของวัตถุแห้งระหว่างวัตถุดิบอาหารข้นทั้งสามชนิด ($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากส่วนที่สลายตัวง่ายในอาหารข้นลดลงไปแล้ว

ตาราง 4.8 เปอร์เซ็นต์การสลายตัวได้ของวัตถุแห้งในกากถั่วเหลือง อาหารข้น และใบกระถินจากการหมักที่ชั่วโมงต่างๆ (N=3)

Table 4.8 Percentage of DM degradation of soybean meal, concentrate and leucaena leaves at different hours of incubation (n=3)

Incubation time (hr)	Soybean meal	Concentrate	Leucaena leaves	SEM
2	23.5665[a]	46.8455[c]	36.7491[b]	3.37622
6	33.3114[a]	51.8223[c]	40.5815[b]	2.73176
12	48.6636[b]	60.1990[c]	46.0362[a]	2.55241
24	68.6273	73.2630	64.0482	2.18625
36	77.7141	77.0418	73.9356	1.20275

[abc] means in the same row with different superscripts differ significantly ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสามารถในการย่อยสลายของวัตถุแห้งในวัตถุดิบแหล่งโปรตีนทั้งสามชนิด ทำนายโดยใช้โปรแกรม NEWAY ของ Orskov *et al.* (1988) วัดที่อัตราการไหลผ่าน (out flow rate) ต่างๆกัน แสดงในตาราง 4.9 จะเห็นว่าเมื่อใช้อัตราการไหลผ่านที่ 0.08 fraction ต่อชั่วโมง ซึ่งน่าจะใกล้เคียงที่สุดสำหรับวัตถุดิบอาหารข้นที่มีขนาดชิ้นเล็ก และตกค้างเป็นเวลาสั้นๆในกระเพาะรูเมน อาหารข้นสามารถถูกย่อยสลายได้สูงกว่าใบกระถินและกากถั่วเหลือง (76.5 เทียบกับ 67.6 และ 53.5% ตามลำดับ) การย่อยสลายที่สูงของอาหารข้น เนื่องมาจากมีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยดังที่กล่าวมาแล้ว

ตาราง 4.9 ความสามารถในการย่อยสลายวัตถุแห้งของกากถั่วเหลือง อาหารข้นและใบกระถินที่อัตราการไหลผ่านระดับต่างๆ

Table 4.9 Effective degradation of soybean meal, concentrate and leucaena leaves at various outflow rate

	Outflow rate (fraction/h)		
	0.02	0.05	0.08
SBM	79.1	62.4	53.5
Conc.	100	85.4	76.5
LL	94.1	76.9	67.6

เมื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายโปรตีนรวมของวัตถุดิบแหล่งโปรตีนที่ชั่วโมงต่างๆ ดังตาราง 4.10 จะเห็นว่า ทุกช่วงเวลาของการบ่ม (2-36 ชั่วโมง) การย่อยสลายโปรตีนรวมของอาหารข้นจะสูงกว่า กากถั่วเหลืองและใบกระถินอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอาหารข้นประกอบด้วยวัตถุดิบอาหารข้นหลายชนิดและยูเรีย ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนได้ง่ายกว่า นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าโปรตีนจากเมล็ดธัญพืชสามารถสลายตัวในรูเมนได้ดีกว่าโปรตีนจากใบพืช ทั้งอาจเนื่องมาจากใบพืชส่วนใหญ่มีผนังเซลล์เป็นองค์ประกอบทำให้เอนไซม์จากจุลินทรีย์เข้าย่อยโปรตีนได้ยากกว่าโปรตีนที่อยู่ในเมล็ดธัญพืช จึงทำให้โปรตีนสลายตัวได้น้อยกว่าโปรตีนในเมล็ดธัญพืช

ตาราง 4.10 เปอร์เซ็นต์การสลายตัวของโปรตีนรวมในกากถั่วเหลือง อาหารข้น และใบกระถินจากการหมัก ที่ชั่วโมงต่างๆ (N=3)

Table 4.10 Percentage of CP degradation of soybean meal, concentrate and leucaena leaves at different hours of incubation (N=3)

Incubation time (hr)	Soybean meal	Concentrate	Leucaena leaves	SEM
2	17.0742^{b}	53.0233^{c}	10.5349^{a}	6.60773
6	18.2397^{b}	59.6263^{c}	18.0577^{a}	6.93168
12	33.4668^{b}	65.5943^{c}	22.9745^{a}	6.55522
24	57.4116^{b}	78.5072^{c}	48.7173^{a}	4.65387
36	72.9644^{b}	81.1702^{c}	66.6946^{a}	2.31160

^{abc} means in the same row with different superscripts differ significantly ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปแบบการย่อยสลายของวัตถุดิบแหล่งโปรตีน คำนวณโดยใช้สมการ NEWAY แสดงในตาราง 4.11 จะเห็นว่า อาหารข้นมีโปรตีนส่วนที่สามารถละลายได้ (a=53%) สูงกว่าวัตถุดิบอื่น เนื่องจากอาหารข้นแบบเม็ดที่ใช้ทั่วไปมีการใส่ยูเรีย ดังจะเห็นได้จากรายงานของ มณีรัตน์ (2550) ที่ทำการวิเคราะห์อาหารข้นของบริษัทที่ซื้อมา พบว่ามียูเรีย 1.71% ซึ่งยูเรียสามารถละลายน้ำได้ทันที ในขณะที่กากถั่วเหลืองและใบกระถินที่ศึกษาในการทดลองนี้มีการละลายเพียง 17.1 และ 10.5% ตามลำดับ โปรตีนในอาหารข้นและกากถั่วเหลือง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมน (L=0) ในขณะที่โปรตีนจากใบกระถินจะต้องใช้เวลา 1.7 ชั่วโมง จึงเริ่มถูกย่อยสลาย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสมการทำนายการย่อยสลายแล้ว จะเห็นว่า โปรตีนที่ย่อยสลาย (A+B) ของวัตถุดิบแหล่งโปรตีนมีค่าตั้งแต่ 90–100% ซึ่งสูงมาก แสดงว่าถ้าอาหารข้นอยู่ในกระเพาะรูเมนนานโดยไม่จำกัดเวลา โปรตีนในอาหารจะสามารถถูกย่อยสลายได้หมดหรือเกือบหมด แต่ในความเป็นจริงวัตถุดิบอาหารข้นจะอยู่ในกระเพาะรูเมนเพียงชั่วระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เพราะมีขนาดชิ้นเล็ก คืออยู่ประมาณ 24-36 ชั่วโมงซึ่งเป็นระยะเวลาที่วัตถุแห้งถูกย่อยสลายจนมีอัตราค่อนข้างคงที่ การทำนายจากสภาพจริงโดยใช้สมการ quadratic จึงน่าจะมีความเหมาะสมมากกว่า

ตาราง 4.11 ค่าการย่อยสลายโปรตีนของกากถั่วเหลือง อาหารข้นและใบกระถินที่วัดโดยวิธีถุงไนลอนและทำนายโดยใช้โปรแกรม NEWAY

Table 4.11 Degradation characteristic of soybean meal, concentrate and leucaena leaves incubated *in situ* and estimated by NEWAY program

	a (%)	b (%)	c (%/h)	L (hrs)	A (%)	B (%)	A+B (%)
SBM	17.1	73.0	0.05	0.0	13.7	76.3	90.0
Conc.	53.0	81.2	0.05	0.0	32.0	68.0	100.0
LL	10.5	79.7	0.05	1.7	17.1	73.1	90.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพื่อให้สามารถทำนายโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนที่ 36 ชั่วโมง จึงนำข้อมูลการย่อยสลายของโปรตีนในวัตถุดิบแหล่งโปรตีนทั้งสามชนิดมาวิเคราะห์ในรูปสมการแบบ quadratic เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.12

ตาราง 4.12 รูปแบบสมการ[1/]และการประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการ quadratic ของวัตถุดิบแหล่งโปรตีน 2 ชนิด และอาหารข้น

Table 4.12 Type of equation and estimated parameter values of quadratic equations of 2 protein feedstuffs and concentrate

	Model Summary			Parameter Estimates		
	R^2	F	Sig. level	Constant[2/]	b_1	b_2
SBM	0.975	234.83	0.0001	9.841	2.119	-0.010
Conc.	0.871	40.62	0.0001	49.55	1.728	-0.023
LL	0.987	66.52	0.0001	4.060	2.236	-0.016

[1/] SBM ($y = 9.841 + 2.119x - 0.010x^2$), Conc. ($y = 49.55 + 1.728x - 0.023x^2$), LL ($y = 4.060 + 2.236x - 0.016x^2$)
[2/] คือค่า a

ผลการคำนวณโปรตีนที่ย่อยสลายได้ภายในกระเพาะรูเมนที่ 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของกากถั่วเหลือง อาหารข้น และใบกระถิน แสดงในดังตาราง 4.13 จะเห็นว่าเมื่อใช้การย่อยได้ที่ 36 ชั่วโมง เป็นหลัก โปรตีนที่ย่อยสลายได้ (DIP) ของวัตถุดิบทั้งสามชนิดจะเท่ากับ 73.2, 82.0 และ 63.8% ของโปรตีนรวม ตามลำดับ

ตาราง 4.13 โปรตีนสลายตัวได้ (%) ของวัตถุดิบแหล่งโปรตีนวัดที่ชั่วโมงต่างๆ

Table 4.13 Degraded intake protein (%) of protein feedstuffs measured at different hours

	12 hours	24 hours	36 hours
SBM	33.83	54.94	73.17
Conc.	66.74	77.77	81.95
LL	28.59	48.51	63.82

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนในวัตถุดิบแหล่งพลังงาน

การย่อยสลายของวัตถุแห้งของวัตถุดิบแหล่งพลังงานในกระเพาะรูเมน แสดงในตาราง 4.14 จะเห็นว่าในช่วงของการบ่มที่ 2–6 ชั่วโมง การย่อยสลายของข้าวโพดจะน้อยกว่ามันเส้นและรำละเอียดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) การทำนายค่าของวัตถุแห้งที่ละลายได้โดยโปรแกรม NEWAY ของข้อมูลชุดนี้ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ข้าวโพดบด มันเส้นและรำละเอียด จะมีค่าการละลายได้ (A) เท่ากับ 13.6, 14.9 และ 34.1% ตามลำดับ และข้าวโพดยังมีระยะรอการเข้าย่อย 0.1 ชั่วโมง ในขณะที่วัตถุดิบอีกสองชนิดนั้นจะเริ่มสลายตัวทันที เมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมน ดังตาราง 4.15

อย่างไรก็ตามเมื่อบ่มเป็นเวลานานขึ้นเป็น 36 ชั่วโมง มันสำปะหลังจะมีการย่อยสลายของวัตถุแห้งสูงสุด (86.9%) ซึ่งมากกว่ารำละเอียดและข้าวโพดบดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยข้าวโพดบดมีการสลายตัวของวัตถุแห้ง เมื่อบ่มเป็นเวลา 36 ชั่วโมง ต่ำสุดคือ 72.2% ทั้งนี้เนื่องจากมันสัมปะหลังประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ง่าย

ตาราง 4.14 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งที่สลายตัวได้ของข้าวโพดบด มันเส้น และรำละเอียดจากการหมักที่ชั่วโมงต่างๆ (N=3)

Table 4.14 Percentage of DM degradation of ground corn, cassava chips and rice bran at different hours of incubation (N=3)

Incubation time (hr)	Ground corn	Cassava chip	Rice bran	SEM
2	13.4055[a]	17.2532[b]	38.5805[c]	4.10183
6	20.5314[a]	23.7212[b]	45.6507[c]	4.07897
12	39.3134[b]	32.9291[a]	54.4954[c]	3.46197
24	62.9924	59.6786	72.2808	2.88639
36	72.2311[a]	86.8624[c]	84.5028[b]	2.79585

[abc] means in the same row with different superscripts differ significantly ($p<0.05$)

ตาราง 4.15 ค่าการย่อยสลายวัตถุแห้งของข้าวโพดบด มันเส้นและรำละเอียดที่วัดโดยถุงไนลอนและทำนายโดยใช้โปรแกรม NEWAY

Table 4.15 Degradation characteristic of ground corn, cassava chip and rice bran incubated *in situ* and estimated by NEWAY program

	a (%)	b (%)	c (%/h)	L (hrs)	A (%)	B (%)	A+B (%)
GC	13.4	72.2	0.05	0.1	13.6	72.0	85.6
Cas	17.3	86.9	0.0	0	14.9	85.1	100
RB	38.6	85.4	0.05	0	34.1	65.9	100

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนการย่อยสลายของโปรตีนในวัตถุดิบแหล่งพลังงานที่คำนวณโดยใช้สมการ NEWAY ดังตาราง 4.16 แสดงว่าโปรตีนในรำละเอียด จะมีการสลายตัวทันที เมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมน (L=0) ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นส่วนที่มีโมเลกุลเล็ก เช่น เปบไทด์และอื่นๆ ที่สามารถสลายได้ง่าย ในขณะที่โปรตีนในมันสำปะหลังและข้าวโพดใช้ระยะเวลานานกว่าในการเริ่มย่อยสลาย (L=6.4 และ 6.2

ชั่วโมง) ซึ่งคาดว่าเป็นโปรตีนจากส่วนเปลือกของหัวมันหรือโปรตีนในส่วนที่แข็งของเมล็ดข้าวโพด เมื่อพิจารณาถึงการย่อยสลายของโปรตีนโดยรวม (A+B) จะเห็นว่ามีค่าค่อนข้างสูง โดยเฉพาะรำละเอียดและมันเส้นมีค่าสูงมาก ซึ่งอาจเนื่องมาจากจุดอ่อนบางประการของโปรแกรม NEWAY ดังนั้นจึงใช้สมการ quadratic มาประมาณค่าโปรตีนย่อยสลายของวัตถุดิบแต่ละชนิด ดังตาราง 4.17 เช่นเดียวกับวัตถุดิบแหล่งโปรตีนที่กล่าวมาแล้ว แทนการประมาณจากค่าการสลายรวม (A+B)

ตาราง 4.16 ค่าการย่อยสลายโปรตีนของข้าวโพดบด มันเส้น และรำละเอียดที่วัดโดยถุงไนลอนและทำนายโดยใช้โปรแกรม NEWAY

Table 4.16 Degradation characteristic of ground corn, cassava chips and rice bran incubated *in situ* and estimated by NEWAY program

	a (%)	b (%)	c (%/h)	L (hrs)	A (%)	B (%)	A+B (%)
GC	18.0	47.7	0.05	6.4	31.0	34.7	65.7
Cas	11.6	86.0	0.05	6.2	34.6	62.9	97.6
RB	34.8	82.1	0.05	0.0	33.3	67.7	100

ตาราง 4.17 รูปแบบสมการ[1/]และการประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการ quadratic ของวัตถุดิบแหล่งพลังงาน 3 ชนิด

Table 4.17 Type of equation and estimated parameter values of quadratic equations of 3 energy feedstuffs.

	Model Summary			Parameter Estimates		
	R^2	F	Sig.	Constant[2/]	b_1	b_2
GC	0.692	13.491	0.0001	13.49	1.831	-0.024
Cas	0.978	261.289	0.0001	7.929	1.630	0.015
RB	0.954	124.685	0.0001	31.528	1.314	0.003

[1/]GC ($y = 13.49 + 1.831x - 0.024x^2$), Cas ($y = 7.929 + 1.630x + 0.015x^2$), RB ($y = 31.528 + 1.314x + 0.003x^2$)

[2/]คือค่า a

โปรตีนย่อยสลายได้ (DIP) ที่ 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ภายในกระเพาะรูเมนของวัสดุแหล่งพลังงาน แสดงในตาราง 4.18 เมื่อประมาณค่าที่ 36 ชั่วโมง โดยใช้สมการ quadratic จากตาราง 4.17

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แล้ว พบว่า DIP ของข้าวโพด มันสำปะหลังและรำละเอียด มีค่าเท่ากับ 48, 86 และ 82.7% ตามลำดับ

ตาราง 4.18 โปรตีนสลายตัวได้ (%) ของวัตถุดิบแหล่งพลังงานวัดที่ชั่วโมงต่างๆ

Table 4.18 Degraded intake protein (%) of energy feedstuffs measured at different hours

	12 hours	24 hours	36 hours
Ground corn	31.71	43.32	48.0
Cassava chips	29.65	55.69	86.0
Rice bran	47.73	64.79	82.7

ผลการศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนในอาหารหยาบ และวัตถุดิบอาหารข้นในการทดลองที่ 1ก. และ 1ข. สามารถบอกการสลายตัวที่ชั่วโมงต่างๆของอาหารในกระเพาะรูเมน ซึ่งในการสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์นั้นจะเป็นไปอย่างรวดเร็วนั้น จึงต้องมีแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่สลายตัวง่ายหรือละลายได้ ซึ่งได้แก่แป้งและน้ำตาล และส่วนของโปรตีนที่ละลายได้อยู่สูง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม NEWAY ทำให้ทราบส่วนที่ละลายได้ (ค่า A) ทั้งในแง่ของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน จึงอาจนำมาบ่งชี้ประสิทธิภาพของการสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ได้ทางหนึ่ง และเนื่องจากการทดลองนี้ไม่ได้ศึกษาคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่ละลายได้โดยตรง จึงนำค่า A มาแสดงดังตาราง 4.19

ตาราง 4.19 ค่าการละลายได้ (%) ของวัตถุแห้งและโปรตีนในกระเพาะรูเมน

Table 4.19 Soluble DM and CP (%) in the rumen

	DM	CP
Urea treated rice straw	-	69.1
Ground corn	13.6	31.1
Cassava chips	14.9	34.6
Rice bran	34.1	33.3
Soybean meal	22.7	17.3
Leucaena leaves	29.3	17.1
Concentrate	26.4	32.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางจะเห็นว่าในบรรดาวัตถุดิบแหล่งพลังงานคือ ข้าวโพดบด มันเส้นและรำละเอียด นั้น รำละเอียดมีส่วนที่ละลายได้มากที่สุด (34.1%) ซึ่งน่าจะเนื่องมาจากมีส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้และไขมันสูงกว่าวัตถุดิบอีกสองชนิดที่มีค่าระหว่าง 13.6–14.9% สำหรับวัตถุดิบแหล่งโปรตีนนั้น อาหารข้นมีโปรตีนละลายได้มากที่สุด (32.0%) ซึ่งน่าจะเป็นส่วนของ NPN ที่มาจากการใช้ยูเรียผสมลงไปในสูตรอาหารดังได้กล่าวมาแล้ว ส่วนกากถั่วเหลืองและใบกระถินมีค่าระหว่าง 17.1–17.3%

การที่รำละเอียดและอาหารข้นมีการละลายได้ดี อาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในรูเมน เพราะช่วยให้จุลินทรีย์ได้รับพลังงานและไนโตรเจนอย่างรวดเร็วในการนำไปใช้สร้างโปรตีนของตัวมันเอง อย่างไรก็ตามอาหารชนิดอื่นที่มีการละลายได้น้อยหรือย่อยสลายได้ช้ากว่าก็นับว่ามีประโยชน์เช่นกัน เพราะช่วยให้จุลินทรีย์ในรูเมนได้รับอาหารอย่างสม่ำเสมอ และ pH ในรูเมนค่อนข้างคงที่ไม่ผันแปรมากเกินไป ซึ่งเหมาะแก่การทำงานและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นการทราบค่าเหล่านี้จึงนับว่ามีประโยชน์ เพื่อช่วยให้การจัดสัดส่วนอาหารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การทดลองที่ 2 ผลผลิตของโคนมเลี้ยงด้วยอาหารที่มีแหล่งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนสลายตัวได้ต่างๆกัน

ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร

ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้เลี้ยงโคนมแสดงในตารางที่ 4.20 จะเห็นได้ว่า ฟางหมักยูเรียมีวัตถุแห้ง 78.4% และมีโปรตีน 8.83% ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ อุทัย (2550) ที่ใช้ฟางอัดฟ่อนหมักยูเรีย 6% และน้ำปริมาณ 50% ของน้ำหนักฟาง ซึ่งได้ค่าดังกล่าวเท่ากับ 77.89และ 7.88% ตามลำดับเมื่อคำนวณปริมาณโปรตีนย่อยสลายได้ (DIP) ของฟางหมักยูเรียโดยใช้ผลจากการทดลองที่ 1ก. พบว่าฟางหมักยูเรียมี DIP เท่ากับ 7.46% ของปริมาณโปรตีนรวม (CP) ซึ่งเมื่อนำค่าการละลายของโปรตีนของฟางหมักในตาราง 4.17 มาคำนวณ จะได้ค่าโปรตีนสลายได้เท่ากับ 6.10% ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป ammonia protein ฟางหมักยูเรียมีเยื่อใย NDF และ ADF เท่ากับ 70.7 และ 45.8% ซึ่งอยู่ในช่วงปกติของฟางหมักดังที่ อุทัย (2550) และ ดำรัส (2545) รายงานไว้ ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารข้น เช่น ข้าวโพดบด รำละเอียด กากถั่วเหลือง ใบกระถิน มันเส้น และอาหารข้น อยู่ในช่วงปกติทั่วไปตามที่ ดุจดาว(2548) จิรวรรณ (2549) มณีรัตน์ (2550) และ ธนมน (2550) เคยรายงานไว้ อาหารข้นที่ใช้ทดลองมีโปรตีน 19.6% ซึ่งต่ำกว่าฉลากที่กำหนดไว้ที่ 20% โดยอาหารข้นมี DIP 16% ซึ่งคิดเป็น 80% ของ CP ในขณะที่ DIP ของวัตถุดิบอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันไปโดยผันแปรระหว่าง 48–86% ของ CP ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนที่ละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ และความสามารถของจุลินทรีย์ในการเข้าย่อยสลายโปรตีนในวัตถุดิบอาหารข้นแต่ละชนิด ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่สลายตัวได้ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ใช่เยื่อใย (non fibrous carbohydrate, NFC) ของข้าวโพดบดและมันเส้นอยู่ในช่วง 70–84% ซึ่งสูงกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นๆที่อยู่ในช่วง 34-37%

ตาราง 4.20 ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้เลี้ยงแม่โคนม

Table 4.20 Chemical composition of feedstuffs fed to dairy cows

	%DM basis											
	DM	CP	DIP	EE	Ash	CF	NFE	NFC	NDF	ADF	ADL	TDN
UTS	78.36	8.83	7.46	2.23	10.96	29.05	48.93	7.30	70.68	45.76	3.76	52.82[1/]
Mo	73.98	4.12	4.12	0.23	10.39	-	85.26	85.26	-	-	-	72.00[2/]
GC	91.65	7.18	3.45	3.28	1.37	1.80	86.37	70.61	17.56	3.82	0.61	81.85[1/]
RB	93.84	15.48	12.80	20.31	10.31	6.19	47.71	35.07	18.83	8.10	2.95	86.80[1/]
SBM	91.18	41.12	30.10	3.82	6.29	5.05	43.72	34.36	14.41	7.61	0.65	83.86[1/]
LL	92.54	21.70	13.85	3.41	7.56	10.93	56.4	37.10	30.23	19.46	10.17	74.31[1/]
Cas	89.99	2.77	2.38	1.10	2.44	23.54	70.15	84.52	9.17	6.28	1.14	68.53[1/]
Conc.	92.08	19.57	16.04	3.25	6.48	14.40	56.30	35.94	34.76	20.19	8.20	70.46[1/]

Note : UTS = urea – treated rice straw, Mo = molasses, GC = ground corn, RB = rice bran, SBM = soybean meal, LL = leucaena leaves, Cas = cassava chips, Conc. = concentrate

[1/] TDN was calculated from equations of Kearl (1982) as follows :

TDN of dry roughage (%DM) = -17.2469+1.2120(%CP)+0.8352 (%NFE)+ 2.4637 (%EE) + 0.4475 (%CF)

TDN of energy feed (%DM) = 40.2625+0.1969(%CP) +0.4228(%NFE) + 1.1903 (%EE) – 0.1379(%CF)

TDN of protein supplement (%DM) = 40.3227+0.5398(%CP)+0.4448(%NFE) + 1.4218(%EE) – 07007(%CF)

[2/]TDN value from NRC (1988)

อาหารหยาบผสมซึ่งประกอบด้วยแหล่งเยื่อใยคือ ฟางหมักยูเรีย แหล่งคาร์โบไฮเดรตไม่ใช่เยื่อใยคือ กากน้ำตาล รำละเอียด ข้าวโพดบด หรือมันเส้น แหล่งโปรตีนคือ กากถั่วเหลือง หรือใบกระถินแห้ง ดังสูตรในตาราง 3.1 เมื่อคำนวณส่วนประกอบทางโภชนะโดยใช้ตาราง 4.20 ประกอบ ได้ผลดังตาราง 4.21 จะเห็นว่าอาหารหยาบผสมทั้งสามสูตรมีโปรตีนใกล้เคียงกัน คืออยู่ระหว่าง 9.4–9.6% มี DIP ระหว่าง 7.5–7.9% มี NFC ระหว่าง 21.9–23.3% มีสัดส่วน NFC/DIP ระหว่าง 2.86–2.97% และมี TDN ระหว่าง 59–60.5% ซึ่งใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะคำนวณสูตรให้มีโภชนะเพียงพอกับความต้องการตามคำแนะนำของ NRC (1988) โดยใช้โปรแกรม MRATION (สมคิด, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.21 องค์ประกอบทางเคมี (% ของวัตถุแห้ง) ของอาหารหยาบผสม 3 สูตร จากการคำนวณ

Table 4.21 Calculated chemical composition (DM basis) of three mix roughage

Nutrient	T1	T2	T3
DM	80.67	80.58	80.42
CP	9.50	9.62	9.43
DIP	7.64	7.45	7.88
EE	3.62	2.38	3.11
Ash	9.71	9.51	9.74
CF	21.90	22.44	24.46
NFE	55.17	56.15	53.26
NFC	21.90	22.13	23.32
NDF	55.27	56.46	56.17
ADF	34.50	35.68	34.92
ADL	3.10	3.83	3.11
NFC/DIP ratio	2.86	2.97	2.96
TDN	60.54	59.36	58.96

ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม

เมื่อใช้อาหารหยาบทั้งสามชนิดเลี้ยงโคนมลูกผสมขาวดำ โดยให้กินอาหารหยาบผสมวันละ 12 กก. เท่ากัน และเสริมอาหารข้นในอัตรา 1 กก. ต่อน้ำนมที่ให้ 2 กก. พบว่าโคกินอาหารโดยรวมได้เท่ากัน 3.28–3.32% ของน้ำหนักตัวใกล้เคียงกัน แสดงว่าอาหารหยาบผสมทั้งสามชนิดมีความน่ากินเท่าๆกัน การทดลองของ อุทัย (2550) ได้ผลที่คล้ายกับการทดลองนี้ คือโคกินอาหารหยาบผสมที่ทำจากฟางหมักยูเรีย โดยกินอาหารรวมได้ 3.46–3.48% ของน้ำหนักตัว อย่างไรก็ตาม ดำรัส (2545) ได้ทดลองใช้ฟางหมักยูเรียสดร่วมกับอาหารข้นเลี้ยงโคนม พบว่าโคกินอาหารได้ 2.85% ของน้ำหนักตัว ซึ่งน้อยกว่า คาดว่าการกินอาหารเพิ่มขึ้นในการทดลองนี้เพราะมีการใช้กากน้ำตาล ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง และอื่นๆ ผสมในอาหารหยาบผสม จึงทำให้มีความน่ากินมากขึ้น นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากฟางหมักยูเรียที่ ดำรัส (2545) ใช้นั้นมีวัตถุแห้งต่ำกว่า (57.38 เทียบกับ 78.36%) เนื่องจากใช้น้ำในการละลายยูเรียในปริมาณมากกว่า 100 เทียบกับ 50% ของน้ำหนักฟาง ซึ่งการที่สัตว์กินอาหารที่มีความชื้นสูง (หรือมีวัตถุแห้งต่ำ) จะกินอาหารคิดเป็นปริมาณวัตถุแห้งได้น้อยลง และผลนี้จะเห็นชัดยิ่งขึ้นถ้าอาหารนั้นอยู่ในรูปของพืชหมัก (NRC, 1988) สอดคล้องกับรายงานของ บุญล้อมและทิพย์วรรณ (2531) ที่พบว่าแกะกินเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนในสภาพแห้งได้มากกว่าสภาพสดและสภาพที่เป็นพืชหมัก (DMI=2.7 เทียบกับ 1.6 และ 1.2% ของน้ำหนักตัว ตามลำดับ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณโภชนะ คือ CP, DIP, NDF, ADF และ TDN ที่โคแต่ละกลุ่มได้รับไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามโคนมกลุ่มที่กินอาหารหยาบผสมที่ใส่ใบกระถินเป็นแหล่งโปรตีน (T2) ได้รับ EE น้อยกว่ากลุ่มที่ใช้รำละเอียดร่วมกับกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานและโปรตีน (T1 และ T3) ทั้งนี้เพราะรำมีไขมัน 20.3% ดังตาราง 4.20 ซึ่งมากกว่าใบกระถินที่มีเพียง 3.4% และในอาหารผสม T2 ไม่ใส่รำละเอียดเป็นส่วนผสม

ตาราง 4.22 ปริมาณการกินได้และโภชนะที่โคได้รับเมื่อเลี้ยงด้วยอาหาร 3 สูตร

Table 4.22 Feed and nutrient intake of milking cows fed three rations

	T1		T2		T3		SEM
Dry matter intake							
-kg/cow/day	16.01		16.38		16.49		0.178
-% BW	3.32		3.28		3.30		0.035
SDM intake (kg/cow/day)	2.88		2.86		2.87		0.001
Mixed roughage intake							
-kg/day	9.47		9.21		9.30		0.159
-% BW	1.92		1.87		1.9		0.031
Concentrate intake (kg/cow/day)	6.98		6.98		6.98		-
Nutrient intake (kg/cow/day)							
CP	2.24	(13.99)	2.26	(13.80)	2.25	(13.64)	0.025
SCP	0.93	(5.81)	0.93	(5.68)	0.95	(5.76)	0.012
DIP	1.81	(11.31)	1.82	(11.11)	1.87	(11.34)	0.014
EE	0.57[c]	(3.56)	0.45[a]	(2.75)	0.52[b]	(3.15)	0.004
Ash	1.32	(8.24)	1.34	(8.18)	1.38	(8.37)	0.020
CF	2.94	(18.36)	3.1	(18.93)	3.32	(20.13)	0.056
NFE	8.96	(55.97)	9.23	(56.35)	9.00	(54.58)	0.093
NFC	4.58[a]	(28.61)	4.63[a]	(28.27)	4.75[b]	(28.81)	0.013
NDF	7.32	(45.72)	7.69	(46.95)	7.57	(45.91)	0.135
ADF	4.46	(27.86)	4.73	(28.88)	4.71	(28.56)	0.088
ADL	0.84	(5.25)	0.93	(5.68)	0.86	(5.22)	0.007
NFC/DIP ratio	2.53	-	2.55	-	2.55	-	0.012
TDN	10.43	(65.15)	10.52	(64.22)	10.53	(63.86)	0.101

abc: means in the same row with different superscript differ significantly ($p<0.05$)

(...) figures in perentheses are the nutrients intake calculated as percentage of DM intake

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลผลิตน้ำนมของโคเมื่อให้อาหารหยาบผสมทั้งสามชนิด แสดงในตาราง 4.23 จะเห็นว่าปริมาณน้ำนมต่อวันของโคทั้งสามกลุ่มไม่แตกต่างกัน โดยให้ผลผลิตระหว่าง 14.1–14.3 กก. ซึ่งเมื่อคิดเป็นนมปรับ 4% ไขมันแล้วจะมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 13.7–13.9 กก. ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งในกลุ่มที่ใช้ข้าวโพดบดเป็นแหล่ง NFC (T1 และ T2) เทียบกับกลุ่มที่ใช้มันเส้นเป็นแหล่ง NFC (T3) และกลุ่มที่ใช้กากถั่วเหลืองและรำละเอียดเป็นแหล่งโปรตีน (T1 และ T3) เทียบกับกลุ่มที่ใช้ใบกระถินเป็นแหล่งโปรตีน (T2) เนื่องจากโคทุกกลุ่มได้รับ NFC, CP, DIP และ SCP ใกล้เคียงกันดังตาราง 4.22 ส่วนประกอบน้ำนมอื่นๆ เช่น ไขมันนม น้ำตาลนม ของแข็งในน้ำนม ของแข็งไม่รวมไขมันและผลผลิตของโภชนะในน้ำนมต่อวัน ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารหยาบผสมที่มีแหล่ง NFC และโปรตีนที่แตกต่างกัน โดยอัตราส่วนของ NFC/DIP ในการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกัน ระหว่าง 2.86-2.97 ดังนั้นจึงใช้ข้าวโพดบดและมันเส้นเป็นแหล่งของพลังงานแทนกันได้และใช้ใบกระทินแทนกากถั่วเหลืองและรำละเอียดที่เป็นแหล่งโปรตีนได้เช่นเดียวกัน

ตาราง 4.23 ผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนมของแม่โคที่ได้รับอาหารต่างชนิดกัน

Table 4.23 Yield and composition of milk from cows fed different rations

	T1	T2	T3	SEM
Milk production (kg/day)	14.31	14.08	14.31	0.17
4% Fat corrected milk (kg/day)	13.82	13.67	13.86	0.27
Milk composition (%)				
Fat	3.82	3.84	3.82	0.09
Protein	3.37	3.33	3.38	0.03
Lactose	4.42	4.38	4.43	0.07
Total solid	12.23	12.12	12.29	0.08
Solid not fat	8.47	8.37	8.42	0.04
Milk composition (kg/day)				
Fat	0.54	0.54	0.54	0.02
Protein	0.48	0.47	0.48	0.01
Lactose	0.63	0.61	0.63	0.01
Total solid	1.75	1.69	1.74	0.02
Solid not fat	1.20	1.17	1.20	0.02

FCM = 0.4(kg of milk) + 15(kg of fat)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเข้มข้นของโภชนะในอาหารที่กินคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งของอาหารหยาบผสมแต่ละทรีทเมนต์ มีค่าใกล้เคียงกัน คือมีโปรตีน 13.6–14.0% มี NFC 28.3–28.8% มี DIP 11.1–11.3% มี SCP 5.7–5.8% มีอัตราส่วนของ NFC/DIP 2.5–2.6% และมี ADF 27.6–28.9% ซึ่งอยู่ในช่วงปกติที่แนะนำในอาหารโคนม (OSUE, 1996) ในการทดลองครั้งนี้ อาหารที่โคกินมี NFC ประมาณ 28.5% เนื่องจากอาหารหยาบที่ใช้คือฟางหมักยูเรีย ซึ่งมี NFC ต่ำ การเพิ่มระดับ NFC จึงน่าจะทำให้โคให้น้ำนมเพิ่มขึ้น ดังการทดลองของ Cherney *et al.* (2003) ที่พบว่าการเพิ่มระดับ NFC 30.0 และ 31.4% เป็น 35.7 และ 36.5% ในอาหารทำให้น้ำนมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดี Kalscheur *et al.* (2006) พบว่าระดับ NFC ที่มากกว่า 40.5% ทำให้น้ำนมลดลง

ความเข้มข้นของโปรตีนย่อยสลายได้ (DIP) ในอาหารของโคมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 11.1–11.3% และคิดเป็นโปรตีนละลายได้ (SCP) ระหว่าง 5.7–5.8% ซึ่งอยู่ในช่วงทั่วไปที่ OSUE (1996) แนะนำ อย่างไรก็ตาม Reynal and Broderick (2005) พบว่าโคที่ได้รับอาหารมี DIP 12–13% จะให้นมเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มี DIP 10.7% นอกจากนั้น Kalscheur *et al.* (2006) ยังรายงานว่าระดับ DIP ที่ 11% ทำให้โคให้น้ำนมดีกว่าที่ระดับ 6.8-9.6% ดังนั้นการเพิ่มระดับ DIP ให้สูงขึ้นกว่าการทดลองนี้น่าจะทำให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น

อัตราส่วนของ NFC ต่อ DIP ของอาหารโคทดลองที่มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.5–2.6 ซึ่งอยู่ในช่วงปกติตามที่ OSUE (1996) แนะนำว่าทำให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการเพิ่มอัตราส่วนจาก 2.6 เป็น 2.8 จะทำให้การสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ดีขึ้น ดังรายงานของ Stokes *et al.* (1991) แต่เมื่อเพิ่มจนอัตราส่วนมากกว่า 4.85 กลับทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง อย่างไรก็ดีอาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีอัตราส่วนดังกล่าวเฉลี่ย 2.54 ซึ่งยังสามารถเพิ่ม NFC ได้อีก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาต่อไป

ต้นทุนการผลิตน้ำนม

ต้นทุนการผลิตน้ำนมและกำไรเมื่อหักค่าอาหารแล้วของโคทั้งสามกลุ่ม แสดงในตาราง 4.24 จะเห็นว่าต้นทุนการผลิตน้ำนมของโคเป็นค่าอาหารข้นเป็นส่วนใหญ่ โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 65.7–66.9% ของต้นทุนทั้งหมด เป็นค่าอาหารหยาบผสมเพียง 33.1–34.3% ของต้นทุนทั้งหมด โคนมทดลองมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนม 1.12–1.15 กก.ต่อน้ำนม 1 กก. และ 1.16–1.19 กก.ต่อน้ำนม 4%FCM 1 กก. ต้นทุนการผลิตต่อวัน คิดเฉพาะค่าอาหารของโคกลุ่มที่ใช้ใบกระถินเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารหยาบผสมมีค่าต่ำสุด เพราะใบกระถินมีราคาถูก แต่เนื่องจากโคกลุ่มที่ใช้ข้าวโพดบดหรือมันเส้นเป็นแหล่ง NFC และใช้กากถั่วเหลืองและรำละเอียดเป็นแหล่งโปรตีนมีอัตราการเปลี่ยนอาหารต่ำกว่า จึงทำให้มีกำไรโดยรวมใกล้เคียงกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.24 ค่าอาหารและรายรับในการผลิตน้ำนมหลังหักค่าอาหาร

Table 4.24 Feed cost and income over feed of milk production

	T1	T2	T3
Milk production (kg/day)	14.31	14.08	14.31
4 % FCM (kg/day)	13.82	13.67	13.86
FCR (feed DM/kg milk)			
Milk	1.12	1.14	1.15
4% FCM	1.16	1.17	1.19
Price of concentrate (baht/kg)	9.08	9.08	9.08
Concentrate cost (baht/day)	62.76	62.76	62.76
Price of mixed roughage (baht/kg)	3.41	3.24	3.42
Mixed roughage cost (baht/day)	32.8	31.1	32.8
Total feed cost (baht/day)	95.56	93.86	95.56
Cost of milk production (baht/kg)	6.68	6.67	6.68
Cost of 4 %FCM (baht/kg)	6.91	6.87	6.89
Income over feed (baht/kg milk)	5.82	5.83	5.82
Income over feed (baht/4 %FCM)	5.59	5.63	5.61

Note : Income over feed (bath/kg milk) = $\frac{\text{[milk yield(kg/d) x milk price (baht/kg)]- feed cost}}{\text{milk yield (kg/d)}}$

Milk price = 12.5 (baht/kg)

Cost of feed (bath/kg as fed basis) : urea – treated rice straw = 1.60, leucaena leaves = 4.50, cassava chips = 4.50, molasses = 7.00, ground corn = 5.50, rice bran = 5.00, soybean meal = 11.00

ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและส่วนประกอบของน้ำนม

ผลของระดับ NFC และ DIP ที่โคกิน ซึ่งมีต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและส่วนประกอบน้ำนม สามารถแสดงในรูปสหสัมพันธ์ (correlation) เมื่อนำข้อมูลของ การให้ผลผลิตและโภชนะที่โคนมได้รับเป็นรายตัวในทุกๆทรีทเมนต์มาวิเคราะห์ ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.25 จะเห็นได้ว่า น้ำนมของโคมีความสัมพันธ์กับส่วนประกอบของน้ำนมตรงตามทฤษฎีคือ เมื่อปริมาณนมเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ไขมันนม โปรตีนนม น้ำตาลนม ของแข็งในน้ำนมโดยรวม และของแข็งในนมที่ไม่รวมไขมันจะลดลง โดยพบค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (r) มีค่าเป็นลบและมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาในด้านอาหารพบว่า ปริมาณน้ำนมมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับปริมาณวัตถุแห้งที่กินและปริมาณโปรตีนที่กิน ซึ่งหมายความว่าถ้าโคสามารถกินวัตถุแห้งได้เพิ่มขึ้น และได้รับโปรตีนเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำนมเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นปริมาณน้ำนมยังมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) กับปริมาณโปรตีนสลายตัวได้ (DIP) ที่โคได้รับ ปริมาณ NFC ที่ได้รับ และปริมาณ TDN ที่ได้รับ การที่ปริมาณวัตถุแห้งละลายได้ (SDM) มีผลต่อปริมาณน้ำนม เนื่องจากประกอบด้วย NFC และโปรตีน ที่สลายได้ (DIP) NFC ประกอบด้วยแป้งและน้ำตาลเป็นหลัก ซึ่งละลายได้ง่ายและจะถูกเปลี่ยนเป็นกรด propionic ในกระเพาะรูเมน ซึ่งเมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด จะถูกส่งมาเปลี่ยนเป็นกลูโคสที่ตับและถูกลำเลียงไปสร้างเป็นน้ำตาลนม (lactose) ในต่อมสร้างน้ำนม ดังนั้นเมื่อโคได้รับ NFC เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ lactose เพิ่มขึ้นและทำให้น้ำนมเพิ่มขึ้นด้วย

ปริมาณของโภชนะที่โคได้รับ คือ CP, DIP, NFC, TDN และ SCP ไม่มีความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญกับเปอร์เซ็นต์โภชนะในน้ำนม ทั้งนี้เพราะโคทดลองให้นมไม่เท่ากัน และความเข้มข้นของโภชนะยังลดลงเมื่อปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงนำปริมาณโภชนะที่โคผลิตในน้ำนมต่อวันมาศึกษาสหสัมพันธ์กับปริมาณโภชนะที่โคกิน ดังตาราง 4.26 จะเห็นว่าโภชนะในน้ำนมที่โคผลิตจะมากตามปริมาณนมที่รีดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และมากขึ้นตามปริมาณโภชนะที่โคได้รับอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาถึงโภชนะในน้ำนมเป็นรายตัวจะเห็นว่า ปริมาณไขมันนมที่โคผลิต จะสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณ DM, CP, DIP, NFC, TDN, SCP และ SDM ที่โคได้รับ ซึ่งน่าจะเนื่องมาจากโภชนะดังกล่าว สามารถเสริมสมรรถนะของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนให้ดียิ่งขึ้น ทำให้การย่อยอาหารและการสร้าง VFA รวมทั้งโปรตีนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปริมาณโปรตีนที่โคสร้างมากับน้ำนมไม่มีความสัมพันธ์ ($p>0.05$) กับโภชนะที่โคได้รับ ซึ่งน่าจะเนื่องมาจากสมดุลของไนโตรเจน (N-balance) ในร่างกายที่เมื่อโคได้รับโปรตีนพอเพียงแล้ว จะขับส่วนที่เกินออกไป นอกจากนั้นอาจเนื่องมาจากได้ทำการคำนวณสารอาหารให้โคได้รับโภชนะ โดยเฉพาะโปรตีนอย่างพอเพียง จึงสามารถสร้างโปรตีนได้ตามศักยภาพทางพันธุกรรม แต่ไม่สร้างเพิ่มอีกแม้จะเพิ่มโปรตีนในอาหารให้สูงขึ้นก็ตาม สำหรับปริมาณ lactose ที่โคสร้างออกมากับน้ำนมนั้น มีความสัมพันธ์ยิ่ง ($p<0.01$) กับปริมาณ NFC, TDN, SDM ที่โคกิน ซึ่งเป็นผลจากการที่โคนำโภชนะเหล่านี้ไปเปลี่ยนเป็น lactose โดยตรง และสัมพันธ์ยิ่งกับปริมาณ CP, DIP และ SCP ซึ่งเป็นผลจากการที่โภชนะเหล่านี้ไปเสริมประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ในส่วนของแข็งในนมโดยรวม (TS) และของแข็งไม่รวมไขมัน (SNF) นั้นมีความสัมพันธ์ยิ่ง ($p<0.01$) กับปริมาณโภชนะทุกตัวที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้เพราะของแข็งในน้ำนมประกอบด้วยโปรตีนและ lactose เป็นหลักจึงมีความสัมพันธ์กับโภชนะที่กินในทิศทางเดียวกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.25 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำนม ส่วนประกอบน้ำนม (%) และโภชนะที่โคได้รับ (กก.ต่อวัน) (N = 18)

Table 4.25 Correlation coefficients of factors related to milk yield , milk composition (%) and nutrient intake of milking cows (kg/d) (N = 18)

	Milk	4%FCM	Fat	Protein	Lactose	TS	SNF	DMI	CP	DIP	NFC	TDN	SCP	SDM
Milk	1	0.939**	-0.748**	-0.567*	-0.559*	-0.726**	-0.654**	0.536*	0.547*	0.664**	0.683**	0.620**	0.545**	0.725**
4%FCM	0.939**	1	-0.480*	-0.389	-0.441	-0.483*	-0.465	0.584*	0.631**	0.712**	0.724**	0.667**	0.596**	0.757**
Fat	-0.748**	-0.480*	1	0.638**	0.542*	0.889**	0.711**	-0.243	-0.197	-0.330	-0.366	-0.296	-0.240	-0.407
Protein	-0.567*	-0.389	0.638**	1	0.424	0.824**	0.918**	-0.364	-0.274	-0.424	-0.440	-0.413	-0.366	-0.468*
Lactose	-0.559*	-0.441	0.542*	0.424	1	0.727**	0.722**	-0.081	0.057	-0.011	0.026	-0.062	-0.064	0.041
TS	-0.726**	-0.483*	0.889**	0.824**	0.727**	1	0.934**	-0.253	-0.138	-0.278	-0.279	-0.286	-0.245	-0.306
SNF	-0.654**	-0.465	0.711**	0.918**	0.722**	0.934**	1	-0.304	-0.167	-0.313	-0.309	-0.320	-0.294	-0.303
DMI	0.536*	0.584*	-0.243	-0.364	-0.081	-0.253	-0.304	1	0.878**	0.932**	0.846**	0.973**	0.988**	0.705**
CP	0.547*	0.631**	-0.197	-0.274	0.057	-0.138	-0.167	0.878**	1	0.899**	0.860**	0.928**	0.882**	0.846**
DIP	0.664**	0.712**	-0.330	-0.424	-0.011	-0.278	-0.313	0.932**	0.899**	1	0.972**	0.964**	0.939**	0.892**
NFC	0.683**	0.724**	-0.366	-0.440	0.026	-0.279	-0.309	0.846**	0.860**	0.972**	1	0.888**	0.840**	0.930**
TDN	0.620**	0.667**	-0.296	-0.413	-0.062	-0.286	-0.320	0.973**	0.928**	0.964**	0.888**	1	0.985**	0.827**
SCP	0.545**	0.596**	-0.240	-0.366	-0.064	-0.245	-0.294	0.988**	0.882**	0.939**	0.840**	0.985**	1	0.734**
SDM	0.725**	0.757**	-0.407	-0.468*	0.041	-0.306	-0.303	0.705**	0.846**	0.892**	0.930**	0.827**	0.734**	1

*Correlation is significant at the 0.05 level

**Correlation is significant at the 0.01 level

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.26 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำนม ส่วนประกอบน้ำนม (kg) และโภชนะที่โคได้รับ (กก.ต่อวัน) (N = 18)

Table 4.26 Correlation coefficients of factors related to milk yield , milk composition (kg) and nutrient intake of milking cows (kg/d) (N = 18)

	Milk	4%FCM	Fat	Protein	Lactose	TS	SNF	DMI	CP	DIP	NFC	TDN	SCP	SDM
Milk	1	0.939**	0.759**	0.589*	0.908**	0.869**	0.879**	0.536*	0.547*	0.664**	0.683**	0.620**	0.545**	0.725**
4%FCM	0.939**	1	0.936**	0.706**	0.900**	0.956**	0.923**	0.584*	0.631**	0.712**	0.724**	0.667**	0.596**	0.757**
Fat	0.759**	0.936**	1	0.745**	0.785**	0.930**	0.858**	0.553*	0.644**	0.671**	0.678**	0.629**	0.566*	0.703**
Protein	0.589*	0.706**	0.745**	1	0.652**	0.840**	0.873**	0.285	0.394	0.382	0.395	0.336	0.291	0.416
Lactose	0.908**	0.900**	0.785**	0.652**	1	0.916**	0.925**	0.590**	0.666**	0.774**	0.813**	0.697**	0.610**	0.868**
TS	0.869**	0.956**	0.930**	0.840**	0.916**	1	0.982**	0.564**	0.660**	0.718**	0.742**	0.653**	0.538*	0.746**
SNF	0.879**	0.923**	0.858**	0.873**	0.925**	0.982**	1	0.520*	0.612**	0.671**	0.693**	0.614**	0.538*	0.746**
DMI	0.536*	0.584*	0.553*	0.285	0.590**	0.564*	0.520*	1	0.878**	0.932**	0.845**	0.973**	0.988**	0.705**
CP	0.547*	0.631**	0.644**	0.394	0.666**	0.660**	0.612**	0.678**	1	0.899**	0.860**	0.928**	0.882**	0.846**
DIP	0.664**	0.712**	0.671**	0.382	0.774**	0.718**	0.671**	0.932**	0.899**	1	0.972**	0.964**	0.939**	0.892**
NFC	0.683**	0.724**	0.678**	0.395	0.813**	0.742**	0.693**	0.846**	0.860**	0.972**	1	0.888**	0.840**	0.930**
TDN	0.620**	0.667**	0.629**	0.336	0.697**	0.653**	0.614**	0.973**	0.928**	0.964**	0.888**	1	0.985**	0.827**
SCP	0.545**	0.596**	0.566*	0.291	0.610**	0.580*	0.538*	0.988**	0.882**	0.939**	0.840**	0.985**	1	0.734**
SDM	0.725**	0.757**	0.703**	0.416	0.868**	0.779**	0.746**	0.705**	0.846**	0.892**	0.930**	0.827**	0.734**	1

*Correlation is significant at the 0.05 level

**Correlation is significant at the 0.01 level

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved