บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวโพดฝักอ่อน (Baby corn)

ข้าวโพดฝักอ่อนอยู่ในวงศ์ (family) Gramineae เช่นเดียวกับหญ้าและธัญพืชต่าง ๆ โดยอยู่ในวงศ์ย่อย (sub - family) Panicoideae ซึ่งเป็นพวกเดียวกับข้าวฟ่างและอ้อย และอยู่ในสกุล (genus) Zea ซึ่งมีถิ่นฐานดั้งเดิมอยู่ในทวีปอเมริกา ชนิด (species) mays จึงทำให้ข้าวโพดมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Zea mays L.* (L. มาจากคำว่า Linn ซึ่งเป็นชื่อของผู้ที่ระบุว่าเป็นข้าวโพด)

ราก มีระบบที่เรียกว่า ระบบรากฝอย (fibrous root system) ไม่มีรากแก้ว (tap root)

ลำต้น ข้าวโพดมีลำต้นแข็งไส้แน่นไม่กลวง มีความสูงของลำต้นตั้งแต่ 60 เซนติเมตรขึ้นไป แล้วแต่ชนิดของพันธุ์ซึ่งจะค่อยๆ ยาวขึ้นไปทางด้านปลายข้อของข้าวโพด นอกจากจะเป็นข้อต่อข้อปล้องแล้ว ยังเป็นที่เกิดของราก ลำต้นใหม่ และฝักอีกด้วย ปล้องที่โคนต้นจะสั้นและหนา

ใบ ข้าวโพดฝักอ่อนมีลักษณะใบเช่นเดียวกับพืชตระกูลหญ้า ประกอบด้วยตัวใบ กาบใบ และหูใบ (ligule) ลักษณะของใบข้าวโพดแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ ใบทำหน้าที่ปรุงอาหาร และเป็นที่ระเหยของน้ำ ถ้าอากาศแล้งใบจะม้วนขอบขึ้นด้านบนเพื่อลดการระเหยของน้ำให้น้อยลง

ดอก ข้าวโพดฝักอ่อนมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกกันคนละดอก แต่อยู่ในลำต้นเดียวกัน (monoecious) ดอกตัวผู้รวมกันอยู่เป็นช่อ เรียกว่าช่อดอกตัวผู้ (tassel) และอยู่ตอนบนสุดของลำต้น เกษตรกรเรียกช่อดอกตัวผู้นี้ว่า “ดอกหัว” ดอกตัวผู้ดอกหนึ่งจะมีอับเกสร (anther) อยู่ 3 อับ แต่ละอับยาวประมาณ 6 มิลลิเมตร และมีเรณูเกสร (pollen grain) จำนวนมาก การสลัดละอองเกสรจะเริ่มขึ้นก่อนการออกไหม 1-3 วัน บนข้าวโพดต้นเดียวกัน การบานของดอกตัวผู้จะอยู่ติดต่อกันหลายวัน หลังจากที่ไหมโผล่ออกจากฝักแล้ว สภาพภูมิอากาศที่ร้อนและแห้งแล้งหรือลมแรง จะช่วยเร่งในการสลัดละอองเกสรให้หมดเร็วขึ้น ส่วนดอกตัวเมียมีลักษณะเป็นช่อมักจะอยู่ที่ฝักตอนข้อกลางๆของลำต้น ดอกตัวเมียแต่ละดอกประกอบด้วยรังไข่ (ovary) และเส้นไหม (silk) ซึ่งมีความยาวประมาณ 5-15 เซนติเมตร และยื่นปลายโผล่ออกไปรวมกันเป็นกระจุกตรงปลายช่อดอกซึ่งมีเปลือกหุ้มอยู่ และพร้อมที่จะผสมพันธุ์ทันทีที่งอกพ้นเปลือก เส้นไหมจะมีลักษณะเป็นยางเหนียวๆ นานถึง 2 สัปดาห์ สำหรับรับละอองเกสรตัวผู้ที่ปลิวมาสัมผัสเพื่อเข้าไปผสมกับไข่และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะแห้งตายไปเมื่อรังไข่ได้รับการผสมจากละอองเกสรตัวผู้แล้ว จากนั้นรังไข่จะเจริญเติบโตเป็นเมล็ด ช่อดอกตัวเมียที่ได้รับการผสมแล้วเรียกว่าฝัก (ear) แกนกลางของฝักเรียกว่าซัง (cob)

การผสมเกสรของข้าวโพดฝักอ่อน เป็นพืชที่ผสมข้ามพันธุ์กันตามธรรมชาติ มีการผสมในตัวเองเพียงเล็กน้อย โดยละอองเกสรตัวผู้ของข้าวโพด จะปลิวมาตามกระแสลมหรือตามแรงดึงดูดของโลก จากนั้นเส้นไหมที่มีลักษณะเป็นยางเหนียวๆ เมื่อได้รับละอองเกสรที่ปลิวมาสัมผัสแล้ว ละอองเกสรจะขยายตัวทันทีโดยส่งผ่านท่อ (tube) ไปตามเส้นไหมจนถึงรังไข่ ซึ่งอยู่ปลายสุดของเส้นไหมเพื่อทำการผสม โดยใช้ระยะเวลาในการผสมประมาณ 12-28 ชั่วโมง หลังจากผสมแล้วประมาณ 20-40 วัน รังไข่จะเจริญเติบโตเป็นเมล็ด การผสมเกสรนี้จะไม่ได้ผลถ้าสภาพภูมิอากาศร้อนหรือแห้งแล้ง (ทิพย์, มปพ.)

2.2 พื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อน

การที่เกษตรกรหันมาปลูกข้าวโพดฝักอ่อนเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากพื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนทั้งประเทศปี 2544 – 2549 (ตาราง 1) เพราะเป็นพืชที่มีอายุสั้นใช้เวลาเพียง 40-50 วัน ก็สามารถเก็บเกี่ยวได้ และมีช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว 7-10 วัน ดังนั้นนับตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว ฝักอ่อนหมดจะใช้เวลาเพียง 50-60 วันเท่านั้น เกษตรกรสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทยและปลูกได้ปีละ 4-5 ครั้ง ถ้าพื้นที่นั้นมีน้ำเพียงพอ เป็นการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ดินอันมีค่าได้อย่างเต็มที่ตลอดปี และเมื่อเก็บฝักข้าวโพดเสร็จเรียบร้อยแล้วก็สามารถตัดต้นไปเลี้ยงโคได้เลย ส่วนของต้นข้าวโพดฝักอ่อนเมื่อตัดแล้วสามารถเก็บไว้ได้หลายวัน โดยมัดและตั้งไว้ในที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก

นอกจากนี้มีเกษตรกรจำนวนมากหันมาปลูกข้าวโพดฝักอ่อนควบคู่ไปกับการเลี้ยงโค โดยมีรายได้จากการขายฝักข้าวโพด และขายน้ำนมโคหรือตัวโค โดยที่ไม่ต้องปลูกหญ้า แต่กิจกรรมการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนและการเลี้ยงโค ต่างก็ต้องใช้แรงงานมากเป็นพิเศษ ดังนั้นเกษตรกรควรรวมกลุ่มกันผลิตข้าวโพดฝักอ่อน โดยหมุนเวียนระยะเวลาปลูกทุก 7 วัน เพื่อให้มีต้นข้าวโพดเลี้ยงโคของสมาชิกได้ตลอดทั้งปี สำหรับสูตรที่ใช้คำนวณพื้นที่ปลูกข้าวโพดมีดังนี้

พื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อน/สัปดาห์ = $\frac{\text{น้ำหนักอาหารหยาบที่โคต้องการต่อวัน(กก.) x จำนวนโค x 7}}{\text{ปริมาณต้นข้าวโพดต่อไร่ (กก.)}}$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างเช่น ถ้ามีสมาชิก 10 ราย แต่ละรายเลี้ยงโคจำนวน 10 ตัว รวมมีโคทั้งหมด 100 ตัว โดยโคแต่ละตัวต้องการอาหารหยาบประมาณ 16 กิโลกรัมต่อวันและมีปริมาณต้นข้าวโพด 2,400 กิโลกรัมต่อไร่

เพราะฉะนั้นพื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนต่อสัปดาห์ $= \frac{16 \times 100 \times 7}{2,400}$

$= 4.7$ ไร่

ถ้าใน 1 ปี มี 52 สัปดาห์ เพราะฉะนั้นสมาชิกกลุ่มทั้ง 10 คน

จะต้องปลูกข้าวโพดปีละ $= \frac{52}{10}$

$= 5.2$ ครั้ง

ดังนั้นเกษตรกรแต่ละรายจะปลูกข้าวโพดฝักอ่อนครั้งละ 5 ไร่ ปีละ 5 ครั้ง

จะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในปริมาณมากมาโดยตลอด จึงทำให้มีผลพลอยได้จากการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน เช่น ต้นข้าวโพด เปลือกฝักข้าวโพด และไหมมากตามไปด้วย ซึ่งในพื้นที่ 1 ไร่ จะมีเศษเหลือจากข้าวโพดฝักอ่อนในส่วนของต้นประมาณ 3-4 ตัน (โชค, 2534) จากการสอบถามเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมที่ใช้ต้นข้าวโพดฝักอ่อนเป็นอาหารหยาบ จะซื้อต้นข้าวโพดฝักอ่อนหลังจากที่เก็บฝักข้าวโพดแล้วในราคาไร่ละประมาณ 500 บาท (ประมาณ 0.17 บาท/กิโลกรัม) และจากตาราง 2 รวมพื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนของภาคเหนือในปี 2546 ประมาณ 196,424 ไร่ ดังนั้นจะมีต้นข้าวโพดฝักอ่อนหลังการเก็บฝักมากถึงประมาณปีละ 589,272 ตัน

ตาราง 1 พื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนทั้งประเทศปี 2544 - 2549

ปี	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิต(ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ไร่)	มูลค่าของผลผลิต (ล้านบาท)
2544	232,000	284,000	1,304	884
2545	234,000	255,000	1,133	789
2546	218,000	249,000	1,152	800
2547	245,000	305,000	1,275	821
2548	218,000	248,000	1,153	630
2549	182,000	222,000	1,333	837

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (มปพ.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2 พื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนของภาคเหนือในปี 2546

จังหวัด	จำนวนเกษตรกร (ราย)	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย (ตัน/ไร่)
กำแพงเพชร	982	4,279.0	0.802
เชียงราย	7,318	19,063.3	1.355
เชียงใหม่	18,471	48,230.5	1.114
ตาก	2,573	13,025.8	0.527
นครสวรรค์	3,875	14,116.4	1.271
น่าน	3,624	4,717.5	0.998
พะเยา	3,039	11,244.2	0.774
พิจิตร	1,353	3,863.0	2.955
พิษณุโลก	2,648	8,825.2	1.502
เพชรบูรณ์	9,456	31,973.5	1.269
แพร่	2,327	4,723.9	1.211
แม่ฮ่องสอน	2,668	10,071.4	0.097
ลำปาง	4,652	7,967.9	1.068
ลำพูน	22	126.5	1.569
สุโขทัย	2,651	8,395.2	0.897
อุตรดิตถ์	978	3,314.6	1.010
อุทัยธานี	675	2,486.4	5.842
รวม	67,312	196,424.3	1.157

ที่มา : สำนักงานส่งเสริมการเกษตรเขต 6 (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 มูลค่าการส่งออกต้นข้าวโพดฝักอ่อน

ประเทศไทยเริ่มผลิตข้าวโพดฝักอ่อนส่งจำหน่ายไปต่างประเทศมาตั้งแต่ปี 2511 ซึ่งมีปริมาณไม่มากนัก แต่ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก จึงกลายเป็นพืชไร่ทางเศรษฐกิจที่สำคัญพืชหนึ่งที่สามารถนำเงินตราเข้าประเทศไทย จากมูลค่าการส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุภาชนะอัดลมในปี 2548 มีมูลค่าส่งออก 2,035.81 ล้านบาท ขณะที่

ปี 2549 เพิ่มขึ้นเป็น 2,142.20 ล้านบาท (ตาราง 3) จึงเห็นได้ว่าข้าวโพดฝักอ่อนมีแนวโน้มของการส่งออกที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งการส่งในรูปฝักสดและอุตสาหกรรมบรรจุกระป๋อง โดยมีลูกค้ารายใหญ่ คือ ประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เยอรมัน ออสเตรเลีย แคนาดาและ ฝรั่งเศส เป็นต้น โดยเฉพาะในปัจจุบันได้มีการตั้งโรงงานขึ้นในจังหวัดพะเยา ซึ่งเป็นโรงงานที่ทำการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดหวานและข้าวโพดฝักอ่อน แล้วส่งออกไปต่างประเทศ โดยในปี 2548 โรงงานแห่งนี้สามารถส่งออกผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้มากถึง 240 ล้านบาท ซึ่งมีข้าวโพดฝักอ่อนเป็นสินค้าหลัก (Nicaonline, 2006)

ตาราง 3 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือนของข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุภาชนะอัดลม

เดือน	2545		2546		2547		2548		2549	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
ม.ค.	4,057	114.78	5,116	138.16	4,349	113.43	4,460	112.05	4,508	126.50
ก.พ.	4,579	134.09	4,498	125.16	5,176	132.00	4,879	126.44	6,274	171.45
มี.ค.	5,443	149.14	6,578	175.27	5,267	141.26	6,183	162.96	8,947	240.50
เม.ย.	4,857	128.99	6,741	176.31	5,365	132.96	5,619	143.40	6,662	175.49
พ.ค.	5,526	145.77	5,194	135.25	5,066	129.54	6,382	162.58	7,124	190.84
มิ.ย.	5,247	136.83	5,199	129.37	5,233	142.10	7,912	208.74	7,691	201.41
ก.ค.	5,487	138.92	5,494	143.86	5,187	138.92	8,393	229.48	7,278	194.13
ส.ค.	5,389	136.89	4,940	123.61	5,961	159.54	9,175	256.23	7,594	204.63
ก.ย.	4,768	127.10	4,851	129.50	6,236	165.62	7,880	215.63	24,012	183.99
ต.ค.	5,113	141.95	5,056	129.05	5,115	137.14	5,588	154.09	6,020	162.46
พ.ย.	5,756	147.53	5,320	134.94	5,219	138.70	5,200	144.33	5,787	167.93
ธ.ค.	5,192	141.18	3,907	107.11	5,299	143.82	4,241	119.88	4,348	122.84
รวม	61,414	1,643.2	62,894	1,647.6	63,473	1,675.0	75,912	2,035.8	96,245	2,142.2

ปริมาณ : ตัน, มูลค่า : ล้านบาท

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของต้นข้าวโพดฝักอ่อน

โดยทั่วไปต้นข้าวโพดฝักอ่อนจะถูกเก็บเกี่ยวในขณะที่ต้นยังมีสีเขียว (อายุ 50-60 วัน) จึงใช้เป็นอาหารหยาบที่มีคุณค่าทางโภชนะสูงได้ดี มีโปรตีนอยู่ในช่วง 5-10 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยหยาบ 25-35 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4) นอกจากนี้ต้นข้าวโพดฝักอ่อนมีเยื่อใยในรูปผนังเซลล์ต่ำมาก ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและการหมักในกระเพาะหมัก ทำให้โคกินอาหารดีและได้รับพลังงานมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตนมลดลง ส่วนเปลือกฝักและไหมที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการทำข้าวโพดอ่อนฝักกระป๋อง และข้าวโพดอ่อนฝักสด จะมีปริมาณมาก สภาพของเปลือกและไหมจะยังคงมี สีเขียว ลักษณะอ่อนนุ่ม รสหวาน สัตว์ชอบกิน มีคุณค่าทางอาหารสัตว์ดี โปรตีนอยู่ในช่วง 12.6-17.0 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยหยาบ 9.5-21.0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของต้น เปลือก และไหมของข้าวโพดฝักอ่อน เกษตรกรสามารถนำไปใช้เลี้ยงโคนมแทนหญ้าสดได้ดี ทำให้โคให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงโคนมด้วยฟางข้าว หรือหญ้าธรรมชาติ ต้นข้าวโพดฝักอ่อนนอกจากนำมาใช้เป็นอาหารหยาบสดได้ดีแล้ว ยังสามารถนำมาหมักเพื่อเก็บไว้ใช้ในยามขาดแคลนหญ้าสดได้เช่นเดียวกัน (เฉลิมเกียรติและคณะ, 2535)

ภาพ 1 ต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4 องค์ประกอบทางเคมีของต้นข้าวโพดฝักอ่อนโดยทั่วไป (ร้อยละของวัตถุแห้ง)

โภชนะ		แหล่งข้อมูล						
		กองอาหารสัตว์ (2547(ก))	จินดา (2534)	อุทัย (2539)	ธีรเดช (2533)	โชค (2534)	Akinbamijo (2003)	Nouala (2004)
วัตถุแห้ง (DM)	%	25.3	25.25	28.04	24.31	24.36	32.90	33.00
อินทรียวัตถุ (OM)	%	NA	NA	NA	NA	94.74	92.89	93.00
โปรตีนหยาบ (CP)	%	8.8-9.7	9.70	7.75	6.38	6.66	5.00	5.00
ไขมัน (EE)	%	0.9	NA	1.36	1.71	1.80	NA	NA
เยื่อใยหยาบ (CF)	%	26.8	NA	25.57	29.63	31.68	34.11	NA
เถ้า (Ash)	%	7.5-8.5	7.45	7.71	5.08	NA	NA	NA
Neutral Detergent Fiber (NDF)	%	61.7-63.6	63.60	60.47	NA	NA	63.09	63.10
Acid Detergent Fiber (ADF)	%	37.2-37.4	37.15	36.94	NA	NA	39.82	39.80
ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรค (NFE)	%	55.0	NA	57.51	53.18	54.60	NA	NA
ลิกนิน	%	3.8-4.3	3.84	3.85	NA	NA	NA	NA
แคลเซียม	%	0.4	NA	0.41	NA	NA	NA	NA
ฟอสฟอรัส	%	0.2	NA	0.26	NA	NA	NA	NA

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 การใช้ต้นข้าวโพดฝักอ่อนสำหรับโครีดนม

อิทธิพล (2528) รายงานค่าการย่อยได้ของต้นข้าวโพดฝักอ่อนสดในโค และแกะพบว่าในโคมีการย่อยได้ของ วัตถุแห้งร้อยละ 57.88 โปรตีนรวมร้อยละ 14.02 ไขมันร้อยละ 66.14 สารเยื่อใยร้อยละ 57.01 คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 65.16 และสารอินทรีย์ร้อยละ 60.50 ส่วนในแกะมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งร้อยละ 59.39 โปรตีนร้อยละ 22.88 ไขมันร้อยละ 44.69 สารเยื่อใยร้อยละ 52.19 คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 70.16 สารอินทรีย์ร้อยละ 62.47 จะเห็นว่าค่าการย่อยได้อยู่ในเกณฑ์ดียกเว้นโปรตีน

บุญล้อม และคณะ (2526) รายงานว่าการนำเอาต้นข้าวโพดฝักอ่อนสดหั่นเป็นท่อนสั้นๆ หรือนำเปลือกและไหมมาให้สัตว์กินพบว่าสัตว์ชอบมากเนื่องจากมีรสหวาน และมีความน่ากินสูง ทั้งมีคุณค่าทางอาหารดีกว่าอาหารหยาบส่วนใหญ่ จึงน่าใช้เสริมอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำได้ จะทำให้ผลผลิตและอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ประเสริฐ และคณะ (2530) รายงานการใช้เปลือกข้าวโพดฝักอ่อน เลี้ยงแกะเปรียบเทียบหญ้าขน โดยแบ่งแกะออกเป็น 4 กลุ่ม คือ ปล่อยแปลงหญ้าขนตลอดวัน ขังเดี่ยวให้กินหญ้าขนสดเต็มที่ ขังเดี่ยวให้กินเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนเต็มที่ และขังรวมให้กินเปลือกข้าวโพดเต็มที่ พบว่าแกะทุกกลุ่มมีอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ คือประมาณวันละ 40 กรัมต่อตัว และเนื่องจากเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนมีความชื้น จึงทำให้ปริมาณวัตถุแห้งที่แกะกินน้อยกว่าหญ้าขนมาก

ธีรเดช (2533) ได้ศึกษาเรื่องการใช้เศษเหลือจากข้าวโพดฝักอ่อนเลี้ยงโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยนเพศผู้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า โคที่ได้รับต้นข้าวโพดฝักอ่อนเป็นอาหารหยาบ จะมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าโคที่กินหญ้ารูซี่และฟางข้าวเป็นอาหารหยาบ

จินดา และอุเทน (2534) ทำการศึกษาการใช้ต้นข้าวโพดฝักอ่อนเป็นอาหารหลักในโคกำลังรีดนม (ตาราง 4) เปรียบเทียบกับการใช้หญ้าขนสด ปรากฏว่า ปริมาณน้ำนมที่รีดได้เฉลี่ย/ตัว/วัน และปริมาณน้ำนมที่ 305 วัน จากโคกลุ่มที่กินหญ้าขนสด (7.97 กก./ตัว/วัน และ 2,375 กก.) มีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับโคที่กินต้นข้าวโพดฝักอ่อน (9.08 กก./ตัว/วัน และ 2,768 กก.) ดังตาราง 5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 5 ผลผลิตน้ำนมและและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมของโคพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยนที่ได้รับอาหารหยาบเป็นหญ้าขนเปรียบเทียบกับต้นข้าวโพดฝักอ่อน

Description	Para grass	Baby corn stover
Avg.yield /lactation,kg	2,224.0	2,646.46
Avg.milk yield/day,kg	7.97[a]	9.08[ab]
Avg.milk yield at 305 day,kg	2,375.53[a]	2,768.47[ab]
4% FCM,kg	2,416.17	2,839.00
Quality of milk		
-Protein,%	2.85±1.12	3.12±0.24
-Fat,%	4.13±0.90	4.19±0.67
-Lactose,%	4.06±0.43	4.29±0.12
Avg. feed cost,Bht/day	9.38	9.92
Avg. feed cost,Bht/kg of milk	1.18	1.09

[ab] Mean on the same row with different superscripts differ($P<0.05$)

ที่มา : ดัดแปลงจากจินดาและคณะ (2534)

ชาญชัย และคณะ (2531) ได้ทำการศึกษาการใช้เศษข้าวโพดฝักอ่อนเลี้ยงโคนมในเขตหนองโพ พบว่ามีเกษตรกรผู้เลี้ยงโค 2,116 ราย นิยมใช้เศษข้าวโพดฝักอ่อนทั้งในส่วนของ ต้น ยอด และเปลือก เลี้ยงโคกันมาก ถึงกับมีหลายรายเลิกปลูกหญ้าแล้วใช้เศษข้าวโพดฝักอ่อนแทน มีหลายรายที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนเองและเลี้ยงโคนมด้วย

บุญล้อม และทิพย์วรรณ (2531) ทำการศึกษาถึงคุณค่าทางอาหารและการใช้เปลือกและต้นข้าวโพดฝักอ่อนเป็นอาหารสัตว์ พบว่าข้าวโพดฝักอ่อนมีวัตถุแห้ง 26 เปอร์เซ็นต์ อินทรียวัตถุ 94 เปอร์เซ็นต์ ผนังเซลล์ 60 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 5 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง มีการย่อยได้ของโภชนะส่วนใหญ่ประมาณ 55-65 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดีทั้งในรูปสดและหมัก การหมักอาจไม่จำเป็นต้องเสริมวัสดุอื่นใดหรืออาจเสริมรำข้าวหรือข้าวโพดบดในอัตรา 5% ของน้ำหนักต้นสดก็ได้ จากการทดลองหมักโดยไม่เสริมวัสดุอื่นใดพบว่าได้พืชหมักคุณภาพดีและเมื่อนำไปคลุกยูเรีย-กากน้ำตาลในอัตรา 1.5 และ 10% ของน้ำหนักต้นข้าวโพดฝักอ่อนหมัก ตามลำดับ เลี้ยงแกะในระดับ 1.0 และ 1.5% ของน้ำหนักตัว ร่วมกับฟางข้าวพบว่าทำให้การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีน (80 และ28%) แกะสามารถกินอาหารคิดเป็นปริมาณวัตถุแห้งได้สูงขึ้น (2.2-2.5 และ 1.7% นน.ตัว) และมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 6 แสดงส่วนประกอบทางเคมีเฉลี่ยของต้นและเศษเหลือของข้าวโพดฝักอ่อนหมักสูตรต่างๆ

ส่วนประกอบทางเคมี	สูตรที่				
	1	2	3	4	C.V.(%)
โปรตีนรวม	8.14^{ก}	14.86^{ข}	18.32^{ค}	18.50^{ค}	5.06
ไขมัน	1.06^{ก}	2.56^{ข}	3.19^{ง}	2.82^{ค}	6.30
เยื่อใยรวม	28.54^{ก}	22.76^{ข}	21.41^{ขค}	20.69^{ค}	5.30
เถ้า	8.79^{ก}	9.59^{ข}	9.45^{ข}	9.18^{ข}	3.90
NFE	48.98^{ก}	44.91^{ข}	44.35^{ข}	45.20^{ข}	2.50
NDF	58.63^{ก}	47.54^{ข}	41.86^{ค}	40.06^{ค}	2.93
NDS	41.37^{ก}	52.46^{ข}	58.14^{ค}	59.94^{ค}	2.60
ADF	40.14^{ก}	32.86^{ข}	31.37^{ข}	30.91^{ข}	4.05
ADL	5.40^{ก}	6.27^{ข}	7.12^{ค}	7.76^{ค}	8.09
Cellulose	31.96^{ก}	25.01^{ข}	22.60^{ค}	21.76^{ค}	5.20
Hemicellulose	18.49^{ก}	14.69^{ข}	10.49^{ค}	9.15^{ค}	11.90

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในบรรทัดเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ที่มา : สายชิม และนวลมณี (2535)

ตาราง 7 ค่าพลังงาน และค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในต้นและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อนหมักสูตรต่างๆ

ชนิดของพืชหมัก	พลังงาน	%การย่อยได้ของวัตถุแห้ง	
	(กิโลแคลลอรี่ต่อกรัม)	ก่อนหมัก	หลังหมัก
สูตรที่ 1	4.10^{ก}	55.67	63.05
สูตรที่ 2	4.23^{ข}	58.60	64.47
สูตรที่ 3	4.43^{ค}	59.28	65.32
สูตรที่ 4	4.37^{ขค}	62.74	64.70

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในบรรทัดเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ที่มา : สายชิมและนวลมณี (2535)

สายชิม และนวลมณี (2535) ได้ทำการหมักต้นและเศษเหลือของข้าวโพดฝักอ่อนเสริมด้วยใบกระถินโดยใช้ถุงหมักเป็นอาหารโคนม ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) ทำการหมัก 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 ต้นและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อน สูตรที่ 2 ต้นและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อน + ใบกระถิน 10% สูตรที่ 3 ต้นและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อน+ใบกระถิน 20% สูตรที่ 4 ต้นและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อน+ใบกระถิน 20% + มันเส้น 3% ทำการหมัก 30 วัน

ตาราง 8 แสดงปริมาณน้ำนม ปริมาณอาหารที่กินได้ และส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนมจากแม่โคที่เลี้ยงด้วยอาหารหยาบต่างกัน

ข้อมูล	ชนิดของอาหารหยาบ	
	ต้นข้าวโพดฝักอ่อน	ต้นข้าวโพดฝักอ่อน : หญ้ามอริชัส (1:1)
จำนวนสัตว์, ตัว	12	12
ปริมาณน้ำนมก่อนเริ่มทดลองเฉลี่ย, กก./ตัว/วัน	8.50	8.60
ปริมาณน้ำนมที่รีดได้จริงเฉลี่ย, กก./ตัว/วัน	10.14	9.00
ปริมาณน้ำนมที่ 4 % ไขมันเฉลี่ย, กก./ตัว/วัน	10.65	9.94
ปริมาณอาหารที่กินได้ (วัตถุแห้ง, กก./ตัว/วัน)		
อาหารหยาบ ต้นข้าวโพดฝักอ่อน	7.70	3.94
หญ้าขน	-	3.55
รวม	7.70	7.49
อาหารข้น	4.27	3.54
รวม	11.97	11.03
ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม, %[1/]		
ไขมัน	4.32	4.70
โปรตีน	3.53	3.35
Lactose	4.99	5.06
Solid not fat	8.02	8.05
Total solid	12.34	13.2

[1/] ต้นข้าวโพดฝักอ่อนสดราคา 0.37 บาท/กก. หญ้ามอริชัสสดราคา 0.25 บาท/กก. อาหารข้นราคา 4.30 บาท/กก. น้ำหนักแห้ง

ที่มา : อุทัยและคณะ (2539)

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี พบว่า การผสมใบกระถิน 20% ในสูตรที่ 3 และ 4 ให้คุณค่าทางอาหารสูง โดยสูตรที่ 3 มีค่าวัตถุแห้ง โปรตีนรวม ไขมัน เยื่อใยรวม เถ้า และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรค 36.12, 18.32, 3.19, 21.41, 9.45 และ 44.35 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 4 มีค่า 38.48, 17.50, 2.82, 20.69, 9.18, และ 45.20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตรที่ 1 มีค่าเป็น 25.55, 8.14, 1.06, 28.54, 8.79 และ 48.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 6) เช่นเดียวกับค่าพลังงานในสูตรที่ 3 และ 4 มีค่า 4.43 และ 4.37 กิโลแคลลอรี่ ต่อกรัม ขณะที่สูตรที่ 1 มีค่า 4.1 กิโลแคลลอรี่ต่อกรัม ส่วนค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งทั้ง 4 สูตร มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังตาราง 7

ตาราง 9 แสดงผลตอบแทนจากการใช้ต้นข้าวโพดฝักอ่อน และต้นข้าวโพดฝักอ่อนร่วมกับหญ้ามอริชัส (1:1 น้ำหนักสด) เลี้ยงแม่โครีดนม

ข้อมูล	ชนิดของอาหารหยาบ	
	ต้นข้าวโพดฝักอ่อน	ต้นข้าวโพดฝักอ่อน : หญ้ามอริชัส (1:1)
ปริมาณน้ำนมที่รีดได้จริงเฉลี่ย, กก./ตัว/วัน	10.14	9.00
ต้นทุนอาหารที่กินได้เฉลี่ย, บาท/ตัว/วัน[1/]		
อาหารหยาบ	6.6	8.09
อาหารข้น	18.36	15.22
รวม	24.96	23.31
ราคาน้ำนมดิบที่ขายได้เฉลี่ย, บาท/กก.(ตาม% ไขมัน)	7.89	8.14
ต้นทุนน้ำนมดิบ 1 กก., บาท (เฉพาะค่าอาหาร)	2.46	2.59
กำไรจากการขายน้ำนมดิบ 1 กก.	5.43	5.55

[1/] ต้นข้าวโพดฝักอ่อนสดราคา 0.37 บาท/กก. หญ้ามอริชัสสดราคา 0.25 บาท/กก. อาหารข้นราคา 4.30 บาท/กก. น้ำหนักแห้ง

ที่มา : อุทัยและคณะ (2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุทัยและคณะ (2539) ได้ทำการศึกษาการใช้ต้นข้าวโพดฝักอ่อนร่วมกับหญ้ามอริชัส (1:1โดยน้ำหนักสด) เทียบกับต้นข้าวโพดฝักอ่อนอย่างเดียวเลี้ยงโครีดนมพันธุ์ผสมขาว-ดำ ระดับสายเลือด 75 % ในฟาร์มของเกษตรกรจำนวน 6 ราย ปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเกี่ยวกับปริมาณวัตถุแห้งที่แม่โคกินได้ทั้งหมดคือ เฉลี่ยเท่ากับ 11.03 และ 11.97 กก./ตัว/วัน ตามลำดับ ปริมาณน้ำนมที่ 4 % ไขมันเท่ากับ 9.94 และ 10.65 กก./ตัว/วัน ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 และ 4.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 8) และต้นทุนค่าอาหารใน

การผลิตน้ำนมเฉลี่ย 2.59 และ 2.46 บาทตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าต้นข้าวโพดฝักอ่อนสามารถใช้เป็นอาหารหยาบเสริมหญ้าหรือใช้แทนหญ้าได้ผลดี ดังตาราง 9

2.6 พืชหมัก (Silage)

พืชหมัก หมายถึง การนำพืชอาหารสัตว์ที่มีความชื้นมาเก็บรักษาไว้ในสภาพที่ไม่มีอากาศ เพื่อให้เกิดกรดจากกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ โดยคุณค่าทางอาหารสัตว์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด สำหรับไว้ใช้เป็นอาหารสัตว์ในช่วงขาดแคลนพืชสด (กองอาหารสัตว์, 2547(ข)) ซึ่งพืชทุกชนิดรวมทั้งวัชพืชสามารถทำการหมักได้ทั้งสิ้น การที่พืชสดเปลี่ยนสภาพเป็นพืชหมักต้องอาศัยจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยที่สำคัญ โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีอยู่ตามธรรมชาติ และติดไปกับพืชที่นำมาหมัก ซึ่งมีทั้งชนิดที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic) ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic) และ อยู่ได้ในที่ที่มีและไม่มีออกซิเจน (Facultative) จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในพืชที่กำลังหมัก จนเกิดสภาวะเป็นกรดที่เหมาะสม ช่วยรักษาสภาพของพืชให้เก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่าจุลินทรีย์ชนิดที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้พืชหมักมีคุณภาพดี คือ Lactobacillus ซึ่งจะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติก (Lactic acid) และกรดอะซิติก (Acetic acid) ซึ่งปริมาณของกรดทั้ง 2 ชนิดนี้ จะทำให้ความเป็นกรดของพืชหมักสูงขึ้น ค่า pH ลดลง มีผลทำให้จุลินทรีย์จำพวก Butyric acid bacteria , Coliform bacteria และ Fungi ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ซึ่ง bacteria และ Fungi พวกนี้เป็น Bacteria ที่ทำให้เกิดการเน่าเปื่อยและผลิตกรดที่มีกลิ่นเหม็นรุนแรง เช่น Butyric acid เมื่อ pH ลดลงเรื่อยๆจนถึง 4 หรือต่ำกว่าจุลินทรีย์ทุกชนิดจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้แม้กระทั้ง *Lactobacillus* นั่นคือได้แปรสภาพสภาพที่พืชหมักได้ที่แล้ว ปฏิกิริยาเคมีต่างๆจะหยุดและพืชหมักจะคงสภาพเช่นนี้ตลอดไป (สนทยา, 2548)

2.6.1 จุลินทรีย์วิทยาของพืชอาหารหมัก (Silage Microbiology)

McDonald *et al.* (1981) รายงานว่าจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย และ รา เป็นพวกที่ต้องการออกซิเจนโดยจะเกาะติดอยู่ที่บริเวณพื้นผิวของพืชสดเป็นส่วนใหญ่ ในสภาพอับอากาศในไซโลจุลินทรีย์พวกอื่นๆจะเจริญเติบโตขึ้นมาแทนที่ซึ่งได้แก่ Genus *Escherichia , Klebsiella , Bacillus , Clostridium , Streptococcus , Leuconostoc , Lactobacillus* นอกจากนี้ยังมีจำพวกยีสต์ที่อยู่ได้ทั้งสองสภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตามแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) ซึ่งจัดเป็นจำพวก Facultative จะติดอยู่ภายนอกบริเวณพื้นผิวของพืชสดเป็นจำนวนมาก ซึ่ง Facultative bacteria นั้นยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ Homofermentative และ Heterofermentative (ตาราง 10) โดยที่พวก Heterofermentative เป็นพวกที่สามารถผลิตกรดแลคติกได้ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่จะช่วยในการถนอมพืชอาหารหมักให้มีสภาพคงที่ไม่เน่าเปื่อย

ตาราง 10 ชนิดของแบคทีเรียที่ผลิต Lactic acid ที่พบตามผิวของพืชอาหารสด

Homofermentative	Heterofermentative
Lactobacillus plantarum	*Lactobacillus brevis*
Pediococus acidilactice	*Lactobacillus buchneri*
Streptococcus durans	*Lactobacillus fermentum*
Streptococcus faecalis	*Lactobacillus viridescens*
Streptococcus lactis	*Leuconostoc mesenteroides*

ที่มา : McDonald *et al*. (1981)

หลังจากที่เริ่มขบวนการหมักแล้ว แบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำการแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว และจะเข้าย่อยสลายแป้งที่ละลายน้ำได้ในพืช (Water soluble carbohydrate) ซึ่งจะได้กรดอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ได้แก่ Lactic acid ส่งผลให้ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของพืชลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงที่ระดับ pH ประมาณ 3.8 – 4.0 กิจกรรมของจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดลงทั้งหมด ได้เป็นพืชอาหารหมักที่เหมาะสม คุณภาพดี สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน แต่ถ้าขบวนการหมักไม่ดีอากาศสามารถซึมเข้าสู่ภายในได้ จะทำให้ระดับ pH ไม่คงที่ แบคทีเรียจำพวก *Saccharolytic clostridia* ที่ติดมากับอาหารในตอนแรกในรูปของ Spore จะเริ่มทำการแบ่งตัวโดยจะใช้ประโยชน์จากกรดแลคติกและแป้ง เป็นปัจจัยในการเจริญเติบโตส่งผลให้พืชหมักที่ได้เกิดการเน่าเสีย คุณภาพไม่ดี เก็บรักษาได้ไม่นาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของขบวนการหมัก

ขณะเริ่มต้นการหมัก เซลล์ (Cell) และเอนไซม์ (Enzyme) ของพืชที่นำมาทำการหมักยังคงเกิดขบวนการหายใจและทำงานต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งออกซิเจนหมดไป แป้งที่สะสมในพืชจะถูกออกซิไดซ์ (oxidize) ได้เป็น CO_2 และ H_2O ในช่วงนี้จะเกิดความร้อนทำให้อุณหภูมิในถังหมักสูงขึ้น ถ้าอัดไม่แน่นพอ มีผลทำให้อากาศซึมเข้าไปได้ จะทำให้อุณหภูมิของถังหมักสูงขึ้นเรื่อยๆ

ส่งผลให้อาหารที่หมักมีสีน้ำตาลเข้ม (Overheat silage) ซึ่งเป็นอาหารหมักคุณภาพต่ำ ในสภาพสูญญากาศแบคทีเรียพวกที่ผลิต Lactic acid จะเข้าย่อยสลายแป้งที่มี Glucose และ Fructose เป็นองค์ประกอบให้ได้เป็น Lactic acid ในขณะที่แบคทีเรียพวก Homofermentation จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายน้ำตาล hexose และขบวนการ Hydrolysis ของพวก Hemicellulose ให้ได้น้ำตาล pentose ซึ่งจะถูกหมักต่อไปเป็น Lactic acid

สำหรับโปรตีนในพืชที่กำลังเจริญเติบโตจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 75 - 90 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากที่เก็บเกี่ยวพืชแล้ว protease enzyme ในพืชจะเข้าย่อยสลายโปรตีนให้กลายเป็น amino acid ภายในระยะเวลา 12 – 24 ชั่วโมง ไนโตรเจนอีกส่วนหนึ่งประมาณร้อยละ 20 – 25 จะถูกปลี่ยนให้เป็น ammonia อย่างไรก็ตามแบคทีเรียพวกที่ผลิต Lactic acid ก็สามารถเข้าทำการย่อยสลาย amino acid บางตัวได้ เช่น ย่อย arginine ได้เป็น ornithine แต่ในกรณีที่มี Clostridia มากจะทำให้เกิดการเมทาโบไลซ์ (Metabolize) amino acid ในอัตราที่สูงโดยอาศัยขบวนการต่างๆ ดังนี้ คือ deamination, decarboxylation และ reduction ทำให้เกิดสารประกอบพวก amines, NH_3, keto acid, และ fatty acid (ตาราง 11)

ตาราง 11 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักพืช

(A) Lactic acid bacteria	
Homofermentative :	
Glucose	→ 2 Lactic acid
Fructose	→ 2 Lactic acid
Pentose	→ Lactic acid + Acetic acid
Heterofermentative	
Glucose	→ Lactic acid + Ethanol
3 Fructose	→ Lactic acid + 2 Methanol + Acetic acid + co_2
Pentose	→ Lactic acid + Acetic acid

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(B) Clostridia

Sacchalolytic :

2 Lactic acid → Butyric acid +$2CO_2$ + $2H_2$

Proteolytic :

Deamination

Glutamic acid → Acetic acid +Pyruvic acid + NH_3

Lysine → Acetic acid + Butyric acid + $2NH_3$

Decarboxylation

Arginine → Putrescine + CO_2

Glutamic acid → Aminobutyric acid +

Histidine → Histamine + CO_2

Lysine → Cadaverine + CO_2

Oxidation /Reduction

Alanine + 2 Glycine → 3 Acetic acid + $3NH_3$ + CO_2

(C) Enterobacteria

Glucose → Acetic acid + Ethanol + 2 CO_2 +$2H_2$

ที่มา: McDonald *et al.,(*1981)

2.6.3 การสูญเสียโภชนะในช่วงการหมัก (Losses of nutrient during ensilage)

McDonald *et al.* (1995) รายงานว่า การสูญเสียโภชนะในระหว่างการหมักมีสาเหตุดังต่อไปนี้

2.6.3.1 การสูญเสียขณะเก็บเกี่ยว (Field losses)

ถ้ามีการเก็บเกี่ยว และทำการหมักในวันเดียวจะมีการสูญเสียโภชนะน้อยมาก ถ้ามีการตากพืชนาน 24 ชั่วโมงจะสูญเสียวัตถุแห้งไม่เกินร้อยละ 1 – 2 ถ้าตากแดดนานกว่า 48 ชั่วโมงการสูญเสียวัตถุแห้งจะขึ้นอยู่กับลักษณะอากาศ มีรายงานว่าก่อนทำการหมักถ้านำเอาพืชมาตากแดด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นาน 5 วันจะสูญเสียวัตถุแห้งร้อยละ 6 ตากแดดนาน 8 วันสูญเสียวัตถุแห้งไปร้อยละ 10 ซึ่งโภชนะที่สูญเสียไปมากที่สุดได้แก่คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้

2.6.3.2 การสูญเสียเนื่องจากการหายใจ (Oxidation losses)

เป็นการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme) ในพืช และจุลินทรีย์ ในการย่อยสลายแป้งในสภาวะที่มีออกซิเจนผลที่ได้คือ CO_2 และ H_2O ซึ่งถ้าภายในกองพืชหมักมีการอัดแน่นที่ดีพอ จะมีสัดส่วนของการสูญเสียน้อยมาก ประมาณร้อยละ 1 ซึ่งมักเกิดในบริเวณที่โดนอากาศ คือ ส่วนบน และด้านข้างของกองพืชหมัก การตรวจดูการสูญเสียในส่วนนี้อาจทำให้เข้าใจผิดได้และอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียถึงร้อยละ 75

2.6.3.3 การสูญเสียเนื่องจากการหมัก (Fermentation losses)

ในขบวนการหมักจะเกิดขบวนการทางชีวเคมีมากมาย เช่น การเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่าย (Soluble carbohydrate) และโปรตีน ทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุแห้งและพลังงานเป็นผลให้การทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกลดต่ำลง

การสูญเสียวัตถุแห้งเกิดขึ้นต่ำกว่าร้อยละ 5 และมีการสูญเสียพลังงานไปบางส่วน ทั้งนี้เนื่องจากมีการผลิตสารประกอบที่ให้พลังงานสูง เช่น ethanol แต่ถ้ามีแบคทีเรียพวก Clostridia มากจะเกิดการสูญเสียที่มากกว่าเนื่องจากมีการผลิตแก๊สต่าง ๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และแอมโมเนีย

2.6.3.4 การสูญเสียในส่วนของของเหลวที่รั่วไหลออก (Effluent losses)

ในกองพืชหมักจะมีการไหลซึมออกของของเหลว ทำให้เกิดการสูญเสียโภชนะบางส่วนไปกับของเหลว ประกอบด้วย น้ำตาล สารประกอบไนโตรเจน แร่ธาตุ และกรดที่เกิดจากขบวนการหมัก ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีคุณค่าทางโภชนะสูง ถ้านำพืชที่มีวัตถุแห้ง 150 g/kg DM ไปทำพืชหมักจะสูญเสียวัตถุแห้งไปประมาณร้อยละ 10 แต่ถ้านำพืชที่มีวัตถุแห้ง 300 g/kg DM ไปทำพืชหมักจะมีการสูญเสียวัตถุแห้งน้อยมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพพืชหมัก

ในการทำพืชหมักให้ได้คุณภาพที่ดีนั้น มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องและมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของพืชสดเมื่อทำเป็นพืชหมัก ดังนั้นเพื่อให้ได้พืชหมักที่มีคุณภาพสูงจะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

2.6.4.1 ปริมาณออกซิเจน

ก๊าซออกซิเจนเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในขบวนการหมัก การไล่อากาศออกไม่หมด หรือมีอากาศเหลือในหลุมหมักทำให้ขบวนการหายใจของเซลล์พืชยังคงดำเนินต่อไป พืชจะใช้คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้เป็นแหล่งพลังงาน ทำให้คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ลดลง การผลิตกรดแลคติกเกิดขึ้นน้อยทำให้ได้หญ้าหมักคุณภาพต่ำ ดังนั้นการอัดแน่นจึงเป็นวิธีการที่ดีในการไล่อากาศที่หลงเหลืออยู่ออกไป ซึ่งจากรายงานของ Lancenter and Mcnaughton (1961 อ้างอิงโดย สมสุข, 2544) ถึงอิทธิพลของการอัดแน่นต่อคุณภาพของหญ้าหมัก สรุปการทดลองได้ว่า ในกลุ่มที่มีการอัดแน่นมากจะมีอุณหภูมิต่ำ ความหนาแน่นสูง ลดการสูญเสียวัตถุแห้งและไนโตรเจนได้ดี และมีการผลิตกรดแลคติกสูง (ตาราง 12)

ตาราง 12 อิทธิพลของการอัดแน่นของหญ้าต่อคุณภาพของหญ้าหมัก

คุณภาพของหญ้าหมัก	ลักษณะของการอัดแน่น		
	หลวม	ปานกลาง	อัดแน่น
ความหนาแน่น (กก./ม.^{3})	227	307	386
อุณหภูมิ	38	26	25
การสูญเสียวัตถุแห้ง (%)	37.2	28.4	17.4
การย่อยได้ (%)	65.6	69.7	76.3
กรดแลคติก (%)	1.43	5.19	10.12
VFA (%)	8.5	6.5	3.1
Total N (%)	3.84	3.73	3.46
Volatile N (% total N)	23.7	29.4	12.2

ที่มา : Lancenter and Mcnaughton (1961 อ้างอิงโดย สมสุข, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.4.2 ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น

ในสภาพที่พืชยังมีชีวิตอยู่พบว่ามีจุลินทรีย์อยู่มากมายได้แก่ coliform bacteria, aerobic bacteria, micrococci, streptococci, yeast, mould, actinomycete, และ lactic bacteria แต่จุลินทรีย์พวก anaerobic bacteria มักพบน้อย อย่างไรก็ดีพืชอาหารสัตว์ที่นำมาทำการหมักมักมีจุลินทรีย์ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป (Muck, 1991)

2.6.4.3 ความชื้น

บุญล้อมและคณะ (2543) กล่าวว่า การหมักพืชที่มีความชื้นสูงจะส่งผลเสียดังต่อไปนี้คือทำให้เกิดการสูญเสียโภชนะในรูปของเหลวที่ไหลออกมาค่อนข้างมาก และทำให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจำพวก clostridium มากขึ้นซึ่งเป็นผลให้มีการสูญเสียโภชนะของพืชหมัก ดังนั้นพืชที่จะนำมาหมักควรมีความชื้นประมาณร้อยละ 65 - 75 ถ้าพืชที่นำมาหมักมีความชื้นสูงต้องใช้เวลาในการผลิตกรดแลคติกนาน จนกว่าจะถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของของจุลินทรีย์ได้ แต่ถ้าความชื้นน้อยเกินไปก็จะทำให้การอัดแน่นเป็นไปได้ยาก

กองอาหารสัตว์ (2547(ข)) ให้ข้อเสนอแนะว่าความชื้นที่เหมาะสมของพืชต่อการหมัก ควรอยู่ระหว่าง 65 - 75 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้อัดแน่นได้ง่าย เป็นการไล่อากาศให้เหลือน้อยที่สุดหรือหมดไป แต่ถ้าพืชที่นำมาหมักมีความชื้นมากเกิน มักจะได้พืชหมักที่มีลักษณะเป็นเมือกหรือเปรี้ยวจัด อีกทั้งน้ำหรือของเหลวที่ถูกผลิตออกมาในระหว่างการหมักจะมีมาก ทำให้เกิดการสูญเสียของสารอาหารและธาตุอาหารต่างๆของพืช จึงควรมีการลดความชื้นลง โดยการตัดพืชแล้วผึ่งแดดไว้ในแปลงสัก 2-3 ชั่วโมง หรืออาจใช้เมล็ดธัญพืช เช่น เมล็ดข้าวโพดบด มันเส้นบด ผสมในพืชเพื่อช่วยดูดซับความชื้นหรือเป็นการเพิ่มวัตถุแห้งนั่นเอง นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ และเพิ่มความน่ากินของพืชหมักด้วย

Jaster and Moor (1990) ได้ทำการศึกษาถึงผลของความชื้นที่ระดับร้อยละ 50 60 และ 70 ต่อการผลิตพืชหมัก พบว่าความชื้นที่ระดับร้อยละ 70 มีผลทำให้ปริมาณกรดแลคติกเพิ่มสูงขึ้น ความเป็นกรดด่างลดลงอย่างรวดเร็ว

ถ้าความชื้นหญ้าหมักสูง หญ้าหมักจะมีสภาพเหลว ทำให้สูญเสียโภชนะ การกินได้ก็จะต่ำลง (ตาราง 14) ควรแก้ไขโดยนำมาตากแดด 2 ชั่วโมง ผสมหญ้าแห้งหรือฟางข้าวประมาณ 5 - 20 % หรือผสมเมล็ดพืชบด กากน้ำตาล และถ้าความชื้นในหญ้าหมักต่ำเกิดจากการอัดแน่นของหญ้าหมักไม่ดี (ตาราง 13) ควรแก้ไขโดยเติมน้ำลงในหญ้าหมัก และตัดท่อนหญ้าให้สั้นลง (ธันวา, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 13 แสดงผลของการทำให้พืชเหี่ยวต่อคุณภาพของหญ้าหมัก

สิ่งที่ศึกษา	ความชื้นในพืช (%)	คุณภาพหญ้าหมัก*	การกินได้ของโคนม (กก.วัตถุแห้ง/ตัว)
พืชยังสด	83	80	7
ทำให้เหี่ยวเฉา	73	82	10
ทำให้เหี่ยวเฉา	66	100	12

*คุณภาพพิจารณาจากกรดแลคติก อะซิติก และบิวทีริก

ที่มา : ธันวา (2551)

ตาราง 14 แสดงอิทธิพลการอัดแน่นของหญ้าหมักต่อคุณภาพหญ้าหมัก

คุณภาพของหญ้าหมัก	ลักษณะของการอัดแน่น		
	หลวม	ปานกลาง	อัดแน่น
ความหนาแน่น (กก./ม.^{3})	227	307	386
อุณหภูมิ (°c)	38	26	25
การสูญเสียวัตถุแห้ง (%)	37.2	28.4	17.4
การย่อยได้ (%)	65.6	69.7	76.3
กรดแลคติก (%)	1.43	5.19	10.12
VFA (%)	8.5	6.5	3.1
Total N (%)	3.84	3.73	3.46
Volatile N (% total N)	23.7	29.4	12.2

ที่มา : สายัณห์ (2540)

2.6.4.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (Water soluble carbohydrate,WSC)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (WSC) หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ซึ่งประกอบด้วย กลูโคส ฟรุคโตส กาแลคโตส แลคโตส แมนโนส ซูโคส มอลโตส ไซโลส และอะราบิโนส เป็นต้น ปริมาณน้ำตาลเหล่านี้จะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของการตัดพืช ฤดูกาล ภูมิอากาศ ตลอดจนภูมิประเทศ

การทำให้ Lactic acid bacteria มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเพื่อผลิตกรดแลคติกได้มาก นั้นจะต้องมีแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้สูง ทั้งนี้เนื่องจากในพืชมีจุลินทรีย์หลายสายพันธุ์ โดยเฉพาะในกลุ่ม enterobacteria ที่มีมากจะมีความสามารถสูง ดังนั้นปริมาณ WSC เริ่มต้นจึงเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญนอกเหนือจากวัตถุแห้งที่สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของพืชหมักได้ Haigh (1990) รายงานว่าพืชที่จะนำมาหมักต้องมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ไม่น้อยกว่า 37 กรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้งของพืช เพราะเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการป้องกันการเจริญเติบโตของ clostridium ในพืชหมัก แต่อย่างไรก็ตามจากรายงานของ Setara (1989) แนะนำว่าหญ้าที่จะทำพืชหมักได้ควรมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้อย่างต่ำ 100 กรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้งของพืช

2.6.4.5 อุณหภูมิ

Wood and Parker (1971) กล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และกิจกรรมของเอนไซม์ ในช่วงแรกของการหมักนั้นพืชยังหายใจอยู่ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนขึ้นในหลุมหมัก ถ้าความร้อนเพิ่มขึ้นอีก 10 องศาเซลเซียส ในขณะที่พืชมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 5 – 25 องศาเซลเซียส พืชจะมีการหายใจเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำก่อนที่จะปิดหลุมหมักจะช่วยลดการสูญเสียน้ำตาลของพืชที่เกิดจากขบวนการหายใจในระหว่างการหมักได้

Muck (1991) รายงานว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะไปเพิ่มความเร็วของขบวนการหมักและทำให้ความเป็นกรดด่างลดลงอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกจะเจริญเติบโตได้ดีที่ 25 - 45 องศาเซลเซียส แต่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส

Gibson *et al.* (1958) ได้ทำการเปรียบเทียบกิจกรรมของ clostridium ในพืช พบว่าที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส clostridium มีกิจกรรมสูงกว่าที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิจะมีผลต่อการเร่งการย่อยสลายโปรตีนโดยในช่วงอุณหภูมิ 10 - 40 องศาเซลเซียส กิจกรรมการย่อยสลายโปรตีนจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุก ๆ 20 องศาเซลเซียสจะทำให้การย่อยสลายโปรตีนเพิ่มขึ้น 3 - 4 เท่า

2.6.4.6 Buffering capacity (BC)

เมธา (2529) กล่าวว่า BC เป็นความสามารถของพืชในการควบคุมความเป็นกรดด่าง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อขบวนการทำพืชหมัก ถ้าพืชหมักมี pH อยู่ในช่วง 4 - 6 การควบคุม pH นั้น 70 – 80 % จะเป็นผลของเกลืออินทรีย์ เช่น เกลือออร์โธฟอสเฟต ซัลเฟต ไนไตรต และคลอไรด์ ส่วนอีก 10 – 20 % นั้นขึ้นอยู่กับโปรตีนในพืชเอง

Muck (1991) รายงานว่าหญ้าและข้าวโพดมีค่า Buffering capacity อยู่ในช่วง 250 - 450 มิลลิอิควิวาเลนท์ของด่างต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ในขณะที่พืชตระกูลถั่วมีค่าระหว่าง 350 - 600 มิลลิอิควิวาเลนท์ของด่างต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ดังนั้นพืชตระกูลถั่วจึงมีคุณสมบัติที่ยากต่อการทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พืชหมัก หรืออาจกล่าวได้ว่าต้องใช้น้ำตาลเพิ่มมากขึ้นเพื่อลดความเป็นด่างให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยปกติแล้วพืชเมืองร้อนจะไม่พบปัญหานี้มากนัก

2.6.4.7 ชนิดพืช

ชนิดพืชที่เหมาะสมในการทำหญ้าหมัก ควรเลือกพืชที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำตาล (WSC) สูงมากกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่เกิดในระหว่างกระบวนการหมัก ลักษณะของพืชควรมีลำต้นตัน เพื่อให้มีช่องว่างของอากาศภายในน้อยที่สุด ถ้าพืชมีลำต้นกลวงควรทำให้ปล้องแตกและอัดให้แน่นเพื่อไล่อากาศออกให้มากที่สุด ตัวอย่างของพืชที่เหมาะสมต่อการทำพืชหมัก ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หญ้าเนเปียร์ หญ้ากินนีสีม่วง หญ้าแพงโกล่า เป็นต้น (กองอาหารสัตว์, 2547(ข))

2.6.4.8 อายุการเจริญเติบโตของพืช

พืชที่นำมาหมักไม่ควรแก่หรืออ่อนจนเกินไป ควรตัดในช่วงที่ให้ผลผลิตสูง พร้อมทั้งมีคุณค่าทางอาหารเพียงพอทั้งแร่ธาตุและวิตามิน เช่น ข้าวโพดควรตัดทำพืชหมักในระยะเมล็ดกำลังเป็นน้ำนมและก่อนจะเริ่มแข็งตัว ถ้าเป็นข้าวฟ่างควรตัดเมื่อใกล้จะออกดอกอายุประมาณ 10-11 สัปดาห์จนถึงระยะติดเมล็ดอ่อนๆ สำหรับหญ้าอื่นๆ ควรตัดในระยะเริ่มออกดอก อายุของหญ้าที่จะตัดทำหญ้าหมักไม่แน่นอนแต่ควรสังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งต้องไม่ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ และไม่สูงกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ (กองอาหารสัตว์, 2547(ข))

เพ็ญศรี และคณะ (2537) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของระยะการเจริญเติบโตและสารช่วยหมักที่มีต่อคุณภาพของหญ้าไข่มุกหมัก โดยการหมักหญ้าไข่มุกที่ระยะการเจริญเติบโต 5 ระยะคือ ระยะตั้งท้อง ระยะออกดอก ระยะเมล็ดเป็นน้ำนม ระยะเก็บเมล็ดพันธุ์ และที่เหลือจากการเก็บเมล็ดพันธุ์ โดยใส่สารช่วยหมัก 2 ชนิด คือ ข้าวโพดบด 5% และกากน้ำตาล 5% พบว่าหญ้าไข่มุกที่หมักในระยะเก็บเมล็ดพันธุ์ใส่ข้าวโพดบด 5% ดีที่สุด โดยมีวัตถุแห้ง 34.17 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 8.96 เปอร์เซ็นต์ NDF 46.26 เปอร์เซ็นต์ NDS 53.74 เปอร์เซ็นต์ และ ADF 30.21 เปอร์เซ็นต์

2.6.4.9 ความยาวของท่อนพืช

เนื่องจากพืชหมักต้องอยู่ในสภาพสูญญากาศ ดังนั้นการตัดหรือสับให้เป็นชิ้นสั้นๆ จะช่วยให้อัดพืชได้แน่นขึ้น ช่วยในการผสมคลุกเคล้า เป็นการไล่อากาศออก และมีผลให้จุลินทรีย์สามารถใช้สารอาหารจากพืชเพื่อการเจริญเติบโตได้เร็วขึ้น ทำให้เกิดกรดได้เร็วขึ้น ควรตัดพืชให้มีความยาวประมาณ 3-5 เซนติเมตร หรือถ้าไม่สามารถตัดพืชให้สั้นได้ก็ควรใช้วิธีตีข้อต่อของต้นพืชให้แตก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เช่น ในกรณีของข้าวโพดหรือข้าวฟ่างขนาดเหมาะสม 0.5-1 นิ้ว ดังที่สายัณห์ (2540) ได้แสดงถึงผลการสับหรือไม่สับพืชในตาราง 15

ตาราง 15 แสดงผลการสับชิ้นพืชต่อคุณภาพของหญ้าหมัก

วิธีการ	ความแน่นของการหมัก	pH	กรดแลคติก	การย่อยได้(%)	การกินได้ของสัตว์
ไม่สับ	100	4.7	100	58	100
สับชิ้นพืช	158	4.2	260	64	134

ที่มา : สายัณห์ (2540)

2.6.4.10 สารช่วยหมัก

เป็นสารหรือวัตถุที่ใส่เพื่อเพิ่มน้ำตาล และช่วยลดความชื้นของพืชที่นำมาหมัก ทำให้เกิดกรดแลคติกเร็วขึ้น สารที่ใส่เพื่อช่วยหมักได้แก่

- กากน้ำตาล ใช้ใส่ในพืชที่มีระดับน้ำตาลต่ำ เพราะจุลินทรีย์สามารถใช้กากน้ำตาลเป็นอาหารได้ง่าย นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มรสชาติของพืชหมักให้มีความน่ากิน และยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารด้วย ปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ผสมในการหมักขึ้นกับชนิดพืชที่ใช้หมัก ถ้าเป็นพืชทั่วไปควรใช้ประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- เมล็ดธัญพืชบด (เมล็ดข้าวโพด เมล็ดข้าวฟ่าง) มันสำปะหลังบด ใช้ในอัตรา 5-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ช่วยให้การทำงานของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกเจริญเติบโตได้ดี เนื่องจากช่วยลดความชื้น เพิ่มปริมาณน้ำตาลตลอดจนเพิ่มคุณค่าทางอาหารและเพิ่มความน่ากินของพืชหมักได้เช่นกัน
- รำ ใช้รำละเอียดหรือรำสกัดน้ำมัน เนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยดูดซับความชื้นได้ดีกว่ารำหยาบ พบว่ามีการใช้ในอัตรา 14-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพืชสด นอกจากนี้รำยังช่วยเพิ่มสารอาหารแก่จุลินทรีย์และพลังงานให้กับพืชหมักด้วย (กองอาหารสัตว์, 2547(ข))

ศรัณยา และจันทกานต์ (2540) ศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของพืชหมักในถุงพลาสติกที่เติมสารช่วยหมักชนิดต่างๆ โดยมีพืชหมัก 2 ชนิดคือ

- หญ้ารูซี่ แบ่งออกเป็น

  สูตรที่ 1 หญ้ารูซี่

  สูตรที่ 2 หญ้ารูซี่ + เกลือ 1% + กากน้ำตาล 8%

  สูตรที่ 3 หญ้ารูซี่ + กากน้ำตาล 8%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูตรที่ 4 หญ้ารูซี่ + กรด formic 85% อัตรา 5 มิลลิลิตร/กิโลกรัม

สูตรที่ 5 หญ้ารูซี่ + มันเส้นบด 8%

- ถั่วแกรมสไตโล แบ่งออกเป็น

สูตรที่ 1 ถั่วแกรมสไตโล

สูตรที่ 2 ถั่วแกรมสไตโล + เกลือ 1% + กากน้ำตาล 8%

สูตรที่ 3 ถั่วแกรมสไตโล + กากน้ำตาล 8%

สูตรที่ 4 ถั่วแกรมสไตโล + กรด formic 85% อัตรา 5 มิลลิลิตร/กิโลกรัม

สูตรที่ 5 ถั่วแกรมสไตโล + ข้าวโพดบด 8%

ผลการทดลองพบว่า การเติมสารช่วยหมักทั้ง 4 ชนิดช่วยปรับปรุงคุณภาพของพืชหมักทั้ง 2 ชนิดให้ดีขึ้น โดยการเติมเกลือผสมกากน้ำตาลและกากน้ำตาลอย่างเดียวให้ผลดีที่สุดในพืชทั้ง 2 ชนิด ในด้านการลดความเป็นกรด-ด่าง(pH) ให้ต่ำสุด มีการผลิตกรดแลคติกให้มากขึ้น และลดปริมาณกรดบิวทีริคให้น้อยลง รองลงมาคือการเติมด้วยกรด formic มันเส้นบด และข้าวโพดบด ซึ่งมีผลต่อคุณภาพพืชหมักไม่แตกต่างกันทางสถิติของพืชทั้ง 2 ชนิด ในด้านของความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณกรดแลคติก แต่ในด้านการลดปริมาณกรดบิวทีริคนั้น การเติมกรด formic จะลดได้ดีกว่าการเติมมันเส้นบดหรือข้าวโพดบด

แพรวพรรณ และคณะ (2549) ทำการทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มคุณภาพของหญ้าแพงโกล่าหมักโดยใช้สารเสริมชนิดต่างๆ โดยประกอบด้วยหญ้าแพงโกล่าที่ไม่เติมสารเสริม หญ้าแพงโกล่าที่หมักร่วมกับกากน้ำตาลในระดับ 2 4 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์ และหญ้าแพงโกล่าที่หมักร่วมกับรำละเอียดในระดับ 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสด ปรากฏว่า การเติมรำละเอียดในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ มีคุณภาพดีที่สุด พืชหมักมีสีเหลืองอมเขียว ไม่มีเชื้อรา และยีสต์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของพืชหมักเท่ากับ 3.92 ค่าเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ กรดแลคติก กรดอะซีติค และกรดบิวทีริคเท่ากับ 34.53, 10.2, 5.07, 0.6 และ 0.23 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อประเมินคุณภาพของพืชหมัก โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ของกรดแลคติก กรดอะซีติค และกรดบิวทีริค คุณภาพของหญ้าแพงโกล่าที่หมักร่วมกับรำละเอียดในระดับ 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ และที่หมักร่วมกับกากน้ำตาลในระดับ 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์จัดอยู่ในชั้นคุณภาพดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.5 ประโยชน์ของการทำพืชหมัก

เมธา (2529) ได้กล่าวถึงประโยชน์ และ ข้อเสียของการทำพืชหมักไว้ดังต่อไปนี้

ประโยชน์

1. เพิ่มความน่ากิน สัตว์จะสามารถกินพืชหมักได้ในปริมาณมาก ยิ่งถ้าให้ร่วมกับเมล็ดธัญพืชจะมีผล ทำให้พืชหมักมีความน่ากิน สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น

2. ถ้าให้ร่วมกับอาหารที่มีความแห้งมากจะช่วยลดความเป็นฝุ่นของอาหารนั้น ทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น

3. ช่วยลดแนวโน้มที่จะทำให้สัตว์เกิดโรคท้องอืด (bloat) โดยเฉพาะถ้าพืชที่นำมาหมักนั้นเป็นพืชตระกูลถั่ว

4. อาจจะเป็นวิธีการลดสารพิษ (detoxifying) ที่มีอยู่ในพืชนั้น ๆ เช่น กรดไซยานิกในมันสำปะหลัง

5. สามารถเก็บถนอมพืชอาหารไว้ได้เป็นเวลานาน ๆ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่พืชอาหารสัตว์ขาดแคลน

6. สามารถทำได้ทุกฤดูกาล

7. สามารถใช้ทุกส่วนของต้นพืชให้เป็นประโยชน์ ส่วนของลำต้นที่แข็ง เมื่อหมักแล้วจะอ่อนนุ่มสัตว์ชอบกิน

8. ใช้พื้นที่ในการเก็บรักษาน้อย

9. หญ้าหมักมีลักษณะอวบน้ำ สัตว์ชอบกิน

10. การสูญเสียโดยการร่วงหล่นของใบพืช จากการทำหญ้าหมักมีน้อย จึงสามารถรักษาธาตุอาหารต่างๆ ไว้ได้สูงกว่าหญ้าแห้ง

11. ลดอันตรายจากอัคคีภัย ในการเก็บเมื่อเทียบกับหญ้าแห้ง

12. สามารถรักษาได้นานเป็นปีๆ โดยคุณค่าทางอาหารไม่ลดลง ถ้าหากมีการปฏิบัติอย่างดี

ข้อเสีย

1. สัตว์ที่กินพืชอาหารหมักเข้าไปแล้วอาจทำให้มูลเหลว (Laxative effect) บางครั้งต้องหลีกเลี่ยงอาหารหมัก

2. ในสภาพอากาศร้อนถ้าสัตว์กินอาหารไม่หมด หรือเมื่อเปิดหลุมแล้ว ทำให้เกิดเชื้อราและเน่าเสียได้ง่าย

3. จะต้องมีการเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของพืชก่อนที่จะนำมาหมัก เช่น การสับ มิฉะนั้นจะทำให้สัตว์กินได้ยาก

4. ต้องมีความรู้ความชำนาญในการทำหญ้าหมัก

5. เปลืองแรงงานและลงทุนมากกว่าการทำหญ้าแห้ง

6. ขาดวิตามินดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. เนื่องจากหญ้าหมักมีฤทธิ์เป็นกรดจึงทำลายภาชนะที่เป็นโลหะได้

2.6.6 การปรับปรุงคุณภาพหญ้าหมักในเขตร้อน

จากรายงานของ NRC (2001) พบว่ากากน้ำตาลมีคุณค่าทางโภชนะในส่วนของ DM CP EE NDF ADF และ Ash เท่ากับร้อยละ 74.3 5.8 0.2 0.4 0.2 และ 13.3 ตามลำดับ ในขณะที่ สมสุข (2544) ได้ทำการเปรียบเทียบกรรมวิธีในการผลิตพืชหมักในถุงพลาสติก 2 ชั้น ดูดอากาศออกบรรจุถุงละ 20 กิโลกรัมโดยใช้หญ้ารูซี่หมักร่วมกับสารช่วยหมักชนิดต่างๆ ได้แก่ รำละเอียด ร้อยละ 16 มันเส้นบด ร้อยละ 16 และกากน้ำตาลร้อยละ 3 4 และ 5 ตามลำดับ พบว่าหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาลร้อยละ 5 มีคุณภาพดีที่สุด เนื่องจากมีการสูญเสียวัตถุแห้ง (DM) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 - N) น้อยที่สุด (ร้อยละ 4.67 และ 5.02 ตามลำดับ) อีกทั้งยังมี (pH) ที่เหมาะสม (3.99) และมีกรดแลคติกสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมักโดยวิธีวัดปริมาณแก๊ส พบว่าหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาลร้อยละ 5 มีการย่อยได้ของอินทรียวัตถุเท่ากับร้อยละ 59.80 และมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) และพลังงานสุทธิ (NE) สูงกว่ากลุ่มอื่น (3.10 และ 1.79 MJ/kgDM) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

Tjandraatmadja *et al.* (1994) ได้ทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพของหญ้าหมักในเขตร้อน ซึ่งทำการศึกษาแบบ 3 ปัจจัยคือ 3 x 3 factorial in CRD โดยปัจจัยที่ 1 เป็นพันธุ์หญ้า (Hamil, Pangola, Setaria) ปัจจัยที่ 2 เป็นอายุตัดหญ้า (4 8 และ 12 สัปดาห์) ปัจจัยที่ 3 เป็นระดับของการเสริมกากน้ำตาล (0 4 และ 8% w/w fresh) โดยทำการพ่นลงในหญ้าที่หั่นให้มีขนาด 1 เซนติเมตร บรรจุในถุงๆละ 500 กรัม ภายหลังการหมัก 1, 5, 30 และ 100 วันสุ่มตัวอย่างนำมาวิเคราะห์พบว่าการฉีดพ่นกากน้ำตาลลงในหญ้าก่อนหมัก 4% และ 8 % สามารถปรับปรุงคุณภาพของพืชหมักในเขตร้อนได้อย่างมีคุณภาพสูง แต่การปรับปรุงโดยไม่ใช้กากน้ำตาล ไม่ว่าจะใช้พืชชนิดใดหรืออายุเท่าใด พบว่าคุณภาพของพืชหมักยังไม่ได้มาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องมาจากมีเยื่อใยสูงโดยเฉพาะ NDF และ Lignin อีกทั้งมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้น้อย และมีความชื้นสูงจึงเป็นผลให้จุลินทรีย์ในกลุ่ม Lactic acid bacteria เจริญเติบโตช้า แต่อย่างไรก็ตาม Tjandraatmadja *et al*. (1990) รายงานว่ามีการตรวจพบจุลินทรีย์ในหญ้าหมักเขตร้อนโดยเฉพาะ *Lactobacillus plantarum* เป็นส่วนมาก ประมาณ 53% ดังนั้นการปรับปรุงพืชหมักอาจทำได้โดยการเร่งการเจริญเติบโตของเชื้อที่มีอยู่ตามธรรมชาติโดยการเพิ่มสารช่วยหมักที่เป็นแหล่งอาหารของ จุลินทรีย์ เช่น กากน้ำตาล รำ ข้าวโพด และมันเส้น เป็นต้น (ตาราง 8)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จุฑารัตน์ (2520) ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางอาหารและการย่อยได้ของหญ้าขนที่หมักร่วมกับสารช่วยหมักและหมักโดยไม่มีสารช่วยหมัก โดยสับหญ้าให้มีความยาว 2 นิ้ว และเติมสารช่วยหมักต่างๆคือ กลุ่มที่ 1 ไม่มีการเติมสารเสริมช่วยหมัก กลุ่มที่ 2 เสริมกากน้ำตาล 5% กลุ่มที่ 3 เสริมกากสับปะรด 2% และกลุ่มที่ 4 เสริมมันเส้นบด 10% พบว่าหญ้าขนที่เสริมกากน้ำตาล 5% และหญ้าขนที่เสริมกากสับปะรด 2% มีค่า pH พอเหมาะคือ 4.25 และ 4.15 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรดหญ้าขนที่เสริมกากน้ำตาล 5% มีเปอร์เซ็นกรดแลคติกสูง กรดบิวทีริกและกรดอะซิติกต่ำถือว่าเป็นหญ้าหมักที่คุณภาพดี (ตาราง 16)

ตาราง 16 องค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพของหญ้าขนที่หมักร่วมกับสารช่วยหมักชนิดต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของวัตถุแห้ง)	หญ้าขน	หญ้าขน + กากน้ำตาล 5%	หญ้าขน + กากสับปะรด2 %	หญ้าขน + มันเส้นบด 10%
DM	19.14	20.4	19.84	25.95
pH	5.10	4.25	4.15	4.55
CP	6.88	9.6	9.23	6.55
CF	35.99	30.7	32.1	29.14
EE	3.57	5.8	5.87	4.34
NFE	42.67	37.7	40.92	49.46
Ash	11.40	14.15	11.87	10.5
Lactic acid (%)	0.12	1.00	0.80	0.40
Acetic acid (%)	0.36	0.22	0.83	0.3
Butyric acid (5%)	0.35	0.23	0.02	0.41

หมายเหตุ : lactic acid, acetic acid, butyric acid มีหน่วยเป็น % กรดเทียบจากน้ำหนักสดของพืช
ที่มา : จุฑารัตน์ (2520)

เฉลิมพล (2530) รายงานว่าวัวที่กำลังเลี้ยงขุนจะกินหญ้าหมักได้สูงกว่าหญ้าสด และให้น้ำหนักเพิ่มต่อวันดีกว่าเล็กน้อย หญ้าหมักนี้ ถึงแม้จะมีองค์ประกอบของ CP และ DM ต่ำกว่าหญ้าสด แต่ก็มี NFE สูงกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 17 ผลของพันธุ์หญ้า การเสริมกากน้ำตาลและอายุของพืชต่อองค์ประกอบทางเคมี และจำนวนlactic acid bacteria ในหญ้าที่หมักแล้ว 100 วัน

Composition (g/kgDM)	Grass species				SG[1] (week)				Molasses (%w/w)			
	H	P	S	*P*	0	4	8	*P*	0	4	8	*P*
DM (g/kg fresh)	247	225	205	***	191	208	277	***	199	232	246	***
NDF	645	565	678	***	585	636	665	***	678	619	588	***
ADF	424	348	418	***	373	398	420	***	445	384	362	***
Hemicellulose	221	216	257	***	212	239	245	***	234	235	226	ns
Cellulose	374	310	373	***	334	359	367	***	391	342	323	***
Lignin	50	39	46	***	40	42	53	***	54	42	39	***
Ash	102	102	97	ns	114	110	78	***	95	98	1109	***
Water soluble carbohydrate	21.6	33.2	20.5	***	20.5	33.2	***		15.7	23.7	35.9	***
Total N	11.4	18.4	11	***	17	14.7	9.1	***	13.2	14.3	13.3	ns
NH_3 – N (g/kg TN)	80	123	77	***	106	105	67	ns	174	55	51	***
pH	3.9	3.7	3.7	***	3.8	3.8	3.7	ns	4.2	3.6	3.5	***
Lactic acid	25	66	37	***	52	44	32	*	10	49	69	***
Acetic acid	20	22.3	18.7	ns	28.4	16.7	15.8	ns	39.3	10	11.7	***
Prorionic acid	1.4	3	1.3	ns	2.5	2.1	1.1	ns	5.2	0.2	0	***
Butyric acid	8.8	18.8	6.1	ns	20.3	7.3	6.2	ns	28.9	3.6	1.2	ns
Valeric acid	0	1.6	0	ns	0.9	0.7	0	ns	1.6	0	0	ns
Lactic acid bacteria (log c.f.u./g dry matter)	5.65	4.4	5.3	ns	4.51	5.68	5.17	ns	5.81	4.75	4.79	ns

หมายเหตุ : SG[1] : stage of growth H : Hamill, P : Pangola, S : Setaria

ns = non significant, * = P<0.05, *** = P<0.001

ที่มา : Tjandraatmadja *et al.* (1994)

Panditharatne *et al.* (1986) ได้ทดลองเสริมกากมะพร้าว 5% wet basis (17.6 % WSC) และมันเส้น 5 % wet basis (72.1 % WSC) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของหญ้ากินนีหมัก และหญ้า NB – 21 (*Pennisetum purpureum x Pennisetum americanum)* พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขบวนการหมัก และเพิ่มคุณค่าของพืชหมักได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม (P<0.01) (ตาราง 17) ในขณะที่ เศกสรรค์ และคณะ (2547) ได้ศึกษาการใช้กากมะพร้าว (%DM %CP %EE %CF %Ash และ % NFE เท่ากับ 95.3 21.20 9.16 9.30 7.16 และ 53.18 ตามลำดับ)ในอาหารสำเร็จรูปสำหรับโคขุน พบว่าสามารถใช้ได้สูงสุดถึง 25% ส่วนในสูตรอาหารโครุ่น โคสาว และโคดรายใช้ได้ไม่เกิน 23% แต่พบว่าไม่เหมาะที่จะผสมในระดับสูงเพื่อเป็นอาหารโคนมเนื่องจากกากมะพร้าวมีไขมันสูงเก็บไว้ได้ไม่นานจะมีกลิ่นหืน

วารุณี และคณะ (2538) ได้ทำการศึกษาเรื่องคุณค่าทางโภชนะของหญ้าแฝกหมักที่เติมสารชนิดต่างๆ คือ สูตรที่ 1 หญ้าแฝก สูตรที่ 2 หญ้าแฝก + ยูเรีย 0.5% สูตรที่ 3 หญ้าแฝก + กากน้ำตาล 10% สูตรที่ 4 หญ้า + มันเส้นบด 15% สูตรที่ 5 หญ้าแฝก + ยูเรีย 0.5% + กากน้ำตาล 10% และสูตรที่ 6 หญ้าแฝก + ยูเรีย 0.5% + มันเส้นบด 15% พบว่าหญ้าแฝกหมักสูตรที่ 3, 4 และ 5 จัดอยู่ในเกณฑ์ที่มีคุณภาพดี เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมของความน่ากิน ความเป็นกรด (pH) เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง กรดแลคติก บิวทีริค คุณค่าทางอาหาร และการย่อยได้ของวัตถุแห้ง สำหรับสูตรที่ 6 พบว่ามีเปอร์เซนต์กรดบิวทีริคค่อนข้างมาก ทั้งที่ปัจจัยอื่นๆอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม จึงจัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างพอใช้ ส่วนสูตรที่ 1 และ 2 จัดอยู่ในเกณฑ์ที่มีคุณภาพไม่ดี

ตาราง 18 คุณภาพของหญ้าแฝกที่อายุตัด 30 วันที่หมักร่วมกับสารช่วยหมักชนิดต่างๆ

ค่าที่ศึกษา	ไม่เสริม	+ยูเรีย 0.5%	+กากน้ำตาล 10%	+มันเส้น 15 %	+กากน้ำตาล + ยูเรีย	+มันเส้น + ยูเรีย
pH	5.20	5.80	4.00	3.90	4.30	4.40
วัตถุแห้ง (%)	24.60	26.80	28.10	32.50	34.00	34.90
กรดแลคติก (%)	0.04	0.16	1.27	1.44	1.77	1.30
กรดอะซิติก (%)	0.62	0.80	0.19	0.26	0.23	0.51
กรดบิวทีริก (%)	0.61	0.65	0.06	0.06	0.13	0.33

ที่มา : วารุณีและคณะ (2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในขณะที่ McDonald *et al.* (1991) รายงานว่ายูเรียจัดเป็นสารเสริมในกลุ่มเพิ่มโภชนะมักใช้กับพืชที่มีโปรตีนต่ำ เช่น ข้าวโพด นอกจากนี้ยูเรียยังสามารถยับยั้งการหมักได้อีกด้วยเพราะสามารถแตกตัวเป็นก๊าซแอมโมเนียได้ซึ่งจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ สามารถลดการสลายตัวของโปรตีนระหว่างการหมัก และช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาพืชหมักได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Doyle *et al.* (1986) ที่รายงานว่าใน ยุโรปและอเมริกานิยมใช้แอมโมเนียในรูปแก๊สและของเหลวในการปรับปรุงคุณภาพของพืชหมักเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ ส่วนในประเทศกำลังพัฒนาการใช้แอมโมเนียใน

รูปของเหลวและแก๊สไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากไม่สะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา จึงนิยมใช้แอมโมเนียจากการสลายตัวของปุ๋ยยูเรีย (46% ไนโตรเจน) (ตาราง 18)

Yokota *et al.* (1998) ได้ทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพของหญ้าเนเปียร์หมัก โดยหั่นให้มีขนาด 3 เซนติเมตรแล้วเสริมด้วย กากน้ำตาล 4 เปอร์เซ็นต์ รำสกัดน้ำมัน (2% crude fat) 15 เปอร์เซ็นต์ และ กากน้ำตาล 4 เปอร์เซ็นต์ + รำสกัดน้ำมัน 15 เปอร์เซ็นต์ บรรจุในถุงพลาสติก เมื่อนำมาตรวจสอบคุณภาพพบว่ามีการสูญเสียโภชนะเป็น 5.6 , 0.3, และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และหญ้าหมักที่เสริมด้วยรำนั้นพบว่าเกิดกรด acetic และ propionic สูง (6.7 และ 1.4 เปอร์เซ็นต์ of DM) แต่กลับมีสัดส่วนของกรด lactic ต่ำจากข้อสรุปดังกล่าว Yokota *et al.* (1998) จึงแนะนำให้มีการใช้รำร่วมกับกากน้ำตาลในการปรับปรุงคุณภาพของหญ้าเนเปียร์หมัก

จากรายงานของ Allison *et al.* (1993 อ้างโดยอุดมศักดิ์, 2550) ที่ทำการเสริม Soybean hulls 20 เปอร์เซ็นต์ ลงใน Corn silage ของอาหารโคเนื้อ พบว่าน้ำหนักตัวสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ Corn silage ที่ไม่มีการเสริม Soybean hulls 60 ปอนด์ และโคกลุ่มที่ได้รับ Corn silage ที่มีสารเสริม Soybean hulls ยังสามารถลดต้นทุนค่าอาหารต่อตัวได้ 8.69 เหรียญสหรัฐ

Firkins and Eastridge (1992) พบว่าการแทนที่สัดส่วนของข้าวโพดหมักด้วยเปลือกเมล็ดถั่วเหลือง (62.5 % of total dietary NDF) สามารถลดอาหารหยาบลง สามารถเพิ่มปริมาณน้ำนมและเปอร์เซ็นต์ไขมันนมซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมากในการผลิตน้ำนม

อุดมศักดิ์ (2550) ทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ของหญ้าเนเปียร์หมักสำหรับโค โดยแบ่งออกเป็น Treatment 1 หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5 % Treatment 2 หมักร่วมกับใบมันสำปะหลัง 15 % Treatment 3 หมักร่วมกับเปลือกเมล็ดถั่วเหลือง 20 % Treatment 4 หมักร่วมกับใบกระถิน 20 % แบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 การประเมินคุณภาพของหญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับสารช่วยหมักชนิดต่างๆ ผลปรากฏว่า หญ้าเนเปียร์หมักในTreatment 1 มีคุณภาพดีที่สุด ($P<0.05$) เกิดกรดแลคติกสูง (5.02 %) มีการสูญเสียวัตถุแห้งและแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำ (8.95 % และ 8.82 % of total N) มีค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ในระดับที่เหมาะสม (3.80) และมีคะแนนคุณภาพสูง (90.25) การทดลองที่ 2 การประเมินค่าการย่อยได้และพลังงานของหญ้าเนเปียร์หมักทั้ง 4 Treatments ด้วยเทคนิควิธีวัดปริมาณแก๊ส ผลปรากฏว่าหญ้าเนเปียร์หมัก Treatment 1 มีการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ และพลังงานสุทธิเพื่อการให้นมสูงที่สุด (51.63 %, 8.97 MJ/kg และ 5.27 MJ/kg) รองลงมาคือ Treatment 2, Treatment 3 และ Treatment 4 ตามลำดับ($P<0.05$) การทดลองที่ 3 ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะของหญ้าเนเปียร์หมักทั้ง 4 Treatments ในตัวสัตว์โดยวิธีดั้งเดิมและวิธีใช้สารบ่งชี้ร่วมกับอาหารข้นสูตรที่มีเปลือกเมล็ดถั่วเหลือง 60% เป็นหลัก พบว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ ไขมัน เยื่อใย เยื่อใยที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ละลายในกรด และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยของหญ้าเนเปียร์หมักใน Treatment 1 มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น ($P<0.05$) ส่วนสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีน พบว่าหญ้าเนเปียร์หมักใน Treatment 2 มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น เมื่อพิจารณาถึงโภชนะย่อยได้ และพลังงานรวมของหญ้าเนเปียร์หมัก พบว่า Treatment 1 มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น ($P<0.05$) ในส่วนของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ และพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม ของหญ้าเนเปียร์หมัก Treatment 1 และ Treatment 3 มีค่าไม่แตกต่างกับ แต่สูงกว่า Treatment 2 และ Treatment 4 ($P<0.05$) สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีน จากการใช้สารบ่งชี้เพื่อประเมินค่าการย่อยได้ที่เกิดขึ้นจริงภายในลำไส้เล็กของหญ้าเนเปียร์หมักทั้ง 4 Treatments พบว่าปริมาณวัตถุแห้ง และปริมาณอินทรียวัตถุ ที่ไหลเข้าไปในลำไส้เล็ก และที่ย่อยได้ในลำไส้เล็กของหญ้าเนเปียร์หมัก Treatment 1 และ Treatment 3 มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าสูงกว่า Treatment 2 และ Treatment 4 ($P<0.05$) ส่วนปริมาณโปรตีนรวมที่ไหลเข้าไปในลำไส้เล็กพบว่า Treatment 4 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ Treatment 2, Treatment 3 และ Treatment 1 ตามลำดับ ($P<0.05$) เมื่อคิดเป็นร้อยละของโปรตีนรวมที่หายไปในลำไส้เล็ก พบว่า Treatment 1 และ Treatment 3 มีค่าไม่ต่างกัน แต่สูงกว่า Treatment 2 และ Treatment 4 ($P<0.05$)

2.7 การย่อยอาหารในโคนม

การย่อยอาหาร (digestion) หมายถึงขบวนการที่ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลงจนพอดีที่ร่างกายจะสามารถดูดซึมได้ (absorb) และนำไปใช้ประโยชน์ได้ (utilize) การย่อยอาหารในโคโดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในทางเดินอาหาร แสดงในภาพ 3 โดยที่อาหารแต่ละชนิดมีการย่อยได้ในทางเดินอาหารแต่ละส่วนไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการย่อยได้ของทางเดินอาหารในแต่ละส่วนนั้น เช่น อาหารที่มีส่วนประกอบของเยื่อใยสูงไม่สามารถถูกย่อยได้ที่กระเพาะแท้ (abomasum) และลำไส้เล็ก แต่จะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (rumen) ไส้ติ่ง (caecum) และลำไส้ใหญ่ (colon) โดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์

2.7.1 จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

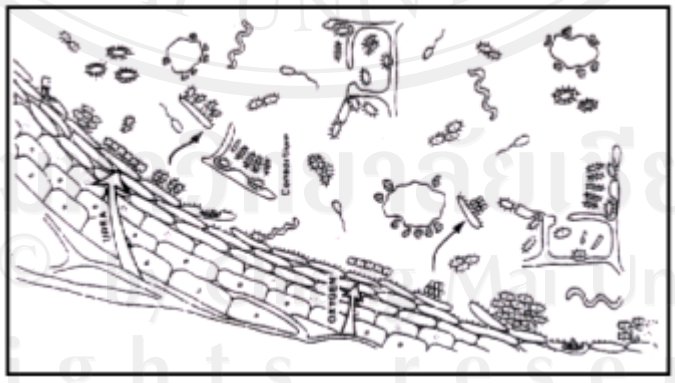
2.7.1.1 แบคทีเรีย (bacteria)

จากของเหลวในกระเพาะรูเมนจะมีแบคทีเรียอยู่ประมาณ 109 –1,010 เซลล์ต่อมิลลิลิตร มีลักษณะเป็นแท่งสั้น ๆ แบคทีเรียอาจจำแนกจากลักษณะภายนอกการย้อมสี แบคทีเรียนั้นสามารถแบ่งออกได้หลายแบบตามการใช้ประโยชน์ของอาหารหรือผลผลิตที่สังเคราะห์ได้ดังนี้

- แบคทีเรียที่ใช้เซลลูโลส (Cellulolytic bacteric)
- แบคทีเรียที่ใช้เฮมิเซลยูโลส (Hemicellulose digesting bacteria)
- แบคทีเรียที่ใช้แอมไมโลส (Amylolytic digesting bacteria)
- แบคทีเรียที่ใช้กรด (Bacteria utilizing acids)
- แบคทีเรียที่ใช้โปรตีน (Proteolytic bacteria)
- แบคทีเรียที่ผลิตแอมโมเนีย (Ammonia –producing bacteria)
- แบคทีเรียที่ผลิตมีเทน (Methanogenic bacteria)
- แบคทีเรียที่ใช้ไขมัน (Lipolytic bacteria)
- แบคทีเรียที่สังเคราะห์ไวตามิน (Vitamin – synthesizing bacteria)

รูปแบบการกระจายตัวของแบคทีเรีย

จะมีอยู่ในกระเพาะรูเมนหลายแบบ โดยลอยตัวอิสระในของเหลวของกระเพาะรูเมน มีประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของทั้งหมดอีก 70 เปอร์เซ็นต์ ยึดติดอยู่กับอาหารที่เหลือยึดติดอยู่ตามผนังของรูเมน และยึดติดอยู่กับโปรโตซัว โดยเฉพาะพวก methanogens (ธันวา, 2551)



ภาพ 2 แสดงการกระจายตัวของแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน
ที่มา : ฉลอง (2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.1.2 โปรโตซัว (protozoa)

พบจำนวนที่น้อยกว่า 106 เซลล์ต่อมิลลิลิตร สามารถมองเห็นลักษณะภายในการเก็บคาร์โบไฮเดรตไว้เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในยามขาดแคลนอาหารได้ด้วยแบ่งออกได้เป็น

- Horotrichia เป็นโปรตัวซัวที่มีขนาดใหญ่ มีขนปกคลุม รูปร่างเป็นรูปไข่ พบในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่กินอาหารมี soluble suger สูง

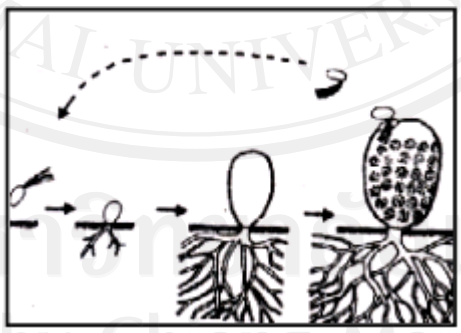
- Spirotrichia มีขนาดและรูปร่างเป็นรูปไข่หรือแท่งยาว มีขนหรือพู่เฉพาะส่วนหน้าจะชอบกินอาหารพวกแป้งมากกว่าน้ำตาล และบางตัวสามารถย่อยเยื่อใยได้ (ธันวา, 2551)

2.7.1.3 เชื้อรา (fungi)

จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีความสำคัญต่อการย่อยสลายอาหารหยาบเป็นอย่างยิ่งและมีสัดส่วนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของจุลินทรีย์ทั้งหมด หรือ ประมาณ 102 – 103 เซลล์ต่อมิลลิลิตร อยู่ได้ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนในรูเมน แกะ แพะ โค และบางสายพันธุ์ของกวาง หรือในไส้ติ่งของม้า ช้าง และจิงโจ้ เชื้อราที่พบในกระเพาะรูเมนของลูกแกะจะพบตั้งแต่มีอายุ 8-10 วัน เชื้อรามีวงจรชีวิตแบ่งเป็น 2 ระยะ

- ระยะ motile flagellated zoospore เป็นระยะเคลื่อนไหวได้ มีหางทำหน้าที่ในการพัดโบก

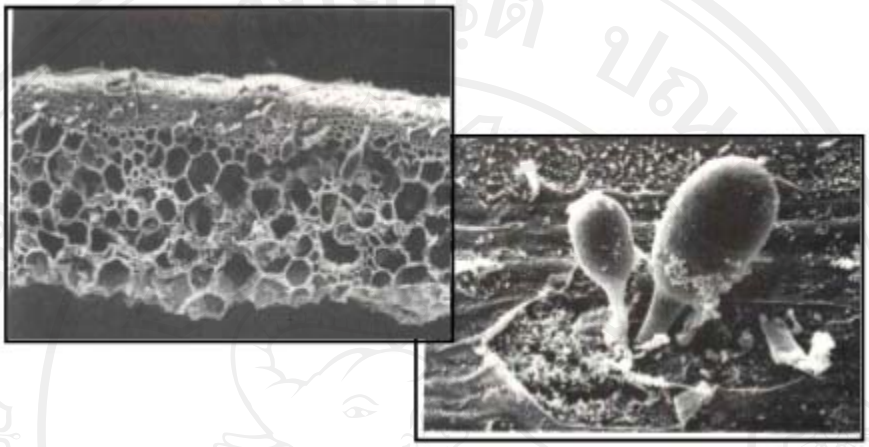
- ระยะ non-motile vegetative เป็นระยะที่หยุดการเคลื่อนไหว มีไรซอยด์ (rhizoid) ทำหน้าที่คล้ายรากของต้นไม้ เจาะแทงเข้าไปในเยื่อของพืช นำเอาคาร์บอนจากพืชมาใช้เป็นประโยชน์



ภาพ 3 แสดงวงจรชีวิตของเชื้อรา
ที่มา : ฉลอง (2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เชื้อราเชื่อว่าเป็นจุลินทรีย์กลุ่มแรกที่เข้าไปย่อยโครงสร้างของเยื่อใย ช่วยให้แบคทีเรียเข้าไปย่อยได้ง่ายขึ้น ในกระเพาะรูเมนหากมีเชื้อรามากจะช่วยลดระยะเวลาการเข้าย่อยอาหารเยื่อใย (ธันวา, 2551)



ภาพ 4 แสดงเชื้อราเข้าไปย่อยโครงสร้างของเยื่อใย
ที่มา : ฉลอง (2541)

ในกระเพาะรูเมนมีสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) มีปริมาณจุลินทรีย์อาศัยอยู่จำนวนมาก และมีจำนวนน้อยมากที่ใช้ออกซิเจน (anaerobes) ออกซิเจนที่จุลินทรีย์นี้ใช้จะมากับอาหาร นอกจากนี้พบว่า ในกระเพาะรูเมนมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยมี pH 5.5 - 7.0 อุณหภูมิ 39 - 40 องศาเซลเซียส และจะต้องมีปริมาณไม่ต่ำกว่า 1 ล้านตัว/กรัมของ rumen contents

ปฏิกิริยาสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

จำนวนจุลินทรีย์จะแตกต่างกันตามระยะเวลาการกินอาหารวันชนิดสัตว์ และสถานที่โดยผลผลิตสุดท้ายที่พบจะเหมือนกัน

- ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแบคทีเรีย มีปฏิสัมพันธ์กันทางบวก แบคทีเรียกลุ่มหนึ่งเจริญได้ต้องอาศัยผลผลิตสุดท้ายจากแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่ง ในกระเพาะรูเมนแบคทีเรียมีหลายกลุ่มมีปฏิสัมพันธ์ในด้านส่งเสริมซึ่งกัน

- ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรโตซัว - แบคทีเรีย โปรโตซัวย่อยแบคทีเรียทำให้มวลชีวของแบคทีเรียในของเหลวกระเพาะรูเมนลดลง มีผลกระทบต่อการย่อยเยื่อใย โปรโตซัวจะแย่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบคทีเรียในการใช้แป้งและน้ำตาลเพื่อเก็บไว้ในตัว แต่โปรโตซัวในกระเพาะรูเมนจะช่วยลดความรุนแรงของการเกิดความเป็นกรด (acidosis) ในรูเมน

- ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรโตซัว - แบคทีเรีย - เชื้อรา โดยเชื้อรากับแบคทีเรียมีปฏิสัมพันธ์กันด้านบวก ส่วนโปรโตซัวและเชื้อราจะมีปฏิสัมพันธ์กันในด้านลบ คือ โปรโตซัวจะกินเชื้อราที่อยู่ในช่วง non - motile zoospore

การกำจัดโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน

จากผลการทดลองเกี่ยวกับการกำจัดโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน พบว่า เกี่ยวข้องกับความสำคัญต่อการเกิดการป้องกันขบวนการผลิตแก๊สมีเทน เกิดการกระตุ้นการผลิตกรดโพรพิออนิก การเพิ่มผลผลิตจุลินทรีย์โปรตีน การไหลผ่านของโปรโตซัวโปรตีนไปยังลำไส้เล็กขาดหายไป การย่อยได้รูเมนจะลดลง และขบวนการย่อยสลายโปรตีนในรูเมนลดลง

ความสำคัญของลำไส้เล็ก

สามารถแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) ลำไส้เล็กส่วนกลาง (Jejunum) และลำไส้เล็กส่วนปลาย (Ileum) มีหน้าที่ในการย่อยและดูดซึมสำหรับพื้นที่สัมผัส และการดูดซึมโภชนะเรียกว่า Villi มีลักษณะคล้ายนิ้วมือดังรูป

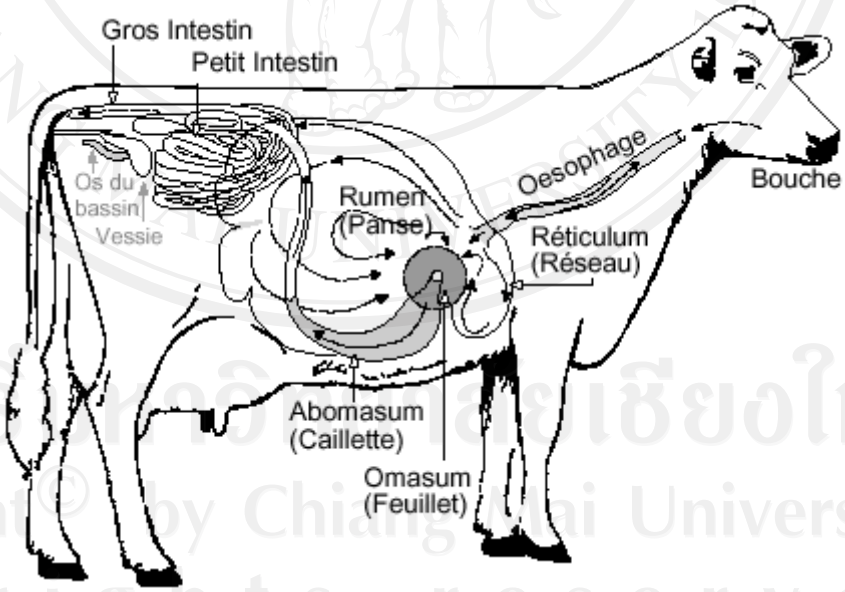
ภาพ 5 แสดงลักษณะ Villi ที่คล้ายนิ้วมือ
ที่มา : Peter (1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.2 การย่อยอาหารในกระเพาะหมัก

อาหารแต่ละชนิดนั้นมีการย่อยได้ในทางเดินอาหารแต่ละส่วนไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำย่อยที่สัตว์ขับออกมา ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ และธรรมชาติของอาหารนั้นๆ เช่น อาหารที่มีเยื่อใยสูงไม่สามารถย่อยได้ที่กระเพาะแท้และลำไส้เล็ก เพราะเอนไซม์จากตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยเยื่อใยได้ แต่จะสามารถย่อยได้บ้างที่กระเพาะรูเมน ไส้ติ่ง และลำไส้ใหญ่โดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์เกิดผลผลิตคือ

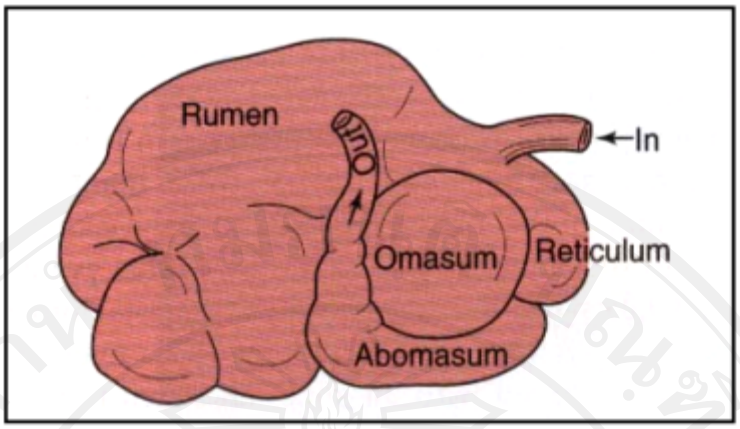
- กรดไขมันระเหยได้ (short chain fatty acid, SCFA หรือ volatile fatty acid, VFA)
- โปรตีนจุลินทรีย์ (microbial protein)
- ก๊าซมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์



ภาพ 6 แผนภาพแสดงทางเดินอาหารของโคนม

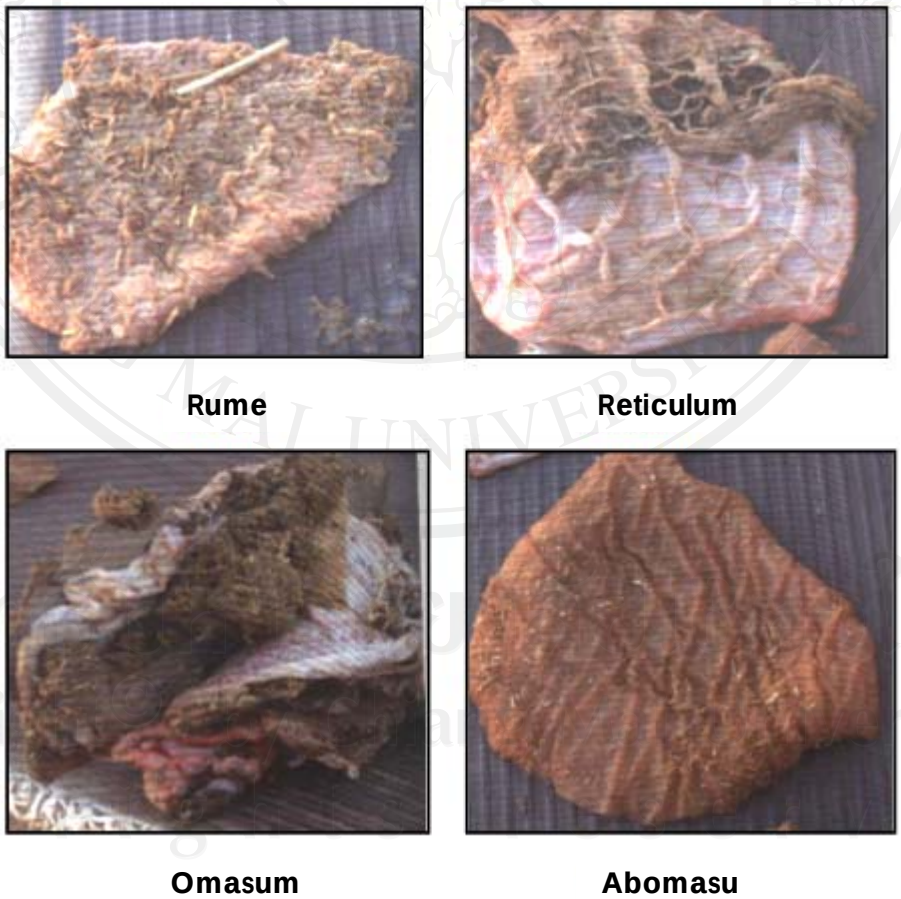
ที่มา : Wattiaux and Howard (no date)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 7 แสดงท่อทางเดินอาหารส่วนกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง

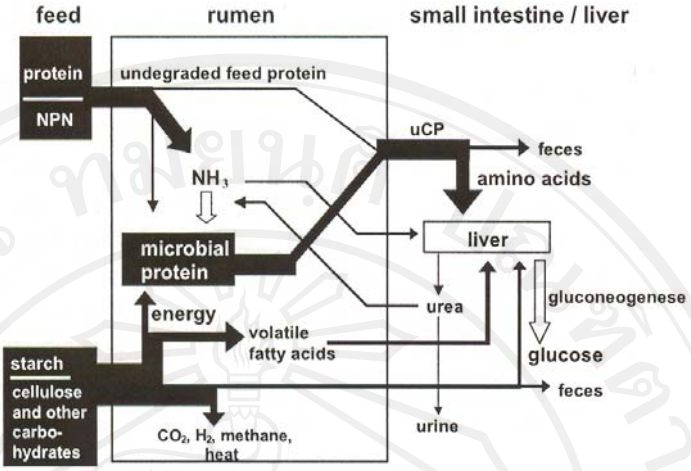
ที่มา : James and baker (2003)



ภาพ 8 แสดงองค์ประกอบของกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ที่มา : James and baker (2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 9 ขบวนการการใช้ประโยชน์ของอาหารโปรตีนและพลังงานในโค
ที่มา: Flachowsky and Lebzien (2006)

2.7.2.1 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

การย่อยอาหารที่เกิดขึ้นในกระเพาะหมักเกิดจากเอนไซม์ที่ผลิต โดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะส่วนนี้เท่านั้น เนื่องจากกระเพาะหมักในโคนั้นไม่มีการผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารแต่อย่างใด ขบวนการย่อยและเมตะบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมักแบ่งได้เป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การย่อย Polysaccharide ให้เป็น Monosaccharide
- การเปลี่ยน Monosaccharide ให้เป็น Pyruvate
- การเปลี่ยนไพรูเวท (pyruvate) ให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid)
- การสังเคราะห์มีเทน (methane, CH_4) (สนธยา, 2548)

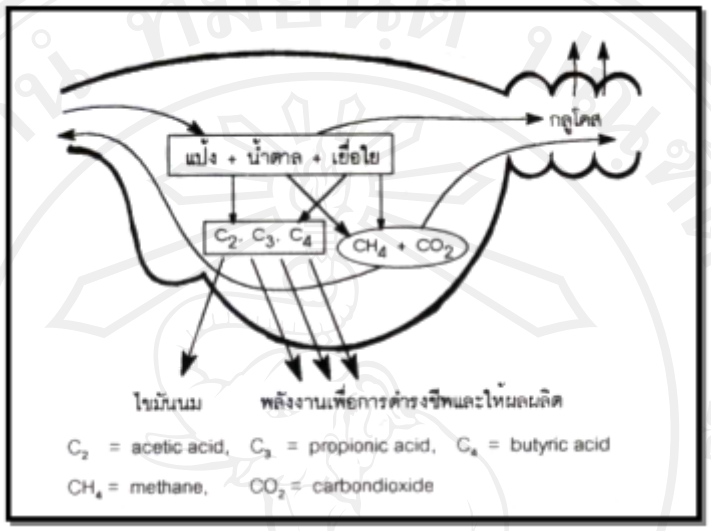
กระบวนการย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ในกระเพาะรูเมนแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะดังนี้

ระยะที่ 1 เป็นโครงสร้างคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้ได้น้ำตาลที่มีขนาดเล็กโดยอาศัยน้ำย่อยจากจุลินทรีย์ที่ปล่อยออกมาจากภายนอกเซลล์

ระยะที่ 2 จุลินทรีย์จะเป็นการหมักเกิดขึ้นภายในเซลล์ โดยขบวนการเมตะบอลิซึม การเปลี่ยนแปลงจาก Pyrurate ไปเป็นผลสุดท้ายจากการย่อย ผลผลิตสุดท้าย ส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile Fatty Acid, VFA) ที่พบในปริมาณมาก ได้แก่ กรดอะซิติก (Acetic Acid, C_2) กรดโพรพิโอนิค (Propionic Acid, C_3) กรดบิวทิริก (Butyric Acid, C_4) แก๊ส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแก๊สมีเทน (Methane, CH_4) ส่วนความเข้มข้นและสัดส่วนของกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและระยะเวลาในการกินอาหารของโคดังแสดงในตาราง 19 (ธันวา, 2551)



ภาพ 9 แสดงขบวนการเมตะโบลิซึมคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน
ที่มา : บุญล้อม (2541)

ตาราง 19 สัดส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบต่อการเกิดกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก

อาหารหยาบ : อาหารข้น	กรดไขมันระเหยได้ (%)		
	กรดอะซิติก	กรดโพรพิโอนิก	กรดบิวทีริก
100 : 0	71.4	16.0	7.9
75 : 25	68.2	18.1	8.0
50 : 50	65.3	18.4	10.4
40 : 60	59.8	25.9	10.2
10 : 80	53.6	30.6	10.7

ที่มา : Phillipson (1970)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

1. ชนิดและส่วนประกอบของธัญพืชในอาหารข้นที่โคได้รับ
2. อายุความแก่อ่อนของแป้งในธัญพืช
3. อัตราส่วนของธัญพืชในอาหารข้นที่โคได้รับ
4. ปริมาณอาหารข้นที่โคได้รับที่มีผลต่ออัตราการไหลผ่าน (rate of passage)
5. กรรมวิธีในการแปรรูปอาหาร วัตถุดิบหรือธัญพืชที่นำมาใช้เลี้ยงโค

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้ง 3 จะแตกต่างกัน โดยการสังเคราะห์กรดโพรพิโอนิกในกระเพาะรูเมนจะมีประสิทธิภาพสูง และการผลิตกรดอะซิติกจะมีประสิทธิภาพต่ำสุด (ตาราง 20)

ตาราง 20 แสดงประสิทธิภาพในการเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้ง 3 ตัว

VFA	Mole/mole glucose	Gross energy (kcal/mole)	Energy from acid (kcal/mole glucose)
acetic acid	2	209.4	418.8
propionic acid	2	369.2	734.4
butyric acid	1	524.3	524.3

หมายเหตุ : 1 mole glucose มี gross energy = 673.0 kcal

ที่มา : ฉลอง (2541)

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้

1. กรดอะซิติกจะผลิตได้สูงเมื่อสัตว์กินอาหารพืชหมักหรือพืชแก่ที่มีสัดส่วนของอาหารหยาบสูงแต่ถ้ามีการบดหยาบจะทำให้สัดส่วนของอะซิติกลดลง (ตาราง 21)
2. การได้รับโปรตีนระดับสูงการผลิตกรดบิวทิริกจะเพิ่มขึ้น
3. การอัดเม็ดธัญพืชด้วยความร้อน มีผลทำให้กรดโพรพิโอนิกผลิตสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 21 แสดงผลผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ในโคและแกะที่ได้รับอาหารต่างชนิดกัน

Animal	Dietary	Individual VFA molar proportion				
		Total VFA (mole/l)	Acetate	Propionate	Butyrate	Other
Cattle	Grass silage	108	74	17	7	3
Cattle	Long hay (40) + Concentrate (60)	96	61	18	13	8
	Pelleted hay (40) + Concentrate (60)	-140	50	30	11	9
Sheep	Hay : Concentrate					
	100 : 0	97	66	22	9	3
	80 : 20	80	61	25	11	3
	60 : 40	87	61	23	13	2
	40 : 60	76	52	24	12	3

ที่มา : ฉลอง (2541)

การดูดซึมกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA)

ผลผลิตที่ได้จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนโดยความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของกระเพาะรูเมนจะมีผลต่อการดูดซึมตามลำดับดังนี้ C4 > C3 > C2 และในสารละลายที่เป็นกรด pH 6.6 การดูดซึมของกรดไขมันจะลดลง และที่ pH 5.0-5.5 อัตราการดูดซึมจะเร็วกว่าที่ pH 7.5-8.0 (ตาราง 22)

ตาราง 22 แสดงอิทธิพลของ pH ที่มีต่ออัตราการดูดซึมของ VFA ในกระเพาะรูเมน

pH	อัตราการดูดซึม, ml/min		
	C_2	C_3	C_4
5.36	52.6	116.0	202.7
5.46	68.5	100.8	160.5
ค่าเฉลี่ย	60.6	108.4	181.6
6.51	44.7	68.2	96.4
6.57	52.2	55.5	60.4
ค่าเฉลี่ย	48.5	61.9	78.4

ที่มา : เมธา (2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การย่อยคาร์โบไฮเดรตในลำไส้เล็ก

การย่อยคาร์โบไฮเดรตและการดูดซึมที่ลำไส้เล็กถูกย่อยโดยเอนไซม์ amylase และ maltase ที่หลั่งออกมาจากตับอ่อน และผนังลำไส้ ผลสุดท้ายจากการย่อยคาร์โบไฮเดรตได้กลูโคส ขบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรตเหมือนกับในกระเพาะรูเมน เป็นกิจกรรมของจุลินทรีย์ ผลสุดท้ายที่ได้จะเหมือนกับในกระเพาะรูเมน

แนวทางการพัฒนาการให้อาหารพลังงานแก่โคนม

โชค และคณะ (2550) รายงานว่าอาหารพลังงานที่สำคัญๆสำหรับสัตว์นั้นได้แก่ อาหารคาร์โบไฮเดรต จำพวกแป้ง น้ำตาล และอาหารเยื่อใยสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยเฉพาะในโคนม อาหารพลังงานมีความสำคัญมากทั้งในด้านการนำมาใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์ในการสร้างจุลินทรีย์โปรตีน (Microbial protein) รวมทั้งการใช้เพื่อดำรงชีพ และการสร้างผลผลิตน้ำนม จากข้อมูลคำแนะนำการให้อาหารพลังงานแก่โคนมในประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน (GfE, 2001) ได้นำค่าพลังงานสุทธิสำหรับสร้างน้ำนม (Net Energy Lactation, NE_LMJ/kg DM) มาใช้เป็นมาตรฐานในการประเมินการให้อาหารแก่โคนม สำหรับค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{พลังงานสำหรับการดำรงชีพ (MJ } NE_L \text{ / day)} = 0.293 \times W^{0.75} \quad (1)$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวสัตว์ (กิโลกรัม)

สำหรับปริมาณพลังงานที่ใช้สำหรับผลิตน้ำนมนั้น อาศัยสมการดังต่อไปนี้ในการคำนวณ : -

1. เมื่อทราบปริมาณไขมันในน้ำนม

$$LE \text{ (MJ / kg)} = 0.41 \times \% \text{ fat} + 1.51 \quad (2)$$

2. เมื่อทราบปริมาณไขมันและปริมาณโปรตีนในน้ำนม

$$LE \text{ (MJ / kg)} = 0.38 \times \% \text{ fat} + 0.21 \times \% \text{ protein} + 0.95 \quad (3)$$

เมื่อ LE = ปริมาณพลังงานในน้ำนม 1 กิโลกรัม (MJ)

จากสมการ (1) (2) และ (3) เราสามารถนำมาประเมินหาค่าความต้องการอาหารพลังงานของโครีดนมตามความสามารถในการผลิตน้ำนม และน้ำหนักตัวของแม่โคต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับค่าพลังงานสุทธิในการสร้างน้ำนมในอาหารหยาบและวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้น สามารถใช้ค่าจากตารางคุณค่าโภชนะของ Holm (1973) นำมาประกอบการคำนวณได้โดยอาศัยสมการจาก GfE (2001) ดังต่อไปนี้

GE (MJ) = 0.0239 x gCP + 0.0398 x gEE + 0.0201 x gCF x gNFE (4)

ME (MJ) = 0.0312 x gDEE + 0.0136 x gDCF + 0.014 x g (DOM - DEE - DCF) + 0.00234 x gCP (5)

NE_L (MJ) = 0.6 x [1 + 0.04 x (q – 57)] x ME (6)

เมื่อ q = (ME / GE) x 100

CP = crude protein

DCP = digestible crude protein

EE = crude fat

DEE = digestible crude fat

CF = crude fibre

DCF = digestible crude fibre

NFE = nitrogen free extract

DOM = digestible organic matter

$$\text{ปริมาณอาหารที่ต้องให้} = \frac{\text{ค่าพลังงานที่ต้องการต่อวัน}}{\text{ค่าพลังงานในอาหาร 1 กิโลกรัม*}} \text{ กิโลกรัม/วัน}$$

*ค่าพลังงานในอาหารที่กินเข้าไป = 5.2 MJ NE_L/ กิโลกรัมวัตถุแห้ง

เมื่อเราคำนวณค่าพลังงานในอาหารหยาบและในวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้แล้ว ก็สามารถนำมาประเมินค่าความต้องการใช้อาหารพลังงานได้อย่างถูกต้องใกล้เคียงกับความต้องการของสัตว์ที่แท้จริง ตาราง 23 เป็นตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณปริมาณความต้องการโคนมที่มีน้ำหนักตัว 500 กิโลกรัม และมีความสามารถให้นมที่ระดับต่างๆกัน ซึ่งสามารถนำไปให้คำแนะนำแก่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมต่อไปได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 23 ปริมาณความ ต้องการอาหารพลังงานของโคนมที่น้ำหนักตัว 500 กิโลกรัม

รายการ	ความต้องการอาหารพลังงาน (MJ NEL/วัน)
พลังงานเพื่อการดำรงชีพสำหรับโคนม น้ำหนักตัว 500 กิโลกรัม	31
+ พลังงานเพื่อการให้นม (กิโลกรัม) 1) [1)]	
10	64
15	80
20	97
25	113.5
30	130.0

[1)] ที่ไขมันนม 4% และโปรตีนนม 3.4%

ที่มา : โชค และคณะ, 2550

2.7.2.2 การย่อยโปรตีนในกระเพาะหมัก

โปรตีนจากอาหารในกระเพาะหมักถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้เปปไทด์ และกรดอะมิโน โดยเกิดขึ้นภายในเซลล์ แอมโมเนีย กรดอะมิโนอิสระและเปปไทด์บางส่วนจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์เพื่อไฮโดรไลซ์ต่อ กรดอะมิโนที่เกิดขึ้นบางส่วนนำไปสร้างอาหารโปรตีนของจุลินทรีย์ เรียกว่า microbial protein ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้าย

การสลายตัวของโปรตีนแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้คือ

1. ขบวนการ Proteolysis แยกรอยต่อของโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธี hydrolysis ตรง peptide bond ทำให้ได้ peptide และกรดอะมิโนบางส่วนออกมา

2. ขบวนการสลายตัวของกรดอะมิโน โดยขบวนการ deamination และผลิตกรดอินทรีย์และแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป (เทอดชัย, 2542)

การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก คือ อาหารประเภทโปรตีนประกอบไปด้วยโปรตีนแท้ (true protein) และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) โปรตีนแท้บางส่วนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เรียกโปรตีนเหล่านี้ว่า rumen degradable protein (RDP) ซึ่งจะถูกย่อยเป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน แต่กรดอะมิโนบางชนิดบางส่วนจะถูกย่อยต่อไปเป็นกรดอินทรีย์ แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแอมโมเนียที่เกิดขึ้น เปปไทด์ขนาดเล็ก และกรดอะมิโนอิสระจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์สังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ (microbial protein) และโปรตีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บางส่วนที่ทนทานต่อการย่อยจาก จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักทำให้ไม่ถูกย่อยและเคลื่อนที่ผ่านไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก เรียกโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยเหล่านี้ว่า rumen undegradable protein (RUP) ส่วนไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) เมื่อเข้าไปในกระเพาะหมักจะแตกตัวเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ ซึ่งระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักสามารถวัดได้โดยวิธี Conway method (Voigt und Steger, 1967) หรือโดยวิธีการกลั่น และระดับแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์จะอยู่ในช่วง 3 – 8 mg/100ml (Satter and Roffler, 1975) เมื่อเซลล์ของจุลินทรีย์และโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักเคลื่อนที่ไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็กจะถูกเอนไซม์ในทางเดินอาหารย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อไป (McDonald *et al*., 1995)

กิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นจะแตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม pH ภายในกระเพาะหมักอาจมีอิทธิพลมากกว่าโดย pH ที่เหมาะสมต่อการเข้าสลายโปรตีนของ จุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 6-7 ซึ่งสามารถวัดได้โดยการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมัก (rumen fluid) ในส่วนล่างของกระเพาะ (ventral sac) มาวัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดแบบ pH scan BNC^{TM} ซึ่งมีค่าความถูกต้อง $\pm$ 0.1 และกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนของจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์จากแอมโมเนีย ส่วนอีก 20 เปอร์เซ็นต์ใช้กรดอะมิโนโดยตรง ประมาณ 59 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนจากอาหารจะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักปริมาณไนโตรเจนที่ถูกย่อย 29 เปอร์เซ็นต์จะถูกใช้ประโยชน์ในรูปของกรดอะมิโน อีก 71 เปอร์เซ็นต์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนีย อย่างไรก็ตามเรื่องนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของอาหารโปรตีนแต่ละชนิด (เมธา, 2533)

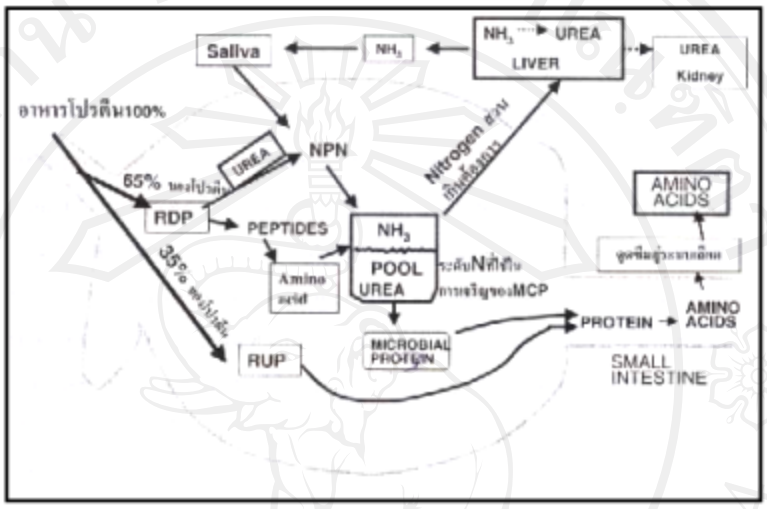
ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยโปรตีนในกระเพาะหมัก

1. ความสามารถในการสลายโปรตีน (protein solubility) โดยโปรตีนที่สลายได้มากมีโอกาสที่จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้มาก

2. วิธีการให้อาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมักถ้าโคได้รับอาหารในปริมาณที่มากระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาะหมัก (retention time) ก็จะลดลง มีผลทำให้อาหารเคลื่อนที่ไปยังทางเดินอาหารส่วนอื่นๆ (rate of passage) เร็วขึ้นจุลินทรีย์มีโอกาสสลายโปรตีนได้ลดลง ทำให้โปรตีนรอดพ้นจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของชิ้นอาหารก็มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่อาหารจะคงอยู่ในกระเพาะหมัก โดยอาหารที่มีขนาดใหญ่ หรืออาหารที่ไม่ได้สับจะมีระยะเวลาที่อาหารจะคงอยู่ในกระเพาะหมักมากกว่าอาหารที่มีขนาดเล็ก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ปัจจัยจากตัวสัตว์สำหรับสัตว์ชนิดต่างๆกัน เช่น โคและแกะโดยโคจะมีค่า retention time สูงกว่าแกะ (1.73 -3.7 วัน และ 0.2-2.2 วัน) เมื่อมี retention time สูงโอกาสที่โคจะเคี้ยวเอื้องก็มีสูงกว่าแกะ และทำให้ชิ้นอาหารมีขนาดเล็กกว่าจึงเป็นการเพิ่มโอกาสที่จุลินทรีย์จะเข้าทำการย่อยสลายอาหารได้มากขึ้นด้วย (เทอดชัย, 2542)



ภาพ 10 แสดงขบวนการเมทธาโบลิซึมโปรตีนแท้และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนในกระเพาะรูเมน

ที่มา : วิโรจน์ (2546)

การย่อยและการดูดซึมโปรตีนในลำไส้เล็ก

โปรตีนที่เข้าไปในลำไส้เล็ก ได้แก่ โปรตีนจากอาหารที่รอดพ้นจากการย่อยในกระเพาะหมัก (RUP) โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein) และโปรตีนจากทางเดินอาหาร (endogenous protein) การย่อยโปรตีนในลำไส้เล็กคล้ายกับในสัตว์กระเพาะเดี่ยว คือโปรตีนจะถูกเอนไซม์จากตับอ่อนและลำไส้เล็กเข้าย่อยโปรตีนได้เป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์สายสั้นๆ ซึ่งจะถูกดูดซึมโดยลำไส้เล็ก และภายในผนังลำไส้เล็กจะมีเอนไซม์เปปติเดส (peptidase) ย่อยเปปไทด์ให้เป็นกรดอะมิโนและดูดซึมไปยัง portal blood ต่อไป กรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ คือ ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน หรือมีการ oxidation ต่อไปให้เป็นพลังงานในรูป ATP ส่วนพวกแอมโมเนียหรือไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen) เมื่อถูกดูดซึมจะถูกเปลี่ยนให้เป็นยูเรีย (urea) โดย Ornithine cycle และยูเรียส่วนใหญ่เข้าไปรวมกับ Urea N pool ในของเหลวในร่างกายซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ผ่านทางน้ำลาย และส่วนมากจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถูกขับออกไปพร้อมกับปัสสาวะ ดังนั้นไนโตรเจนที่เข้าไปในลำไส้เล็กถ้าหากมีสัดส่วนของโปรตีนแท้หรือกรดอะมิโนไม่ว่าจะเป็นโปรตีนแท้ที่รอดพ้นจากการสลายตัวในกระเพาะรูเมน (RUP) หรือโปรตีนจากจุลินทรีย์ในปริมาณสูงก็จะทำให้สัตว์ได้รับกรดอะมิโนผ่านทางลำไส้เล็กได้สูงขึ้น แต่ถ้าเป็นส่วนของโปรตีนที่ไม่ใช่ไนโตรเจน หรือแอมโมเนียร่างกายสัตว์ก็มีโอกาสได้รับกรดอะมิโนน้อย เนื่องจากไนโตรเจนที่เข้าไปในลำไส้เล็กไม่เกิดประโยชน์แก่ร่างกายมากเท่าใด (เทอดชัย, 2542)

โปรตีนที่เข้าไปในลำไส้ใหญ่ ได้แก่ โปรตีนในอาหารที่ไม่ถูกย่อยโดยลำไส้เล็ก โปรตีนจากจุลินทรีย์และโปรตีนจากทางเดินอาหาร (endogenous protein) ที่ไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก นอกจากนี้ยังมีน้ำย่อยต่าง ๆ จากลำไส้เล็กและตับอ่อน การย่อยโปรตีนในลำไส้ใหญ่คล้ายกับในกระเพาะหมัก คือ ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายและผลผลิตส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนีย ส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อใช้ประโยชน์ในร่างกายอีก และส่วนหนึ่งถูกนำไปสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์และโปรตีนที่เกิดขึ้นภายในลำไส้ใหญ่นี้ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ และจะถูกขับออกนอกร่างกายไปพร้อมกับมูล (เทอดชัย, 2542)

การทำ By-pass protein

มักพิจารณาทำในโคนมที่ให้ผลผลิตต่ำจะมีความต้องการโปรตีนน้อย การได้รับโปรตีนจาก จุลินทรีย์เพียงพอแต่ในสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูงจำเป็นที่จะได้รับโปรตีนโดยตรงจากโปรตีนที่ไหลผ่านมาดูดซึมที่ลำไส้เล็กเพิ่มขึ้นโดยวิธีดังนี้

1. การใช้อาหารที่มีโปรตีนถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนน้อย โปรตีนในอาหารแต่ละชนิดมีการละลายได้ (solubility) และถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอายุของพืชการเก็บและการแปรรูป

2. การใช้สารเคมีเคลือบอาหารโปรตีน สารเคมีที่ใช้มีอยู่หลายชนิดได้แก่ ฟอร์มาดีไฮด์และแทนนิน ระดับฟอร์มาดีไฮด์ที่ใช้เคลือบกากถั่วเหลืองเหมาะสมไม่ควรเกินระดับ 2 กรัมต่อ กก. น้ำหนักแห้ง สำหรับแทนนินทำให้ทนการย่อยในสภาพที่มีความเป็นกรด-ด่างสูงในกระเพาะรูเมน แต่ถูกย่อยสลายในกระเพาะอะโบมาซัมและลำไส้เล็กที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ

3. การใช้ความร้อน โดยปกติการอัดเม็ด การสกัดน้ำมัน การคั่ว การอบ การนึ่ง การต้ม ทำให้การสลายของโปรตีนลดลง จากการศึกษาพบว่า การอบ ทำให้โปรตีนมีการสลายได้ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองดิบ แต่ถ้าอุณหภูมิเกิน 131.1 องศาเซลเซียส ก็ให้ผลที่ไม่ดี (ธันวา, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารโปรตีนในโคนม

โชค และคณะ (2550) กล่าวว่าถ้าให้สัตว์กินอาหารโปรตีนในปริมาณที่มากเกินความต้องการแทนที่จะเป็นผลดี อาจจะมีผลในทิศทางตรงข้ามในแง่ของการสูญเสียไปในรูปของไนโตรเจน ที่ขับออกมาทางปัสสาวะเป็นส่วนใหญ่ หรือขับออกมาทางมูลซึ่งอาจจะสูงถึงร้อยละ 60 – 90 ของปริมาณไนโตรเจนที่กินเข้าไป (Flachowsky and Lebzien, 2006) นอกจากนี้การให้สัตว์กินอาหารที่มีโปรตีนที่มากเกินไปอาจส่งผลกระทบทางอ้อมในแง่ของสรีระวิทยาทางการสืบพันธุ์ เช่น สภาพแวดล้อมภายในมดลูก การสร้างไข่ของรังไข่ และการพัฒนาการของตัวอ่อนในท้องแม่ ซึ่งแสดงออกมาในแง่ของอัตราการผสมติดที่ต่ำ Ferguson and Sklan (2005) รายงานว่าสาเหตุส่วนใหญ่พบว่าความสมบูรณ์พันธุ์มีความสัมพันธ์กับปริมาณ RDP (rumen degradable protein) ที่มากเกินไปกว่าความต้องการในการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ (microbial protein) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณพลังงานที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ โดยส่วนใหญ่จะพบในกรณีที่มีพลังงานที่ไม่เพียงพอกับความต้องการด้วยเช่นกัน

ในประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันล่าสุดในปี ค.ศ. 2001 คณะกรรมการกำหนดปริมาณความต้องการอาหารของสัตว์เลี้ยง (GfE, 2001) ได้พิจารณากำหนดแนวทางการให้อาหารแก่โครีดนมโดยอาศัยค่าความต้องการปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (utilizable crude protein - uCP) ที่ไหลมาถึงลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) ดังแสดงไว้ในตาราง 24 โดยอาศัยสมการ (7) ที่แสดงไว้นี้มาใช้ในการประเมินค่าสำหรับโคนมที่มีน้ำหนักตัว 500 กิโลกรัม ให้นมที่มีไขมันร้อยละ 4 และโปรตีนนมร้อยละ 3.4

ปริมาณความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ = 390 + 85 x กิโลกรัมน้ำนม (กรัม/วัน) (7)

ในตาราง 24 จะเห็นว่าได้มีการแสดงค่าปริมาณความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพบวกกับปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ในการสร้างน้ำนม

ในขณะนี้ประเทศไทยเรายังไม่ปรากฏว่ามีหน่วยงานใดได้ออกมากำหนดมาตรฐานการให้อาหารแก่โคนม หรือให้ข้อเสนอแนะที่ชัดเจนแก่เกษตรกรแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามได้มีการความพยายามจากนักวิชาการหลายท่านที่พิจารณานำเอาข้อมูลมาตรฐานการให้อาหารจากประเทศต่างๆ โดยเฉพาะจากประเทศสหรัฐอเมริกามาใช้กันเป็นส่วนใหญ่

จากการที่ครั้งนี้ได้นำเสนอตารางข้อมูลโดยอาศัยค่าปริมาณการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนนั้นเป็นเรื่องใหม่สำหรับบ้านเรายังไม่มีผลการทดลองที่สามารถยืนยันได้ว่าจะนำมาประยุกต์ใช้กับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บ้านเราได้หรือไม่ สำหรับค่าการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนในอาหารนั้นอาจจะประเมินได้โดยอาศัยสมการของ Lebzien *et al.* (1996) ดังต่อไปนี้

$$uCP(g) = 132.5\ (DOM - DEE) + 0.40\ CP \quad (8)$$

เมื่อ uCP = ปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (กรัม)

DOM = ปริมาณอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ (กิโลกรัม)

DEE = ปริมาณไขมันที่ย่อยได้ (กิโลกรัม)

CP = ปริมาณโปรตีนหยาบ (กิโลกรัม)

ตาราง 24 ปริมาณความต้องการอาหารโปรตีนใช้ประโยชน์ได้ (uCP-utilizable crude protein) สำหรับโคนมน้ำหนักตัว 500 กิโลกรัม

รายการ	ความต้องการโปรตีนใช้ประโยชน์ได้ (กรัม uCP/วัน)
เพื่อการดำรงชีพสำหรับโคนมน้ำหนักตัว 500 กิโลกรัม[1)] + เพื่อการให้นม (กิโลกรัม)[2)]	390
10	1,240
15	1,665
20	2,090
25	2,515
30	2,940

[1)] ถ้าน้ำหนักตัวโคเปลี่ยนไปจาก 500 กิโลกรัม ต้องปรับค่าดังนี้ : +20 กรัม uCP/น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนไปทุก 50 กิโลกรัม

[2)] นมที่มีไขมัน 4.0% และโปรตีนนม 3.4% (85 กรัม uCP/กิโลกรัมน้ำนม)

- ถ้าปริมาณโปรตีนนมเปลี่ยนไป 0.1% ต้องปรับค่าความต้องการโปรตีนใช้ประโยชน์ได้ +2.1 กรัม uCP/กิโลกรัม

ที่มา : โชค และคณะ, 2550

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.2.3 ความแตกต่างระหว่างการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต

คือ ความแตกต่างของจำนวนชนิดของเอมไซม์ ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเอมไซม์ที่เข้ามาย่อยโปรตีนจะมีจำนวนหลายชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนที่ใช้ในการย่อยแป้ง เนื่องจากแป้งประกอบด้วย monomer เพียงชนิดเดียวคือ glucose ด้วยเหตุนี้จึงมีพันธะชนิดเดียวที่ถูกย่อย ในขณะที่โปรตีนเกิดขึ้นจากการประกอบกันของ amino acid ถึง 20 ชนิด ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีเอนไซม์ในการย่อยหลายชนิด เพราะว่าเอนไซม์แต่ละชนิดนั้นมีประสิทธิภาพสลายพันธะ peptide ระหว่าง amino acid แต่ละตัวแตกต่างกัน

เอมไซม์ย่อยโปรตีนที่หลั่งมาจากกระเพาะอาหาร และตับอ่อนจะอยู่ในรูปที่ไม่พร้อมจะทำงาน เรียกว่า zymogen ซึ่งจะถูกกระตุ้นทำงานในกระเพาะอาหาร หรือในลำไส้ เอมไซม์เหล่านี้จะหลั่งออกมาอยู่ในรูปที่ไม่พร้อมจะทำงาน เนื่องจากการหลั่งในรูปที่พร้อมจะทำงาน เอมไซม์เหล่านี้อาจจะย่อยเซลล์ เอมไซม์จากกระเพาะอาหารคือ pepsinogen, chymosinogen (prorennin) จะถูกกระตุ้นด้วยกรดเกลือด้วยโดยขบวนการ hydrolysis สภาวะความเป็นกรดภายในกระเพาะอาหาร จะเหมาะสมต่อการทำงานของ pepsin จะอยู่ที่ pH 1-3 การย่อยโปรตีนของกระเพาะอาหารน่าจะมีความสำคัญทั้งทางกายภาพและทางเคมี (ธันวา, 2551)

2.7.3 ประโยชน์จากการทราบตำแหน่งการย่อยของอาหาร

เนื่องจากการย่อยอาหารที่ตำแหน่งต่างๆ เกิดผลต่างกัน เช่น การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมักจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็น microbial protein ซึ่งมีคุณภาพดี เนื่องจากมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นใกล้เคียงกับความต้องการของสัตว์ (Schwab, 1995) ดังนั้นถ้าโปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปมีคุณภาพไม่ดี หรือเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen, NPN) การย่อยสลายในกระเพาะหมักจะมีประโยชน์มาก แต่ถ้าโปรตีนที่กินเข้าไปมีคุณภาพสูง การย่อยสลายในกระเพาะหมักอาจไม่มีประโยชน์มากนัก เพราะการสลายตัวของโปรตีนไปเป็นแอมโมเนียในกระเพาะหมักจะเกิดการสูญเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถนำแอมโมเนียไปใช้ได้ทั้งหมด และ microbial protein ที่เกิดขึ้นอาจมีสัดส่วนของกรดอะมิโนน้อยกว่าโปรตีนเดิมที่สัตว์กินเข้าไป ดั้งนั้นถ้าโปรตีนจำพวกนี้ถูกย่อยสลายโดยเอมไซม์ในตัวสัตว์ที่กระเพาะแท้ และลำไส้เล็กก็จะได้ประโยชน์มากกว่า เพราะได้กรดอะมิโนที่มีสัดส่วนที่เหมาะสมซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ได้โดยตรง (บุญล้อม, 2541)

ส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักถ้าอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมจะเกิดประโยชน์มาก เนื่องจากจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ อีกทั้งยังเป็นโครงสร้างคาร์บอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเพื่อนำไปสังเคราะห์ microbial protein อย่างไรก็ตามผลจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมักก็มีการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปในรูปของแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ของ gross energy ที่สัตว์ได้รับ ดังนั้นในกรณีของอาหารหยาบที่มีเยื่อใยสูงที่ไม่สามารถย่อยที่ลำไส้เล็กได้ การย่อยในกระเพาะหมักจึงมีประโยชน์มากกว่า เพราะจะได้เป็น monosaccharide ซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ดังนั้นจึงควรให้อาหารคาร์โบไฮเดรตที่มีการย่อยสลายได้ดีในกระเพาะหมักเท่านั้น

2.8 การศึกษาการย่อยได้ในโค (Digestibility studies in cattle)

การศึกษาการย่อยได้ (Digestibility studies) มีความหมายกว้างๆคือ การวัดปริมาณโภชนะหรืออาหารที่สูญหายไปในทางเดินอาหารส่วนต่างๆ ของโคโดยมีวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาคือ เพื่อประเมินความสามารถหรือประสิทธิภาพของโคในการนำเอาโภชนะหรืออาหารชนิดนั้นไปใช้ประโยชน์ และเพื่อศึกษาถึงปริมาณโภชนะที่สามารถย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารว่ามีมากน้อยเพียงใด (เทอดชัย, 2540)

การประเมินคุณค่าทางอาหารที่เป็นพื้นฐานคือ วิธีการวิเคราะห์แบบ proximate analysis (AOAC., 2000) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมานาน สามารถบอกองค์ประกอบทางเคมีได้ในระดับหนึ่ง แต่มีข้อจำกัดเรื่องการวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นเยื่อใย จึงมีการพัฒนาการวิเคราะห์เยื่อใยขึ้นเรียกว่า detergent method (Van soest, 1982) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีนี้ก็ยังไม่สามารถบอกการย่อยได้ในตัวสัตว์ ตลอดจนการนำโภชนะต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ได้จริง ดังนั้นจึงมีการทดลองหาค่าการย่อยได้ทั้งในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) ได้แก่การประเมินค่าการย่อยได้และพลังงานด้วยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น และการทดลองในตัวสัตว์โดยตรง (*in vivo*) ได้แก่ การศึกษาการย่อยได้โดยวิธีการแบบดั้งเดิมเพื่อหาการย่อยได้แบบปรากฏ และการใช้สารบ่งชี้

2.8.1 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility) โดยวิธีการแบบดั้งเดิม (conventional method)

หลักการโดยทั่วไปของการศึกษาโดยวิธีการนี้คือ โคทดลองต้องมีอายุและขนาดน้ำหนักตัวใกล้เคียงกัน สุขภาพดี ไม่ตื่นตกใจง่าย ควรใช้โคทดลองมากกว่า 1 ตัว ทั้งนี้แม้ว่าจะเป็นสัตว์ชนิดเดียวกัน อายุและเพศเดียวกัน ก็อาจมีความสามารถในการย่อยอาหารที่แตกต่างกัน การมีจำนวนซ้ำมากจะทำให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องมากขึ้น แต่อาจสิ้นเปลืองแรงงานและค่าใช้จ่ายมาก แต่อย่างไรก็

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตามพบว่าควรใช้สัตว์ทดลองอย่างน้อย 4 ตัว (บุญล้อม, 2540) วิธีการศึกษาการย่อยได้แบบนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วงคือ

1. **ระยะปรับตัว** (preliminary period) เป็นระยะเวลาที่ให้สัตว์ทดลองและจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมักปรับตัวให้เข้ากับอาหารที่ทำการทดลอง และเพื่อขับอาหารเดิมที่สัตว์ได้รับออกจากทางเดินอาหารให้หมด สำหรับโครระยะนี้ควรใช้เวลาประมาณ 10 – 14 วัน

2. **ระยะเก็บข้อมูล** (collection period) เป็นระยะเวลาที่เก็บและบันทึกปริมาณอาหารที่สัตว์กิน และมูลที่ขับออกมาโดยวิธีการสุ่ม และเก็บตัวอย่างที่สุ่มมา 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ไว้เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อนำไปคำนวณค่าการย่อยได้โดยทั่วไประยะนี้ใช้เวลาประมาณ 7 – 10 วัน หากจำกัดปริมาณอาหารที่ให้ (restrict feeding) และ 10 – 14 วันหากมีการให้อาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*)

หลังจากเสร็จจากขั้นตอนการเก็บตัวอย่างในช่วง collection period แล้ว นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโภชนะที่มีในอาหารที่ศึกษาและในมูลที่โคขับออกมาเพื่อนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ที่เสนอโดยบุญล้อม (2540)

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ (\%)} = \left\{ \frac{\text{โภชนะที่กินได้} - \text{โภชนะที่ขับออก}}{\text{โภชนะที่กิน}} \right\} \times 100$$

2.8.2 การศึกษาการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*in vivo*) โดยวิธีการใช้สารบ่งชี้ (indicator method)

การหาค่าการย่อยได้แบบดั้งเดิมบางครั้งอาจทำให้ได้ข้อมูลที่คาดเคลื่อนเนื่องจากต้องทราบปริมาณอาหารที่กินและมูลที่ขับออกมาทั้งหมด ซึ่งในระหว่างการทดลองการบันทึกปริมาณมูลที่ขับออกมาทั้งหมดนั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก วิธีการใช้สารบ่งชี้ (indicator or marker) ผสมกับอาหารที่ทำการศึกษาและใช้ปริมาณสารบ่งชี้ดังกล่าวเป็นตัวแปลในการคำนวณหาค่าการย่อยได้ ก็เป็นวิธีที่ช่วยแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ ซึ่งวิธีการหาค่าการย่อยได้โดยใช้สารบ่งชี้นั้นคล้ายคลึงกับการหาค่าการย่อยได้แบบดั้งเดิม

2.8.2.1 คุณสมบัติของสารบ่งชี้ (properties of marker)

โดยทั่วไปสารที่สามารถนำมาเป็นสารบ่งชี้ต้องมีคุณสมบัติคือ ต้องเป็นสารที่ไม่ถูกย่อยสลาย ไม่ถูกดูดซึมหรือมีผลต่อระบบทางเดินอาหารและต้องไม่มีผลต่อประชากรของจุลินทรีย์ภายในทางเดินอาหารของโคเมื่อผ่านทางเดินอาหารจะต้องเป็นเนื้อเดียวกับอาหารที่กำลังศึกษา มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อัตราการไหลผ่านที่ใกล้เคียงกันโดยเฉพาะในกระเพาะหมักซึ่งเป็นแหล่งที่มีความแปรปรวนของอัตราการไหลผ่านเป็นอย่างมาก ที่สำคัญคือต้องสามารถตรวจพบได้ง่ายเมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณในอาหารหรือตัวอย่างทดลอง (Marais, 2000) และเมื่อผสมอาหารให้โคกินแล้วต้องสามารถขับออกมาได้ทั้งหมด (Rymer, 2000)

2.8.2.2 ประเภทของสารบ่งชี้ (type of markers)

โดยทั่วไปสารบ่งชี้ที่ใช้ในการศึกษาการย่อยได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

ก) Internal indicator เป็นสาร หรือสารประกอบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยอาจอยู่ในอาหารที่สัตว์กินหรือเป็นส่วนหนึ่งของพืชอาหารสัตว์ มีราคาถูกเหมาะสำหรับศึกษาสัตว์ป่า หรือสัตว์เลี้ยงที่ปล่อยแปลงซึ่งยากต่อการให้กินสารบ่งชี้ที่ผสมในอาหาร สารบ่งชี้ประเภทนี้ที่สำคัญได้แก่ลิกนิน (lignin) ซึ่งพบว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่มีเอมไซม์ที่สามารถย่อยสลายพันธะ polymerized phenolic compound ของลิกนินได้ (Marais, 2000) แต่อย่างไรก็ตามลิกนินเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนองค์ประกอบทางเคมีของมันอาจมีความหลากหลายทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิดของพืชส่งผลให้ปริมาณที่กลับคืน (recovery rate) อาจไม่คงที่ (เทอดชัย, 24542) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร สารสีในพืช (plant chromogen) ซึ่งพบว่าสารชนิดนี้ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักและเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA) ส่วนใหญ่ได้แก่ซิลิก้า (silica) ซึ่งนิยมในการใช้หาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในไก่ และในโค (Marais, 2000) แต่การใช้เถ้าที่ไม่ละลายในกรดเป็นสารบ่งชี้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนถ้าอาหารที่ศึกษานั้นมีการปนเปื้อนด้วยดินหรือ ทราย

ข) External indicator คือสารเคมีที่ผสมลงไปในอาหารทดลอง โดยปกติการใช้ชนิดนี้กับสัตว์นิยมให้ทางปาก หรือทางช่องเปิดบริเวณทางเดินอาหารต่างๆ ของสัตว์ (rumen fistula or intestine cannular) หรือให้โดยมีอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ (Marais, 2000) อาจมีการให้เป็นแบบครั้ง หรือเป็นจังหวะ (single pulse dose) หรือให้แบบต่อเนื่องตลอดช่วงการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้ปริมาณของสารบ่งชี้ใน digesta มีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน ช่วงเวลาที่ให้สัตว์ปรับตัวเพื่อให้มีปริมาณสารบ่งชี้ที่ขับออกมากับมูลอย่างสม่ำเสมอใช้เวลา 6 และ 8 วันในแกะและโคตามลำดับ (Marais, 2000) ซึ่งสารบ่งชี้ประเภทนี้ที่นิยมได้แก่ chromium EDTA หรือ Polyethylene glycol ซึ่งเป็นสารบ่งชี้ชนิด soluble markers ที่นิยมใช้กันมาก สารประกอบที่นิยมใช้กันมากอีกชนิดหนึ่งได้แก่ สารประกอบประเภท metal oxide และ salts ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำได้แก่ โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้เล็กน้อยในอัลคาไลน์และกรด นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดปริมาณมูลของสัตว์ทดลองที่ขับออกมา สารอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้ในการในการศึกษาครั้งนี้ คือ ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกว่าสารบ่งชี้ทุกชนิด เนื่องจากมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำและกรดเจือจาง ไม่ถูกดูดซึมโดยพืช ในแกะพบว่าไม่มีผลกระทบใดๆ แม้ว่าจะได้รับไททาเนียมออกไซด์ 2 – 3 กรัมต่อวัน นอกจากนี้ยังสามารถถูกขับออกมากับมูลได้เกือบหมด (98% recovery rate) วิธีตรวจหาไททาเนียมออกไซด์ทำได้โดยการใช้ spectrophotometer หลังจากเกิดปฏิกิริยา oxidation กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide) (Brandt *et al.,* 1983) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะโดยวิธีการใช้สารบ่งชี้ตามสมการที่เสนอโดย เทอดชัย (2540) ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ (\%)} = 100 - 100 \times \left\{ \frac{\text{\% สารบ่งชี้ในอาหาร}}{\text{\% สารบ่งชี้ในมูล}} \times \frac{\text{\% โภชนะในมูล}}{\text{\% โภชนะในอาหาร}} \right\}$$

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

มีปัจจัยอยู่หลายประการที่สามารถทำให้อัตราการย่อยได้ของอาหารที่ให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้องเปลี่ยนแปลงไปได้ ปัจจัยเหล่านั้นได้แก่

1. ปริมาณอาหารที่สัตว์ได้รับ การเพิ่มปริมาณอาหารที่ให้กับสัตว์ หรือปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้การย่อยได้ของโภชนะที่เป็นแหล่งของพลังงานลดน้อยลง แต่การย่อยได้ของโภชนะอื่นๆ เปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนถ้าพิจารณากันในด้านของ Apparent digestibility แต่ถ้าพิจารณาในด้าน True digestibility แล้วพบว่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุจะลดลง เนื่องจากปริมาณอาหารที่มากขึ้น ทำให้อาหารเดินทางผ่านทางเดินอาหารเร็วขึ้น

2. ปริมาณเยื่อใยและ Lignin ที่มีอยู่ในอาหาร โดยทั่วไปแล้วเป็นที่ยอมรับกันว่า การย่อยได้จะลดลง ถ้าปริมาณเยื่อใยในอาหารเพิ่มขึ้น และเนื่องจากว่า ปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ Lignin ที่เพิ่มขึ้นด้วยซึ่ง Lignin นี้จะเข้าจับตัวกับ Cellulose และ Hemicellulose ทำให้เอนไซม์ของจุลินทรีย์เข้าย่อย Cellulose และ Hemicellulose ได้น้อยลง ดังนั้นถ้าอาหารมี Lignin และ/หรือมีเยื่อใยเพิ่มขึ้น การย่อยได้ก็จะลดลง

3. ความแตกต่างด้าน Species ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัวย่อยอาหารหยาบแห้งได้ดีกว่าแกะ แต่แกะย่อยอาหารข้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งไขมันได้ดีกว่าวัว สัตว์เคี้ยวเอื้องทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการย่อยวัตถุแห้ง โปรตีน และDigestible energy ไม่แตกต่างกัน

4. การขาดโภชนะบางอย่าง การขาดโภชนะชนิดใดชนิดหนึ่ง อาจจะมีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนะบางอย่างลดน้อยลง เช่น การขาดโปรตีนจะทำให้ Digestible energy ลดน้อยลง ทั้งนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อาจเนื่องจากการขาดโปรตีนทำให้การทำงานของจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพลดน้อยลงกว่าเดิมและการขาดไวตามินเอ จะทำให้เกิดอาการท้องร่วง

5. ความน่ากินของอาหาร จะมีผลโดยตรงต่อปริมาณอาหารที่กินได้ (Intake) ทำให้มีผลต่อเนื่องถึงอัตราการย่อยได้ด้วย

6. ความถี่ในการให้อาหาร การเพิ่มความถี่ในการให้อาหารที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การย่อยได้ดีขึ้น และอาจทำให้ Heat loss ลดน้อยลง และ N-retention ดีขึ้น

7. การเตรียมอาหารหรือการแปรรูปอาหาร วิธีการบางอย่างในการเตรียมอาหาร หรือการแปรรูปอาหาร เช่น การบด การอัดเม็ด การใช้ความร้อน จะมีผลต่อการย่อยได้ที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ความร้อนจะช่วยให้การย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตดีขึ้น

8. The associative effect of feedstuffs เป็นปรากฏการณ์ที่อาหารบางชนิด เมื่อนำมาร่วมกับอาหารชนิดอื่นในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องแล้ว จะทำให้การย่อยได้หรือคุณค่าทางอาหารเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมที่เคยมีการย่อยได้ในระดับหนึ่งเมื่อใช้เป็นอาหารสัตว์เฉพาะอาหารชนิดนั้นๆ แต่เพียงชนิดเดียว

9. การปรับตัวให้เข้ากับอาหารชนิดใหม่ สัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีข้อแตกต่างจากสัตว์กระเพาะเดี่ยวในด้านการปรับตัวให้เข้ากับอาหารชนิดใหม่ ได้แก่ การใช้เวลาในการปรับตัวนานกว่า เนื่องจากภายในกระเพาะส่วนหน้าของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ ดังนั้น การเปลี่ยนอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงต้องมีการให้เวลาช่วงหนึ่งสำหรับจุลินทรีย์ในการปรับตัวให้เคยชินกับอาหารชนิดใหม่ ในระยะแรกของการเปลี่ยนอาหาร อาจจะพบว่า การย่อยได้น้อยลงกว่าปกติ และเมื่อเวลาผ่านไป 2 – 3 สัปดาห์ การย่อยจะดีขึ้น เนื่องจากมีการปรับตัวของจุลินทรีย์ได้ดี (เทอดชัย, 2548)

2.9 การเปิดทางเดินอาหารโคทดลองสำหรับใช้ในการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ (Rumen fistulation, Duodenal and ileum cannulation for digestibility study in dairy cow)

ในการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยได้ และเมตะบอลิซึมของอาหารโคนมเพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ชัดเจนในทุกส่วนของทางเดินอาหาร จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้สัตว์ทดลองที่ได้รับการผ่าตัดสอดท่อเก็บตัวอย่าง (cannula) ในส่วนต่างๆ ของทางเดินอาหารแก่ กระเพาะหมัก (rumen) ลำไส้เล็กส่วนต้น (proximal duodenum) ลำไส้เล็กส่วนปลาย (terminal ileum) ทั้งนี้เนื่องจากสรีรวิทยาการย่อยอาหาร และกายวิภาคของทางเดินอาหารของโคนมมีความซับซ้อนมากกว่าทางเดินอาหารของสัตว์ชนิดอื่น ดังในการที่จะบรรลุถึงวัตถุประสงค์ดังกล่าวจำเป็นจะต้องมีการเก็บตัวอย่างอาหาร (digesta) ที่เคลื่อนที่ผ่านทางเดินอาหารในแต่ละส่วน ตลอดจนน้ำในกระเพาะหมัก (rumen fluid) สำหรับนำมาวิเคราะห์หาโภชนะต่างๆ (เทอดชัย และทัศนีย์, 2531)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

วัสดุสำหรับทำอุปกรณ์ฝาปิดกระเพาะหมักและท่อเก็บตัวอย่างจากลำไส้เล็กมีอยู่หลายชนิด ทั้งที่เป็นวัสดุแข็ง เช่น พีวีซี และวัสดุที่มีความอ่อนตัว เช่น ยาง ซิลิโคน ทั้งนี้พบว่าซิลิโคนซึ่งเป็นสารโพลิเมอร์ (polymer) ที่มีซิลิกอน (silicon) เป็นส่วนประกอบ เมื่อนำมาผ่านความร้อนจะให้สารที่มีคุณสมบัติอ่อนตัวเหมือนยางแต่มีความเหนียว สามารถคงรูปได้ตลอด ทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีใดๆ (เทอดชัย และทัศนีย์, 2531)

การผ่าตัดเพื่อเปิดท่อทางเดินอาหารบริเวณกระเพาะหมัก (rumen fistulation) สามารถทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีผ่าตัดแบบครั้งเดียว (one – stage operation) ซึ่งจะเปิดผ่าผิวหนังพร้อมกับกระเพาะหมัก แล้วสอดท่อ Fistula ในคราวเดียวกัน หรือวิธีผ่าตัดสองครั้ง (two – stage operation) ซึ่งจะเปิดผ่าผิวหนังแล้วเย็บติดผิวหนังกับกระเพาะหมักรอจนกระทั้งแผลเชื่อมติดกันสนิทจึงเปิดแผลที่กระเพาะหมักเพื่อสอดท่อ Fistula ทั้งนี้ขึ้นกับอุปกรณ์ ชนิดและขนาดของสัตว์ทดลอง เช่น แกะนิยมใช้การผ่าตัดแบบครั้งเดียว ในขณะที่การผ่าตัดแบบสองครั้ง นิยมนำมาใช้กับการผ่าตัดสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น โค เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดอาการช่องท้องอักเสบ (peritonitis) ถึงแม้ว่าจะต้องใช้เวลามากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การผ่าตัดแบบครั้งเดียวในโคนมได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกและลดขั้นตอนการผ่าตัดลงได้ และยังป้องกันการเกิดอาการช่องท้องอักเสบได้มีประสิทธิภาพขึ้น (ทัศนีย์ และเทอดชัย, 2532) สำหรับการผ่าตัดเพื่อสอดท่อเก็บตัวอย่างที่ลำไส้เล็กนั้นมี 2 ตำแหน่งด้วยกันคือ ที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น (proximal duodenum) และลำไส้เล็กส่วนปลาย (terminal ileum) ท่อที่ใช้สอดมีลักษณะเป็นรูปตัวที (simple–T shaped cannula) ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างทั้งสองตำแหน่งถือเป็นตัวแทนของตัวอย่างอาหารที่เดินทางผ่านเข้าออกบริเวณลำไส้เล็ก ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บได้นี้จะสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณโภชนะของอาหารทดลองที่ตัวโคนมใช้ประโยชน์ได้จริงโดยไม่เกิดจากจุลินทรีย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved