บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของหญ้ารูซี่

หญ้ารูซี่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Brachiaria ruziziensis* ชื่อสามัญ Ruzi grass ซึ่งเป็นหญ้าที่มีลักษณะการเจริญเติบโตแบบกึ่งเลื้อยกึ่งตั้งสูง 60 – 100 เซนติเมตร ลำต้นกลม แข็งเรียวเล็ก ไม่มีขนที่ลำต้น มีรากและแตกแขนงที่โคนต้นใบมีสีเขียวอ่อนมีลักษณะคล้ายหอก อ่อนนุ่มมีขนละเอียดคลุมทั้งด้านหน้าและด้านหลังใบ ใบยาว 13 – 15 เซนติเมตร กว้าง 0.8 – 2.5 เซนติเมตร ช่อดอกเป็นแบบ raceme (ศรัญญา และคณะ, 2533) หญ้ารูซี่เป็นหญ้าประเภทค้างปีชอบอากาศในเขตร้อน ที่ฝนตกมากกว่า 1,000 มิลลิเมตร ต้องการดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ แต่ก็สามารถขึ้นได้ในดินที่ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขึ้นได้ดีในที่ดอน ทนแล้งไม่ทนน้ำท่วมขัง ทนต่อการเหยียบย่ำของสัตว์ มีคุณค่าทางอาหารสูง สัตว์ชอบกิน ลักษณะเด่นของหญ้ารูซี่คือผลิตเมล็ดได้มากและเมล็ดมีความงอกสูง ทำให้สะดวกต่อการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ซึ่งเป็นผลให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์นิยมปลูกหญ้ารูซี่อย่างแพร่หลายทั่วประเทศ (ตาราง 1)

แต่อย่างไรก็ตามหญ้ารูซี่ก็มีปัญหาเช่นเดียวกับหญ้าเขตร้อนหลายชนิด คือออกดอกไม่พร้อมกัน การสุกแก่ของเมล็ดก็แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีปัญหาการร่วงหล่นของเมล็ดเมื่อแก่จัดด้วย (ฉายแสง และคณะ, 2528)

ตาราง 1.ผลผลิตต่อไร่ของหญ้ารูซี่

ระยะเวลาตัดหลังปลูก	ผลผลิต นน.แห้ง (กก./ไร่)	โปรตีน	การออกดอกและติดเมล็ด	ผลผลิตเมล็ด (กก./ไร่)
60	984	7.5	+	13.46
90	1,515	4.8	+	3.61
120	2,008	3.2	-	-

ที่มา : ฉายแสง และคณะ (2528)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 คุณค่าทางโภชนะและการย่อยได้ของหญ้ารูซี่

จากรายงานของ สมคิด และ คณะ (2542) พบว่าหญ้ารูซี่อายุประมาณ 45 – 60 วันจะมี CP มากกว่า 6% TDN มากกว่า 56% และมีเยื่อใยในระดับที่เหมาะสม ตลอดจนมีค่าพลังงาน Metabolizaable energy (ME) 9.25 Net energy (NE) 7.67 MJ/kg DM

ฉายแสง และคณะ (2528 : 2530) รายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีของหญ้ารูซี่จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออายุมากขึ้นโดยเฉพาะโปรตีน และเยื่อใย กล่าวคือเมื่อหญ้ารูซี่อายุมากขึ้นองค์ประกอบที่เป็นโปรตีนจะต่ำลงและจะมีเยื่อใยเพิ่มสูงขึ้น (ตาราง 2) ซึ่งสอดคล้องกับค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่ศึกษาโดย ชาญชัย และคณะ (2529) ซึ่งพบว่าเมื่อหญ้ารูซี่อายุมากขึ้นค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งจะมีแนวโน้มลดลง (ตาราง 3)

Arroyo – Aguilu *et al.* (1973) ได้ศึกษาการย่อยได้ของหญ้ารูซี่ หญ้าแพงโกล่า และหญ้าสตาร์ในโคพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซี่ยนเปรียบเทียบกัน พบว่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำของหญ้ารูซี่สูงกว่าหญ้าแพงโกล่าและหญ้าสตาร์ในขณะที่การย่อยได้ของหญ้ารูซี่ใกล้เคียงกับหญ้าสตาร์ และสูงกว่าหญ้าแพงโกล่า (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาค่าพลังงานโดยวิธี gas production ของ นฤมล (2541) ที่พบว่าพลังงานเมทาบอไลซ์ (ME) ของหญ้ารูซี่ (9.0 MJ/kg DM) สูงกว่าหญ้ากินี เนเปียร์ สตาร์ จัมโบ้ และหญ้าขน (8.56, 7.98, 7.12, 6.89, และ 6.74 MJ/kgDM ตามลำดับ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของวัตถุแห้ง) ของหญ้ารูซี่ที่อายุต่างกัน

	โปรตีน	เยื่อใย	เถ้า	ไขมัน	NFE	NDF	ADF	ADL	ที่มา
หญ้ารูซี่	9.00	32.90	-	-	45.30	-	-	-	Arroyo – Aguilu *et al*. (1973)
หญ้ารูซี่	10.83	23.13	5.36	2.44	49.45	-	-	-	Arroyo – Aguilu *et al*. (1973)
หญ้ารูซี่ อายุ 45 วัน	11.62	28.76	10.10	3.61	45.92	56.67	37.69	3.85	ฉายแสง และคณะ (2530)
หญ้ารูซี่ อายุ 60 วัน	7.24	34.15	7.09	2.59	48.93	67.79	41.69	5.61	ฉายแสง และคณะ (2530)
หญ้ารูซี่ อายุ 90 วัน	4.75	36.57	8.12	1.54	49.02	-	-	-	ฉายแสง และคณะ (2528)
หญ้ารูซี่ อายุ 120 วัน	3.24	37.85	7.14	1.32	50.45	-	-	-	ฉายแสง และคณะ (2528)
หญ้ารูซี่ อายุ 180 วัน	2.46	36.70	4.77	1.40	54.68	72.68	45.21	7.44	ฉายแสง และคณะ (2530)

ตาราง 3 การย่อยได้ของหญ้ารูซี่ หญ้าแพงโกล่า และหญ้าสตาร์ (%)

	วัตถุแห้ง	โปรตีน	เยื่อใย	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	ที่มา
หญ้ารูซี่ อายุ 50 วัน	55.7	-	-	-	-	ชาญชัย และคณะ (2529)
หญ้ารูซี่ อายุ 70 วัน	52.8	-	-	-	-	ชาญชัย และคณะ (2529)
หญ้ารูซี่ อายุ 54 - 60 วัน	62.5	69.0	72.7	58.5	66.1	Arroyo – Aguilu *et al*. (1973)
หญ้าแพงโกล่า	59.5	62.4	71.6	59.1	62.5	Arroyo – Aguilu *et al*. (1973)
หญ้าสตาร์	56.8	68.9	66.3	64.1	59.8	Arroyo – Aguilu *et al*. (1973)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 พืชหมัก (Silage)

Silage หมายถึง พืชอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่มีความชื้นพอเหมาะนำมาหมักในสภาพที่เป็นสูญญากาศ เก็บถนอมไว้ในสภาพหมัก เมื่อพืชอาหารสัตว์ในสภาพสดเปลี่ยนเป็นพืชหมักสามารถเก็บไว้ใช้ได้นานโดยคุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลง (สายัณห์, 2540) ซึ่งพืชทุกชนิดรวมทั้งวัชพืชสามารถทำการหมักได้ทั้งสิ้น การที่พืชสดเปลี่ยนสภาพเป็นพืชหมักต้องอาศัยจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยที่สำคัญ โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีอยู่ตามธรรมชาติ และติดไปกับพืชที่นำมาหมัก ซึ่งมีทั้งชนิดที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic) ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic) และ อยู่ได้ในที่ที่มีและไม่มีออกซิเจน (Facultative) จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในพืชที่กำลังหมัก จนเกิดสภาวะเป็นกรดที่เหมาะสมช่วยรักษาสภาพของพืชให้เก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น

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 Butyric acid bacteria , Coliform bacteria และ Fungi เป็น Bacteria ที่ทำให้เกิดการเน่าเปื่อยและผลิตกรดที่มีกลิ่นเหม็นรุนแรง เช่น Butyric acid เมื่อ pH ลดลงเรื่อยๆจนถึง 4 หรือต่ำกว่าจุลินทรีย์ทุกชนิดจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แม้กระทั้ง Lactobacillus นั่นคือสภาพที่พืชหมักได้ที่แล้ว ปฏิกริยาเคมีต่างๆจะหยุดและพืชหมักจะคงสภาพเช่นนี้ต่อไป

2.3.1 จุลินทรีย์วิทยาของพืชอาหารหมัก (Silage Microbiology)

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตามแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติค (Lactic acid bacteria) ซึ่งจัดเป็นจำพวก Facultative จะติดอยู่ภายนอกบริเวณพื้นผิวของพืชสดเป็นจำนวนมากซึ่ง Facultative bacteria นั้นยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ Homofermentative และ Heterofermentative (ตาราง 4) โดยที่พวก Heterofermentative เป็นพวกที่สามารถผลิตกรดแลคติกได้ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่จะช่วยในการถนอมพืชอาหารหมักให้มีสภาพคงที่ไม่เน่าเปื่อย

ตาราง 4 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 กิจกรรมของจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดลงทั้งหมด ได้เป็นพืชอาหารหมักที่เหมาะสม คุณภาพดี สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน แต่ถ้าขบวนการหมักไม่ดีอากาศสามารถซึมเข้าสู่ภายในได้ จะทำให้ระดับ pH ไม่คงที่ แบคทีเรียจำพวก Saccharolytic clostridia ที่ติดมากับอาหารในตอนแรกในรูปของ Spore จะเริ่มทำการแบ่งตัวโดยจะใช้ประโยชน์จากกรดแลคติก และ แป้ง เป็นปัจจัยในการเจริญเติบโตส่งผลให้พืชหมักที่ได้เกิดการเน่าเสีย คุณภาพไม่ดี เก็บรักษาได้ไม่นาน

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของขบวนการหมัก

ขณะเริ่มต้นการหมักเซลล์ (Cell) และเอนไซม์ (Enzyme) ของพืชที่นำมาทำการหมักยังคงเกิดขบวนการหายใจและทำงานต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งออกซิเจนจะหมดไป แป้งที่สะสมในพืชจะถูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกซิไดซ์ (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 ไนโตรเจนอีกส่วนหนึ่งประมาณ 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 5)

ตาราง 5 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักพืช

(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 :

$2\ \text{Lactic acid} \longrightarrow \text{Butyric acid} + 2CO_2 + 2H_2$

Proteolytic :

Deamination

$\text{Glutamic acid} \longrightarrow \text{Acetic acid} + \text{Pyruvic acid} + NH_3$

$\text{Lysine} \longrightarrow \text{Acetic acid} + \text{Butyric acid} + 2NH_3$

Decarboxylation

$\text{Arginine} \longrightarrow \text{Putrescine} + CO_2$

$\text{Glutamic acid} \longrightarrow \text{Aminobutyric acid} + CO_2$

$\text{Histidine} \longrightarrow \text{Histamine} + CO_2$

$\text{Lysine} \longrightarrow \text{Cadaverine} + CO_2$

Oxidation / Reduction

$\text{Alanine} + 2\ \text{Glycine} \longrightarrow 3\ \text{Acetic acid} + 3NH_3 + CO_2$

(C) Enterobacteria

$\text{Glucose} \longrightarrow \text{Acetic acid} + \text{Ethanol} + 2\ CO_2 + 2H_z$

ที่มา: McDonald *et al.,(*1981)

2.3.3 การสูญเสียโภชนะในช่วงการหมัก (Losses of nutrient during ensilage)

McDonald *et al*. (1995) รายงานว่า การสูญเสียโภชนะในระหว่างการหมักมีสาเหตุดังต่อไปนี้

2.3.3.1 การสูญเสียขณะเก็บเกี่ยว (Field losses)

ถ้ามีการเก็บเกี่ยว และ ทำการหมักในวันเดียวจะมีการสูญเสียโภชนะน้อยมาก ถ้ามีการตากพืชนาน 24 ชั่วโมงจะสูญเสียวัตถุแห้งไม่เกิน 1 – 2 % ถ้าตากแดดนานกว่า 48 ชั่วโมงการสูญเสียวัตถุแห้งจะขึ้นอยู่กับลักษณะอากาศ มีรายงานว่าก่อนทำการหมักถ้านำเอาพืชมาตากแดดนาน 5 วันจะสูญเสียวัตถุแห้ง 6%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตากแดดนาน 8 วันสูญเสียวัตถุแห้งไป 10% ซึ่งโภชนะที่สูญเสียไปมากที่สุดได้แก่คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้

2.3.3.2 การสูญเสียเนื่องจากการหายใจ (Oxidation losses)

เป็นการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme) ในพืช และจุลินทรีย์ ในการย่อยสลายแป้งในสภาวะที่มีออกซิเจนผลที่ได้คือ CO_2 และ H_2O ซึ่งถ้าภายในกองพืชหมักมีการอัดแน่นที่ดีพอ จะมีสัดส่วนของการสูญเสียน้อยมาก ประมาณ 1 % ซึ่งมักเกิดในบริเวณที่โดนอากาศ คือ ส่วนบน และด้านข้างของกองพืชหมัก การตรวจดูการสูญเสียในส่วนนี้อาจทำให้เข้าใจผิดได้และอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียถึง 75%

2.3.3.3 การสูญเสียเนื่องจากการหมัก (Fermentation losses)

ในขบวนการหมักจะเกิดขบวนการทางชีวเคมีมากมาย เช่น การเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่าย (Soluble carbohydrate) และโปรตีน ทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุแห้งและพลังงานเป็นผลให้การทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตกรด Lactic ลดต่ำลง

การสูญเสียวัตถุแห้งเกิดขึ้นต่ำกว่า 5% และมีการสูญเสียพลังงานไปบางส่วน ทั้งนี้เนื่องจากมีการผลิตสารประกอบที่ให้พลังงานสูง เช่น ethanol แต่ถ้ามีแบคทีเรียพวก Clostridia มากจะเกิดการสูญเสียที่มากกว่าเนื่องจากมีการผลิตแก๊สต่าง ๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และ แอมโมเนีย

2.3.3.4 การสูญเสียในส่วนของของเหลวที่รั่วไหลออก (Effluent losses)

ในกองพืชหมักจะมีการไหลซึมออกของของเหลว ทำให้เกิดการสูญเสียโภชนะบางส่วนไปกับของเหลว ประกอบด้วย น้ำตาล สารประกอบไนโตรเจน แร่ธาตุ และกรดที่เกิดจากขบวนการหมัก ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีคุณค่าทางโภชนะสูง ถ้านำพืชที่มีวัตถุแห้ง 150 g/kgDM ไปทำพืชหมักจะสูญเสียวัตถุแห้งไปประมาณ 10 % แต่ถ้านำพืชที่มีวัตถุแห้ง 300 g/kgDM ไปทำพืชหมักจะมีการสูญเสียวัตถุแห้งน้อยมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของพืชหมัก

2.3.4.1 ปริมาณออกซิเจน

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

ตาราง 6 อิทธิพลของการอัดแน่นของหญ้าต่อคุณภาพของหญ้าหมัก

	ลักษณะของการอัดแน่น		
	หลวม	ปานกลาง	อัดแน่น
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม)	22.7	30.7	38.6
อุณหภูมิ	38	26	25
การสูญเสียวัตถุแห้ง	37.2	28.4	17.4
การย่อยได้ (%)	65.6	69.7	76.3
การผลิตกรดแลคติก (%)	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)

2.3.4.2 ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.4.3 ความชื้น

บุญล้อมและคณะ (2543) กล่าวว่า การหมักพืชที่มีความชื้นสูงจะส่งผลเสียดังต่อไปนี้คือ ทำให้เกิดการสูญเสียโภชนะในรูปของเหลวที่ไหลออกมาค่อนข้างมาก และทำให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจำพวก clostridium มากขึ้นซึ่งเป็นผลให้มีการสูญเสียโภชนะของพืชหมัก ดังนั้นพืชที่จะนำมาหมักควรมีความชื้นประมาณ 65 – 75 % ถ้าพืชที่นำมาหมักมีความชื้นสูงต้องใช้เวลาในการผลิตกรดแลคติกนานจนกว่าจะถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของของจุลินทรีย์ได้ แต่ถ้าความชื้นน้อยเกินไปก็จะทำให้การอัดแน่นเป็นไปได้ยาก

Jaster and Moor (1990) ได้ทำการศึกษาถึงผลของความชื้นที่ระดับ 50 % 60% และ 70% ต่อการผลิตพืชหมัก พบว่าความชื้นที่ระดับ 70 % มีผลทำให้ปริมาณกรดแลคติกเพิ่มสูงขึ้น ความเป็นกรดด่างลดลงอย่างรวดเร็ว

2.3.4.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (Water soluble carbohydrate,WSC)

WSC หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ซึ่งประกอบด้วย กลูโคส ฟรุคโตส กาแลคโตส แลคโตส แมนโนส ซูโคส มอลโตส ไซโลส และ อะราบิโนส เป็นต้น ปริมาณน้ำตาลเหล่านี้จะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของการตัดพืช ฤดูกาล ภูมิอากาศ ตลอดจนภูมิประเทศ

การทำให้ Lactic acid bacteria มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเพื่อผลิตกรดแลคติกได้มากนั้นจะต้องมีแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้สูง ทั้งนี้เนื่องจากในพืชมีจุลินทรีย์หลายสายพันธุ์โดยเฉพาะในกลุ่ม enterobacteria ที่มีมากจะมีความสามารถสูง ดังนั้นปริมาณ WSC เริ่มต้นจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญนอกเหนือจากวัตถุแห้งที่สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของพืชหมักได้ Haigh (1990) รายงานว่าพืชที่จะนำมาหมักต้องมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ไม่น้อยกว่า 37 กรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้งของพืช เพราะเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการป้องกันการเจริญเติบโตของ clostridium ในพืชหมัก แต่อย่างไรก็ตามจากรายงานของ Setara (1989) แนะนำว่าหญ้าที่จะทำพืชหมักได้ควรมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้อย่างต่ำ 100 กรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้งของพืช

2.3.4.5 อุณหภูมิ

Wood and Parker (1971) กล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และกิจกรรมของเอนไซม์ ในช่วงแรกของการหมักนั้นพืชยังหายใจอยู่ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนขึ้นในหลุมหมัก ถ้าความร้อนเพิ่มขึ้นอีก 10 องศาเซลเซียสในขณะที่พืชมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 5 – 25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

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

2.3.4.6 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) รายงานว่าหญ้าและข้าวโพดมีค่าบัฟเฟอร์ริ่งคาพาซิตี้อยู่ในช่วง 250 – 450 มิลลิอิควิวาเลนท์ ของด่างต่อกิโลกรัมวัตถุแห้งในขณะที่พืชตระกูลถั่วมีค่าระหว่าง 350 – 600 มิลลิอิควิวาเลนท์ของด่างต่อกิโลกรัมวัตถุแห้งดังนั้นพืชตระกูลถั่วจึงมีคุณสมบัติที่ยากต่อการทำพืชหมัก หรืออาจกล่าวได้ว่าต้องใช้น้ำตาลเพิ่มมากขึ้นเพื่อลดความเป็นด่างให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยปกติแล้วพืชเมืองร้อนจะไม่พบปัญหานี้มากนัก

2.3.5 ประโยชน์ของการทำพืชหมัก

เมธา (2529) ได้กล่าวถึงประโยชน์ และ ข้อเสียของการทำพืชหมักไว้ดังต่อไปนี้

ประโยชน์

1. เพิ่มความน่ากิน สัตว์จะสามารถกินพืชหมักได้ในปริมาณมาก ยิ่งถ้าให้ร่วมกับเมล็ดธัญญพืชจะมีผล ทำให้พืชหมักมีความน่ากิน สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ถ้าให้ร่วมกับอาหารที่มีความแห้งมากจะช่วยลดความเป็นฝุ่นของอาหารนั้น ทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น
3. ช่วยลดแนวโน้มที่จะทำให้สัตว์เกิดโรคท้องอืด (bloat) โดยเฉพาะถ้าพืชที่นำมาหมักนั้นเป็นพืชตระกูลถั่ว
4. อาจจะเป็นวิธีการลดสารพิษ (detoxifying) ที่มีอยู่ในพืชนั้น ๆ เช่น กรดไซยานิกในมันสำปะหลัง
5. สามารถเก็บถนอมพืชอาหารไว้ได้เป็นเวลานาน ๆ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่พืชอาหารสัตว์ขาดแคลน

ข้อเสีย

1. สัตว์ที่กินพืชอาหารหมักเข้าไปแล้วอาจทำให้มูลเหลว (Laxative effect) บางครั้งต้องหลีกเลี่ยงอาหารหมัก
2. ในสภาพอากาศร้อนถ้าสัตว์กินอาหารไม่หมด ทำให้เกิดเชื้อรา และ เน่าเสียได้ง่าย
3. จะต้องมีการเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของพืชก่อนที่จะนำมาหมัก เช่น การสับ มิฉะนั้นจะทำให้สัตว์กินได้ยาก

2.3.6 การปรับปรุงคุณภาพหญ้าหมักในเขตร้อน

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Tjandraatmadja *et al.* (1994) ได้ทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพของหญ้าหมักในเขตร้อนซึ่งทำการศึกษาแบบ 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* เป็นส่วนมากประมาณ 53% ดังนั้นการปรับปรุงพืชหมักอาจทำได้โดยการเร่งการเจริญเติบโตของเชื้อที่มีอยู่ตามธรรมชาติโดยการเพิ่มสารช่วยหมักที่เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ เช่น กากน้ำตาล รำ ข้าวโพด และมันเส้น เป็นต้น (ตาราง 7)

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 8)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 7 ผลของพันธุ์หญ้า การเสริมกากน้ำตาลและอายุของพืชต่อองค์ประกอบทางเคมี และจำนวน lactic acid bacteria ในหญ้าที่หมักแล้ว 100 วัน

Composition (g/kgDM)	Grass species				SG* (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	***	21.6	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*: stage of growth H : Hamill, P : Pangola, S : Setaria, ns = non significant

ที่มา : Tjandraatmadja *et al.* (1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 8. 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)

วารุณีและคณะ (2541) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของหญ้าแฝกหมักที่หมักร่วมกับสารเสริมชนิดต่างๆคือ กลุ่มที่ 1 (ควบคุม) กลุ่มที่ 2 เสริมยูเรีย 0.5% กลุ่มที่ 3 เสริมกากน้ำตาล 10% กลุ่มที่ 4 เสริมมันเส้นบด 15% กลุ่มที่ 5 เสริมกากน้ำตาล 10% ร่วมกับยูเรีย 0.5 % และกลุ่มที่ 6 เสริมมันเส้นบด 15% ร่วมกับยูเรีย 0.5% โดยใช้หญ้าแฝกที่มีอายุตัดที่ 30 วันหั่นให้มีขนาด 2 – 3 เซนติเมตร แล้วหมักร่วมกับสารช่วยหมักต่างๆ บรรจุในถุงพลาสติกสีดำน้ำหนัก 20 กิโลกรัมต่อถุง อัดให้แน่นและไล่อากาศออกด้วยแรงคนงาน ปิดปากถุง หมักไว้ 30 วันพบว่าหญ้าหมักสูตรที่ 3,4 และ 5 จัดว่ามีคุณภาพดีเมื่อพิจารณาจากความเป็นกรด เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง และปริมาณกรดต่าง (ตาราง 9) ในขณะที่ McDonald *et al.,* (1991) รายงานว่ายูเรียจัดเป็นสารเสริมในกลุ่มเพิ่มโภชนะมักใช้กับพืชที่มีโปรตีนต่ำ เช่น ข้าวโพด นอกจากนี้ยูเรียยังสามารถยับยั้งการหมักได้อีกด้วยเพราะสามารถแตกตัวเป็นก๊าซแอมโมเนียได้ซึ่งจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ สามารถลดการสลายตัวของโปรตีนระหว่างการหมัก และช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาพืชหมักได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Doyle *et al.,*(1986) ที่รายงานว่าใน ยุโรปและอเมริกานิยมใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แอมโมเนียในรูปแก๊สและของเหลวในการปรับปรุงคุณภาพของพืชหมักเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ ส่วนในประเทศกำลังพัฒนาการใช้แอมโมเนียในรูปของเหลวและแก๊สไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากไม่สะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา จึงนิยมใช้แอมโมเนียจากการสลายตัวของปุ๋ยยูเรีย (46% ไนโตรเจน)

ตาราง 9. คุณภาพของหญ้าแฝกที่อายุตัด 30 วันที่หมักร่วมกับสารช่วยมักชนิดต่างๆ

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 (2541)

Ibrahim (1985) ได้ศึกษาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวโดยใช้สารละลายยูเรียที่มีความเข้มข้น 3 – 7 % ราดหรือพ่นลงในฟางข้าวแล้วเก็บในสภาพปิดสนิทเป็นระยะเวลา 2 – 6 สัปดาห์ พบว่า จุลินทรีย์จำพวก bacteria , actinomycetes, และ fungi ที่ติดอยู่กับฟางข้าวตามธรรมชาติมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นมีการผลิตเอนไซม์ urease มากขึ้นเพื่อสลายยูเรียให้เป็นแอมโมเนีย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ บุญล้อม และคณะ (2543) ที่รายงานว่า เมื่อแอมโมเนียละลายน้ำจะได้เป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ทำให้สภาพภายในกองพืชหมักมีความเป็นด่างสูง ซึ่งจะช่วยในการย่อยพันธะของลิกนินที่จับอยู่กับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ของพืชหมัก เมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องกินพืชหมักเข้าไปจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักจะเข้าย่อยโภชนะที่อยู่ในเซลล์ของพืชได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังได้รับไนโตรเจนในรูปต่างๆที่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถใช้ประโยชน์ได้ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wongsrikeao and Wanapat (1985) ที่ได้ศึกษาการใช้ฟางข้าวธรรมดาเปรียบเทียบกับฟางข้าวหมักยูเรีย 3% และ 6% พบว่าฟางหมักยูเรีย 3% และ 6% มีการย่อยได้ของวัตถุแห้งและ ADF สูงกว่าฟางธรรมดา

Panditthatratne *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) พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของขบวนการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หมัก และเพิ่มคุณค่าของพืชหมักได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม (P<0.01) (ตาราง 10) ในขณะที่เศกสรรค์ 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

ตาราง 10 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้ากินนีและหญ้า NB – 21 หมักที่มีการใช้และไม่ใช้สารเสริม[a]

ชนิดหญ้า	สารเสริมช่วยหมัก				SE[b]
	ควบคุม	มันสัมปะหลังบด	กากมะพร้าว	กรดฟอมิก	
กินนี					
องค์ประกอบทางเคมี					
วัตถุแห้ง% [cd]	17.7	20.6	21.2	18.8	.54
โปรตีน%[dcf]	13.9	13.4	15.5	12.6	.54
คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้[cdef]	6.3	11.0	8.3	7.3	.83
NB – 21					
วัตถุแห้ง% [cd]	16.3	18.4	18.4	16.0	.48
โปรตีน%[dcf]	18.1	17.8	19.6	18.3	.52
คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้[cdef]	9.9	16.0	12.3	12.9	.58

[a]เฉลี่ยทุกช่วงการเจริญเติบโต [b] Standard error means.

[c]ไม่ใช้สารช่วยหมักเปรียบเทียบกับใช้สารช่วยหมัก (P<0.01)

[d]กรดฟอมิกเปรียบเทียบกับมันสัมปะหลังบดและกากมะพร้าว (P<0.01)

[e]Dry basis

[f]มันสัมปะหลังบดเปรียบเทียบกับกากมะพร้าว

ที่มา : ดัดแปลงจาก Panditthartne *et al.* (1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Tjandraatmadja *et al.* (1994) รายงานถึงปัญหาของการทำพืชหมักในเขตร้อนว่า พืชในเขตร้อนมักมีปัญหาการแก่เร็ว มีเยื่อใยและลิกนินสูง ด้วยเหตุนี้การเลือกตัดหญ้าที่อ่อนมาทำหญ้าหมักโดยหวังว่าจะได้คุณค่าทางอาหารดี คือมีโปรตีนสูง มีเยื่อใยและลิกนินต่ำนั้น นับว่าเป็นการเสี่ยงต่อการได้หญ้าหมักคุณภาพดี เนื่องจากหญ้าในระยะดังกล่าวมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำน้อยและมีความชื้นสูงทำให้หญ้าหมักเกิดการสูญเสียโปรตีนไปในระหว่างขบวนการหมัก ดังนั้นการทำพืชหมักภายใต้เงื่อนไขที่มีความชื้นสูงจึงควรทำการผึ่งเพื่อลดความชื้น หรือมีการเติมสารดูดความชื้น เช่น รำ มันเส้น ข้าวโพด ฟางข้าวเป็นต้น และยังได้คุณค่าทางโภชนะเพิ่มจากการเติมสารเหล่านี้อีกทางหนึ่ง (ตาราง 11)

ตาราง 11 องค์ประกอบทางเคมีของสารดูดซับความชื้นในพืชหมัก

	องค์ประกอบทางเคมี (% DM basis)						
สารดูดซับความชื้น	DM	CP	EE	Ash	NDF	ADF	ที่มา
รำ	90.6	12.0	15.2	10.4	26.1	13.1	NRC (2001)
มันเส้น	89.68	1.78	0.47	0.70	7.31	3.28	Panditthartne *et al.* (1986)
ข้าวโพด	90.8	8.6	0.6	2.2	86.2	42.2	NRC (2001)
ฟางข้าว	96.7	4.6	2.3	18.4	64.4	34.1	เสาวลักษณ์ (2542)

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

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของเปลือกเสาวรสหมักของ จุฑามาศ (2544) พบว่าเปลือกเสาวรสที่หมักร่วมกับรำข้าว 4 % มีค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุด รองลงมาคือเปลือกเสาวรสหมักที่ไม่เสริมสารอื่นใด, เปลือกเสาวรสหมักร่วมกับข้าวโพดบด 4% เปลือกเสาวรสหมักร่วมกับกรดฟอมิก 1% + ฟางข้าว 10% และเปลือกเสาวรสหมักร่วมกับยูเรีย 3% + ฟางข้าว 10% (10.50, 10.07, 9.46, 8.73, และ 8.66 MJ/kgDM ตามลำดับ ($P < 0.05$) ส่วนค่าพลังงานสุทธิและค่าการย่อยได้ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อินทรียวัตถุก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ เปลือกเสาวรสที่หมักร่วมกับรำข้าว 4 % มีค่าพลังงานสุทธิสูงที่สุด รองลงมาคือเปลือกเสาวรสหมักที่ไม่เสริมสารอื่นใด, เปลือกเสาวรสหมักร่วมกับข้าวโพดบด 4%, เปลือกเสาวรสหมักร่วมกับยูเรีย 3% + ฟางข้าว 10% และเปลือกเสาวรสหมักร่วมกับกรดฟอมิก 1% + ฟางข้าว 10% (7.48, 6.21, 5.88, 5.66, และ 4.44 MJ/kgDM ตามลำดับ ($P<0.05$)

2.4 การย่อยอาหารที่ตำแหน่งต่างๆ ของระบบทางเดินอาหารในโค

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

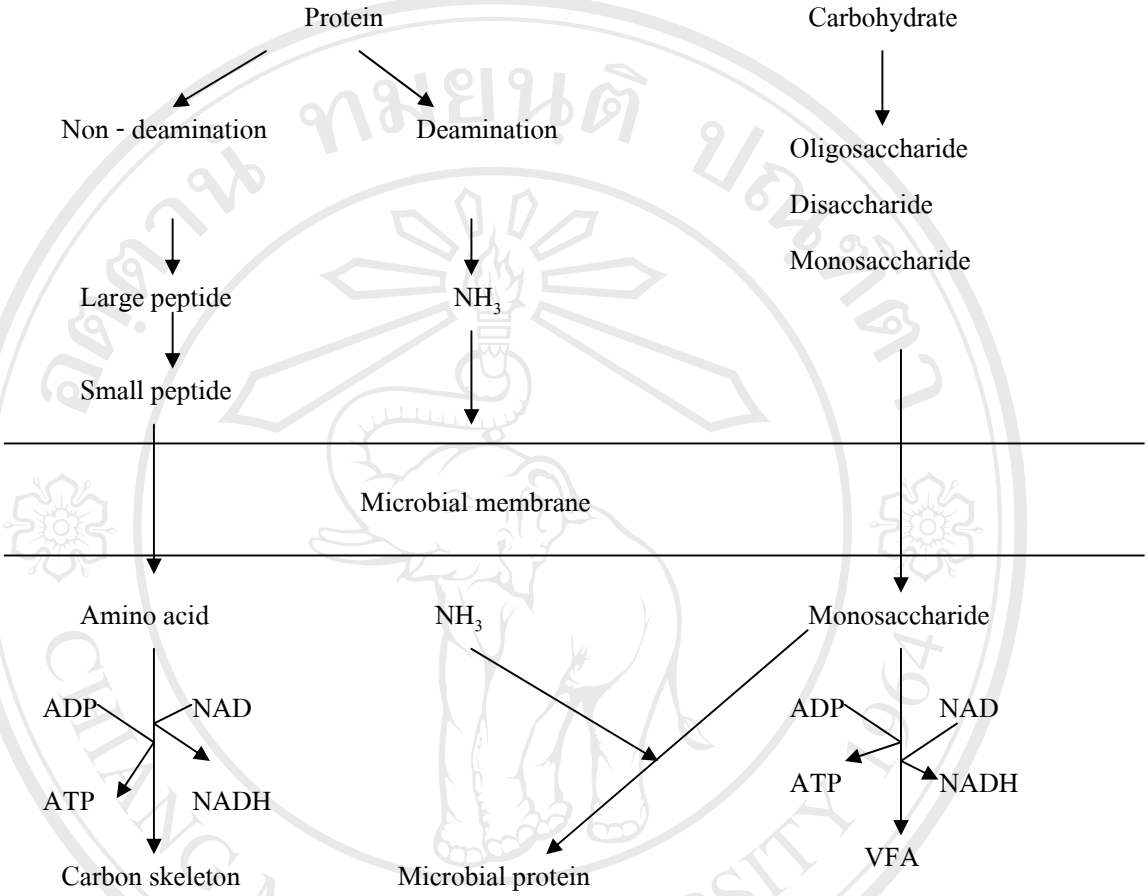
2.4.1 การย่อยอาหารในกระเพาะหมัก

อาหารแต่ละชนิดนั้นมีการย่อยได้ในทางเดินอาหารแต่ละส่วนไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำย่อยที่สัตว์ขับออกมา ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ และธรรมชาติของอาหารนั้นๆ เช่น อาหารที่มีเยื่อใยสูงไม่สามารถย่อยได้ที่กระเพาะแท้และลำไส้เล็ก เพราะเอมไซม์จากตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยเยื่อใยได้ แต่จะสามารถย่อยได้บ้างที่กระเพาะรูเมน ไส้ติ่ง และลำไส้ใหญ่โดยอาศัยเอมไซม์จากจุลินทรีย์เกิดผลผลิตคือ

1. กรดไขมันระเหยได้ (short chain fatty acid, SCFA หรือ volatile fatty acid, VFA)
2. โปรตีนจุลินทรีย์ (microbial protein)
3. ก๊าซมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์

ขบวนการย่อยอาหารดังแสดงในภาพที่ 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 1 : การย่อยสลายโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

ที่มา : ดัดแปลงจาก Van Soest (1994)

2.4.1.1 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

การย่อยอาหารที่เกิดขึ้นในกระเพาะส่วนนี้เกิดจากเอมไซม์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะส่วนนี้เท่านั้น เนื่องจากกระเพาะหมักในโคนั้นไม่มีการผลิตเอมไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารแต่อย่างใด ขบวนการย่อยและเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก แบ่งได้เป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การย่อย Polysaccharide ให้เป็น Monosaccharide
- การเปลี่ยน Monosaccharide ให้เป็น Pyruvate

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- การเปลี่ยนไพรูเวท (pyruvate) ให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid)
- การสังเคราะห์มีเทน (methane, CH_4)

การย่อยแป้งในกระเพาะหมักเกิดขึ้นโดยเอมไซม์จากจุลินทรีย์ เช่น พวกแบคทีเรีย และ โปรโตซัว ได้ผลผลิตคือน้ำตาล (glucose) ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที จึงพบน้ำตาลพวกนี้เป็นจำนวนน้อยในกระเพาะหมัก ผลจากการเมตาบอลิซึมน้ำตาล จุลินทรีย์จะให้ผลผลิตเป็นกรดไขมันระเหยได้ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ส่วนความเข้มข้นและสัดส่วนของกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและระยะเวลาในการกินอาหารของโคดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 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)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1.2 การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก

การสลายตัวของโปรตีนแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้คือ

- ขบวนการ Proteolysis แยกรอยต่อของโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธี hydrolysis ตรง peptide bond ทำให้ได้ peptide และกรดอะมิโนบางส่วนออกมา
- 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) และโปรตีนบางส่วนที่ทนทานต่อการย่อยจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักทำให้ไม่ถูกย่อยและเคลื่อนที่ผ่านไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก เรียกโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยเหล่านี้ว่า rumen undegradable protein (RUP) ส่วนไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) เมื่อเข้าไปในกระเพาะหมักจะแตกตัวเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ ซึ่งระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักสามารถวัดได้โดยวิธี Conway method (Voigt and Steger, 1967) หรือโดยวิธีการกลั่น และระดับแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์จะอยู่ในช่วง 3 – 8 mg/100ml (Satter and Roffler, 1975) เมื่อเซลล์ของจุลินทรีย์และโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักเคลื่อนที่ไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็กจะถูกเอนไซม์ในทางเดินอาหารย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อไป (McDonald *et al*..,1995)

กิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นจะแตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม pH ภายในกระเพาะหมักอาจมีอิทธิพลมากกว่าโดย pH ที่เหมาะสมต่อการเข้าสลายโปรตีนของจุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 6-7 ซึ่งสามารถวัดได้โดยการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมัก (rumen fluid)ในส่วนล่างของกระเพาะ (ventral sac) มาวัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดแบบ pH scan BNC^{TM} ซึ่งมีค่าความถูกต้อง ± 0.1 และกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนของจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์จากแอมโมเนีย ส่วนอีก 20 เปอร์เซ็นต์ใช้กรดอะมิโนโดยตรง ประมาณ 59 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนจากอาหารจะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักปริมาณไนโตรเจนที่ถูกย่อย 29 เปอร์เซ็นต์จะถูกใช้ประโยชน์ในรูปของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดอะมิโน อีก 71 เปอร์เซ็นต์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนีย อย่างไรก็ตามเรื่องนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของอาหารโปรตีนแต่ละชนิด (เมธา,2533)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยโปรตีนในกระเพาะหมัก

1. ความสามารถในการสลายโปรตีน (protein solubility) โดยโปรตีนที่สลายได้มากมีโอกาสที่ จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้มาก
2. วิธีการให้อาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมักถ้าโคได้รับอาหารในปริมาณที่มากระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาะหมัก (retention time) ก็จะลดลง มีผลทำให้อาหารเคลื่อนที่ไปยังทางเดินอาหารส่วนอื่นๆ (rate of passage) เร็วขึ้นจุลินทรีย์มีโอกาสสลายโปรตีนได้ลดลง ทำให้โปรตีนรอดพ้นจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของชิ้นอาหารก็มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่อาหารจะคงอยู่ในกระเพาะหมัก โดยอาหารที่มีขนาดใหญ่ หรืออาหารที่ไม่ได้สับจะมีระยะเวลาที่อาหารจะคงอยู่ในกระเพาะหมักมากกว่าอาหารที่มีขนาดเล็ก
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)

2.4.1.3 การย่อยและการดูดซึมในลำไส้

โปรตีนที่เข้าไปในลำไส้เล็ก ได้แก่ โปรตีนจากอาหารที่รอดพ้นจากการย่อยในกระเพาะหมัก (RUP) โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein) และโปรตีนจากทางเดินอาหาร (endogenous protein) การย่อยโปรตีนในลำไส้เล็กคล้ายกับในสัตว์กระเพาะเดี่ยว คือโปรตีนจะถูกเอนไซม์จากตับอ่อนและลำไส้เล็กเข้าย่อยโปรตีนได้เป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์สายสั้น ๆ ซึ่งจะถูกดูดซึมโดยลำไส้เล็ก และภายในผนังลำไส้เล็กจะมีเอนไซม์เปปติเดส (peptidase) ย่อยเปปไทด์ให้เป็นกรดอะมิโน และดูดซึมไปยัง portal blood ต่อไป กรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ คือ ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน หรือมีการ oxidation ต่อไปให้เป็นพลังงานในรูป ATP ส่วนพวกแอมโมเนียหรือไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen) เมื่อถูกดูดซึมจะถูกเปลี่ยนให้เป็นยูเรีย (urea) โดย Ornithine cycle และ ยูเรียส่วนใหญ่เข้าไปรวมกับ Urea N pool ในของเหลวในร่างกายซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ผ่านทางน้ำลาย และส่วนมากจะถูกขับออกไปพร้อมกับปัสสาวะ ดังนั้นไนโตรเจนที่เข้าไปในลำไส้เล็กถ้าหากมีสัดส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของโปรตีนแท้หรือกรดอะมิโนไม่ว่าจะเป็นโปรตีนแท้ที่รอดพ้นจากการสลายตัวในกระเพาะรูเมน (RUP) หรือโปรตีนจาก จุลินทรีย์ในปริมาณสูงก็จะทำให้สัตว์ได้รับกรดอะมิโนผ่านทางลำไส้เล็กได้สูงขึ้น แต่ถ้าเป็นส่วนของโปรตีนที่ไม่ใช่ไนโตรเจนหรือแอมโมเนียร่างกายสัตว์ก็มีโอกาสได้รับกรดอะมิโนน้อย เนื่องจากไนโตรเจนที่เข้าไปในลำไส้เล็กไม่เกิดประโยชน์แก่ร่างกายมากเท่าใด (เทอดชัย,2542)

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

2.4.1.4 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)

ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักถ้าอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมจะเกิดประโยชน์มาก เนื่องจากจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ อีกทั้งยังเป็นโครงสร้างคาร์บอนในการทำปฏิกริยากับแอมโมเนียเพื่อนำไปสังเคราะห์ microbial protein อย่างไรก็ตามผลจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมักก็มีการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปในรูปของแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ของ gross energy ที่สัตว์ได้รับ ดังนั้นในกรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของอาหารหยาบที่มีเยื่อใยสูงที่ไม่สามารถย่อยที่ลำไส้เล็กได้ การย่อยในกระเพาะหมักจึงมีประโยชน์มากกว่า เพราะจะได้เป็น monosaccharide ซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ดังนั้นจึงควรให้อาหารคาร์โบไฮเดรตที่มีการย่อยสลายได้ดีในกระเพาะหมักเท่านั้น

2.5 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

2.5.1 การประเมินค่าการย่อยได้และพลังงานโดยวิธีวัดปริมาณแก๊ส (gas production technique)

การศึกษาการย่อยได้โดยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นอีกวิธีที่ได้รับความนิยม โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่ออาหารถูกบ่ม (incubate) ในกระเพาะหมักจะได้ผลผลิตคือก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ซึ่งมีสหสัมพันธ์กับการย่อยได้ของอาหาร (Menke *et al.,* 1979) ซึ่งลักษณะของการเกิดแก๊สในกระเพาะหมักแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาดังนี้

1. ระยะ initial phase เป็นระยะที่แก๊สเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากอาหารส่วนที่ไม่ละลายทันทีจะถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายอย่างช้าๆ ด้วยขบวนการ hydration และ colonization
2. ระยะ exponential phase เป็นระยะที่แก๊สจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากอาหารส่วนที่ละลายได้ทันทีถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเข้าย่อยสลายอย่างรวดเร็ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ระยะ asmptotic phase เป็นระยะที่อาหารที่ไม่ละลายในทันทีจะถูกย่อย แต่จะถูกย่อยได้น้อยและขบวนการเกิดขึ้นได้ช้า

Menke and Steingass (1988) ได้พัฒนาวิธีการ *in vitro* gas production technique ขึ้นมาโดยยึดหลักที่คล้ายกับวิธีการที่เสนอโดย Tilley and Terry (1963) แต่มีความแตกต่างกันในรายละเอียด คือ เป็นการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากการบ่มตัวอย่างอาหาร แทนที่การวัดปริมาณวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุที่หายไป โดยนำค่าแก๊สที่วัดได้มาทำนายค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (organic matter digestility, OMD) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) และค่าพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (net energy for lactation, NE_L) วิธีการนี้สามารถทำได้สะดวกและรวดเร็ว สามารถทำได้ทีละหลายๆ ตัวอย่าง และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษามากกว่า

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

หลักการโดยทั่วไปของการศึกษาโดยวิธีการนี้คือ โคทดลองต้องมีอายุและขนาดน้ำหนักตัวใกล้เคียงกัน สุขภาพดี ไม่ตื่นตกใจง่าย ควรใช้โคทดลองมากกว่า 1 ตัว ทั้งนี้แม้ว่าจะเป็นสัตว์ชนิดเดียวกัน อายุและเพศเดียวกัน ก็อาจมีความสามารถในการย่อยอาหารที่แตกต่างกัน การมีจำนวนซ้ำมากจะทำให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องมากขึ้น แต่อาจสิ้นเปลืองแรงงานและค่าใช้จ่ายมาก แต่อย่างไรก็ตามพบว่าควรใช้สัตว์ทดลองอย่างน้อย 4 ตัว (บุญล้อม, 2540) วิธีการศึกษาการย่อยได้แบบนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วงคือ

1. **ระยะปรับตัว** (preliminary period) เป็นระยะเวลาที่ให้สัตว์ทดลองและจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมักปรับตัวให้เข้ากับอาหารที่ทำการทดลอง และเพื่อขับอาหารเดิมที่สัตว์ได้รับออกจากทางเดินอาหารให้หมด สำหรับโครยะนี้ควรใช้เวลาประมาณ 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 lib*)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากเสร็จจากขั้นตอนการเก็บตัวอย่างในช่วง collection period แล้ว นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโภชนะที่มีในอาหารที่ศึกษาและในมูลที่โคขับออกมาเพื่อนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ที่เสนอโดยบุญล้อม (2540)

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

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

การหาค่าการย่อยได้แบบดั้งเดิมบางครั้งอาจทำให้ได้ข้อมูลที่คาดเคลื่อนเนื่องจากต้องทราบปริมาณอาหารที่กินและมูลที่ขับออกมาทั้งหมด ซึ่งในระหว่างการทดลองการบันทึกปริมาณมูลที่ขับออกมาทั้งหมดนั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก วิธีการใช้สารบ่งชี้ (indicator or marker) ผสมกับอาหารที่ทำการศึกษาและใช้ปริมาณสารบ่งชี้ดังกล่าวเป็นตัวแปลในการคำนวณหาค่าการย่อยได้ ก็เป็นวิธีที่ช่วยแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ ซึ่งวิธีการหาค่าการย่อยได้โดยใช้สารบ่งชี้นั้นคล้ายคลึงกับการหาค่าการย่อยได้แบบดั้งเดิม

คุณสมบัติของสารบ่งชี้ (properties of marker)

โดยทั่วไปสารที่สามารถนำมาเป็นสารบ่งชี้ต้องมีคุณสมบัติคือ ต้องเป็นสารที่ไม่ถูกย่อยสลาย ไม่ถูกดูดซึมหรือมีผลต่อระบบทางเดินอาหารและต้องไม่มีผลต่อประชากรของจุลินทรีย์ภายในทางเดินอาหารของโคเมื่อผ่านทางเดินอาหารจะต้องเป็นเนื้อเดียวกับอาหารที่กำลังศึกษา มีอัตราการไหลผ่านที่ใกล้เคียงกันโดยเฉพาะในกระเพาะหมักซึ่งเป็นแหล่งที่มีความแปลปรวนของอัตราการไหลผ่านเป็นอย่างมาก ที่สำคัญคือต้องสามารถตรวจพบได้ง่ายเมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณในอาหารหรือตัวอย่างทดลอง (Marais, 2000) และเมื่อผสมอาหารให้โคกินแล้วต้องสามารถขับออกมาได้ทั้งหมด (Rymer, 2000)

1. ประเภทของสารบ่งชี้

โดยทั่วไปสารบ่งชี้ที่ใช้ในการศึกษาการย่อยได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1.1 Internal indicator เป็นสาร หรือสารประกอบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยอาจอยู่ในอาหารที่สัตว์กินหรือเป็นส่วนหนึ่งของพืชอาหารสัตว์ มีราคาถูกเหมาะสำหรับศึกษาสัตว์ป่า หรือสัตว์เลี้ยงที่ปล่อยแปลงซึ่งยากต่อการให้กินสารบ่งชี้ที่ผสมในอาหาร สารบ่งชี้ประเภทนี้ที่สำคัญได้แก่ลิกนิน (lignin) ซึ่งพบว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่มีเอมไซม์ที่สามารถย่อยสลายพันธะ polymerized phenolic compound ของลิกนินได้ (Marais, 2000) แต่อย่างไรก็ตามลิกนินเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนองค์ประกอบทางเคมีของมันอาจมีความหลากหลายทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิดของพืชส่งผลให้ปริมาณที่กลับคืน (recovery rate) อาจไม่คงที่ (เทอดชัย, 24542) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร สารสีในพืช (plant chromogen) ซึ่งพบว่าสารชนิดนี้ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักและเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA) ส่วนใหญ่ได้แก่ซิลิก้า (silica) ซึ่งนิยมในการใช้หาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในไก่ และในโค (Marais, 2000) แต่การใช้เถ้าที่ไม่ละลายในกรดเป็นสารบ่งชี้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนถ้าอาหารที่ศึกษานั้นมีการปนเปื้อนด้วยดิน หรือ ทราย

1.2 External indicator คือสารเคมีที่ผสมลงไปในอาหารทดลอง โดยปกติการใช้ชนิดนี้กับสัตว์นิยมให้ทางปาก หรือทางช่องเปิดบริเวณทางเดินอาหารต่างๆ ของสัตว์ (rumen fistula or intestine cannular) หรือให้โดยมีอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ (Marais, 2000) อาจมีการให้เป็นแบบครั้งหรือเป็นจังหวะ (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 ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรียที่ไม่ละลายน้ำได้แก่ โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้เล็กน้อยในอัลคาไลน์และกรด นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดปริมาณมูลของสัตว์ทดลองที่ขับออกมา สารอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากและใช้ในการในการศึกษาครั้งนี้ คือ ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกว่าสารบ่งชี้ทุกชนิด เนื่องจากมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำละกรดเจือจาง ไม่ถูกดูดซึมโดยพืช ในแกะพบว่าไม่มีผลกระทบใดๆ แม้ว่าจะได้รับไททาเนียมออกไซด์ 2 – 3 กรัมต่อวัน นอกจากนี้ยังสามารถถูกขับออกมากับมูลได้เกือบหมด (98% recovery rate) วิธีตรวจหาไททาเนียมออกไซด์ทำได้โดยการใช้ spectrophotometer หลังจากเกิดปฏิกิริยา oxidation กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide) (Brandt *et al.,* 1983) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะโดยวิธีการใช้สารบ่งชี้ตามสมการที่เสนอโดย เทอดชัย (2540) ดังนี้

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved