บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

1. หญ้ารูซี่

หญ้ารูซี่เป็นหญ้าที่มีอายุหลายปี ชอบอากาศร้อนชื้น และสามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด ที่มีการระบายน้ำได้ดี อีกทั้งยังสามารถปลูกได้ในเขตร้อนซึ่งมีฝนตกอย่างน้อย 1,000 มิลลิเมตรต่อปี หญ้ารูซี่มีความน่ากินและให้ผลผลิตสูง ทนทานต่อการเหยียบย่ำได้ดี เมล็ดมีความงอกสูงทำให้สะดวกรวดเร็ว ประหยัดแรงงาน และค่าใช้จ่ายในการปลูก รวมทั้งการขยายพันธุ์และการปรับปรุงทุ่งหญ้า (ชาญชัย, 2523) ในด้านการให้ผลผลิตนั้น จุรีรัตน์ และคณะ (2528) ได้รายงานว่าหญ้ารูซี่มีผลผลิตน้ำหนักแห้ง 2,584 กิโลกรัมต่อไร่ แต่เมื่อใส่ปุ๋ยสูตรผสม 12-24-12 ในอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตจะเพิ่มมากขึ้นกว่าที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ย 70 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามหญ้ารูซี่มีปัญหาเช่นเดียวกับหญ้าเขตร้อนหลายชนิด คือออกดอกไม่พร้อมกัน การสุกแก่ของเมล็ดก็แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องการร่วงหล่นของเมล็ดเมื่อแก่จัดด้วย (ฉายแสง และคณะ, 2528)

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหญ้ารูซี่ในรายงานต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 2.1 พบว่ามีค่าต่างกันแล้วแต่อายุการตัด ดังจะเห็นได้จากรายงานของฉายแสง และคณะ (2528; 2530) ที่พบว่า เมื่อหญ้ารูซี่มีอายุมากขึ้นจะมีโปรตีน และไขมันลดลง สำหรับค่าของเถ้าก็มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน แต่มีเยื่อใยเพิ่มขึ้นทั้งในรูปของผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน (ADL)

ฉายแสง และคณะ (2528) พบว่าการตัดหญ้ารูซี่ที่อายุ 60, 90 และ 120 วัน ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเท่ากับ 984, 1515 และ 2008 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ สำหรับการย่อยได้ของหญ้ารูซี่เทียบกับหญ้าชนิดอื่นแสดงไว้ในตาราง 2.2 พบว่ามีความแปรปรวนเช่นเดียวกัน ทั้งนี้แล้วแต่อายุของพืช ซึ่งจากข้อมูลของชาญชัย และคณะ (2529) แสดงให้เห็นว่าเมื่อหญ้ารูซี่มีอายุมากขึ้นจะมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งลดลง

Arroyo-Aguilu *et al.* (1973 อ้างอิงโดย ชูศักดิ์, 2533) ได้ศึกษาการย่อยได้ของหญ้ารูซี่ หญ้าแพงโกล่า และหญ้าสตาร์ในโคพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซี่ยนเปรียบเทียบกัน พบว่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำของหญ้ารูซี่สูงกว่าหญ้าแพงโกล่าและหญ้าสตาร์ตามลำดับ ในขณะที่การย่อยได้ของโปรตีนในหญ้ารูซี่ใกล้เคียงกับหญ้าสตาร์ และสูงกว่าหญ้าแพงโกล่าดังตาราง 2.2 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาหาค่าพลังงานโดยวิธี gas production ของ นฤมล (2541) ที่พบว่าพลังงานเมแทบอไลซ์ของหญ้ารูซี่สูงกว่าหญ้ากินี เนเปียร์ สตาร์ จัมโบ้ และหญ้าขน

คือ 9.0, 8.56, 7.98, 7.12, 6.89 และ 6.74 MJ / kgDM ตามลำดับ ดังนั้นจึงนับได้ว่าหญ้ารูซี่เป็นหญ้าที่มีศักยภาพสูงทั้งคุณค่า และผลผลิต อย่างไรก็ดีความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีและพลังงานระหว่างหญ้าแต่ละชนิดในการทดลองที่กล่าวข้างต้น อาจมิใช่เนื่องมาจากชนิดของหญ้าเพียงอย่างเดียว แต่อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่น เช่นสภาพการเพาะปลูก ฤดูกาล และโดยเฉพาะอย่างยิ่งอายุของหญ้า ดังจะเห็นได้จากข้อมูลของซาญชัย (2529) ที่พบว่าเมื่อหญ้ารูซี่มีอายุมากขึ้นจะมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งน้อยลง

2. พืชหมัก

2.1 กระบวนการหมัก

ภายหลังจากการตัดพืชเพื่อนำมาหมัก จะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดขึ้นหลายประการ เริ่มด้วยการหายใจแบบใช้ออกซิเจน โดยในระยะนี้ทั้งพืชและจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะนำคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (plant sugar) มาเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน กระบวนการนี้จะดำเนินต่อไปจนกระทั่งไม่มีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ หรือคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (water soluble carbohydrate, WSC) ถูกใช้จนหมด เมื่อภายในหลุมหมักมีสภาพไร้ออกซิเจนแบคทีเรียพวกไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) เช่น lactic acid bacteria, clostridium และ enterobacterium เป็นต้น จะทยอยเพิ่มจำนวนมากขึ้น และเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้เป็นผลิตผลต่าง ๆ เช่น lactic acid, butyric acid และ acetic acid เป็นต้น ดังสมการ

1. กระบวนการหายใจโดยใช้ออกซิเจน

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{plant enzyme}} 6CO_2 + 6H_2O + 673\ \text{kcal}$$

2. กระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (fermentation)

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{Lactic acid bacteria}} 2CH_3CHOHCOOH + 21\ \text{kcal}$$

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{CLostridium}} CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 149.7\ \text{kcal}$$

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{Enterobacteria}} 2CH_3COOH + 2CO_2 + 155\ \text{kcal}$$

ตาราง 2.1 องค์ประกอบทางเคมี(ร้อยละของวัตถุแห้ง) ของหญ้ารูซี่ที่อายุต่างกัน

	โปรตีน	เยื่อใย	เถ้า	ไขมัน	NFE	NDF	ADF	ADL	ที่มา
หญ้ารูซี่	9.00	32.90	-	-	45.30	-	-	-	Arroyo-Aguiluและคณะ (1973)
หญ้ารูซี่	10.83	23.13	5.36	2.44	49.45	-	-	-	กรมปศุสัตว์ (2529)
หญ้ารูซี่ อายุ 45 วัน	11.62	28.76	10.10	3.61	45.92	56.67	37.69	3.85	ฉายแสง (2530)
หญ้ารูซี่ อายุ 60 วัน	7.24	34.15	7.09	2.59	48.93	67.79	41.69	5.61	ฉายแสง (2530)
หญ้ารูซี่ อายุ 90 วัน	4.75	36.57	8.12	1.54	49.02	-	-	-	ฉายแสง (2528)
หญ้ารูซี่ อายุ 120 วัน	3.24	37.85	7.14	1.32	50.45	-	-	-	ฉายแสง (2528)
หญ้ารูซี่ อายุ 181 วัน	2.46	36.70	4.77	1.40	54.68	72.68	45.21	7.44	ฉายแสง (2530)

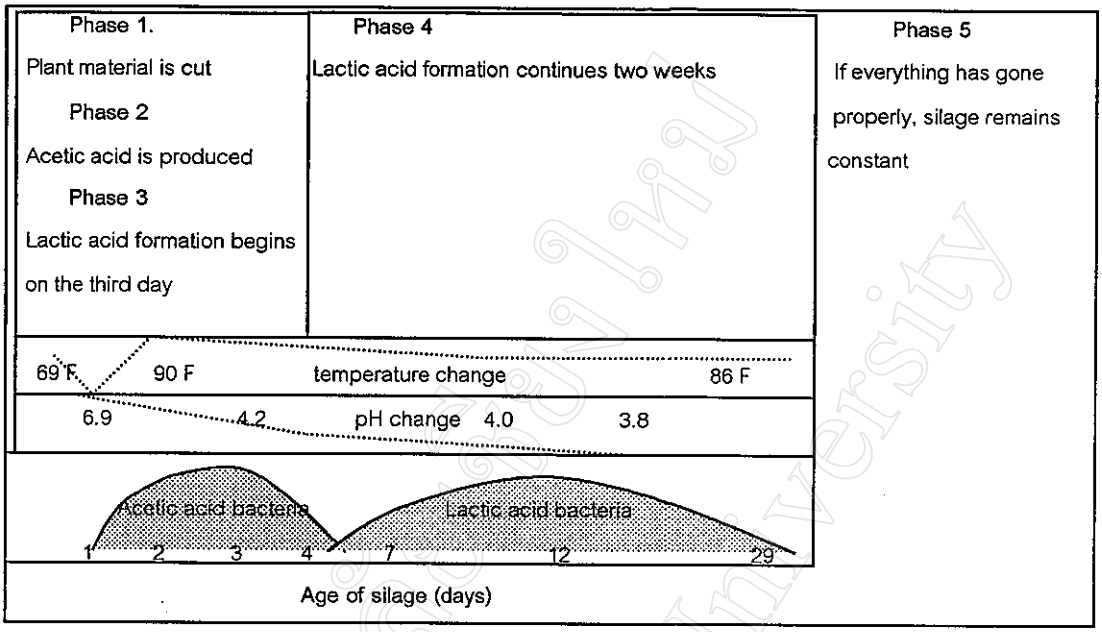
ที่มา: ฉายแสง และคณะ (2530)

ตาราง 2.2 การย่อยได้ของหญ้ารูซี่ หญ้าแพงโกล่า และหญ้าสตาร์ (%)

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

ที่มา : ชูศักดิ์ (2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



ภาพ 2.1 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักพืช (Ishler *et al.*, 1991)

2.2 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมัก

บุญเสริม (2539) ได้ให้คำอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักไว้ 5 ระยะ (ดังภาพ 2.1) กล่าวคือ

ระยะที่ 1 เป็นระยะที่พืชถูกนำมาใส่ในหลุมหมัก เซลล์ของพืชยังคงมีการหายใจอยู่ ออกซิเจนที่มีอยู่ในหลุมจะถูกนำมาใช้ในการหายใจ และน้ำตาลจะถูกออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน

ระยะที่ 2 การหายใจของเซลล์พืชยังคงมีบ้าง และหยุดลงในเวลาต่อมา จุลินทรีย์ที่ติดมากับพืชจะเป็นตัวการสำคัญในการหมักโดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่มีมากจำพวก enterobacteria หรือ ที่เรียกกันว่า acetic acid bacteria ดังนั้นผลพลอยได้ในระยะนี้คือ กรดอะซิติก ในสภาพที่มีความชื้นสูง มีอากาศอยู่บ้าง และมีอุณหภูมิระหว่าง 27-35 องศาเซลเซียส การเจริญเติบโตจะยิ่งมากขึ้น แต่เมื่อเวลาหมักนานขึ้น สภาพความเป็นกรดสูงขึ้น จุลินทรีย์เหล่านี้จะลดจำนวนลง

ระยะที่ 3 เมื่อหลุมหมักมีสภาพอับอากาศ จุลินทรีย์พวก lactic acid bacteria จะมีศักยภาพสูงในการเจริญเติบโต และผลิตกรดแลคติกสูงขึ้น เพิ่มสภาพความเป็นกรดมากขึ้น เมื่อค่าpH ลดลงถึง 3.8-4.2 แบคทีเรียที่อยู่ในสภาพอับอากาศจะถูกยับยั้ง กระบวนการทุกอย่างจะหยุดลง ในสภาวะเช่นนี้ จะสามารถเก็บพืชหมักไว้ได้นาน

ระยะที่ 4 จะเป็นช่วงที่บอกได้ว่าการทำพืชหมักประสบความสำเร็จหรือไม่ เพราะหลังจาก

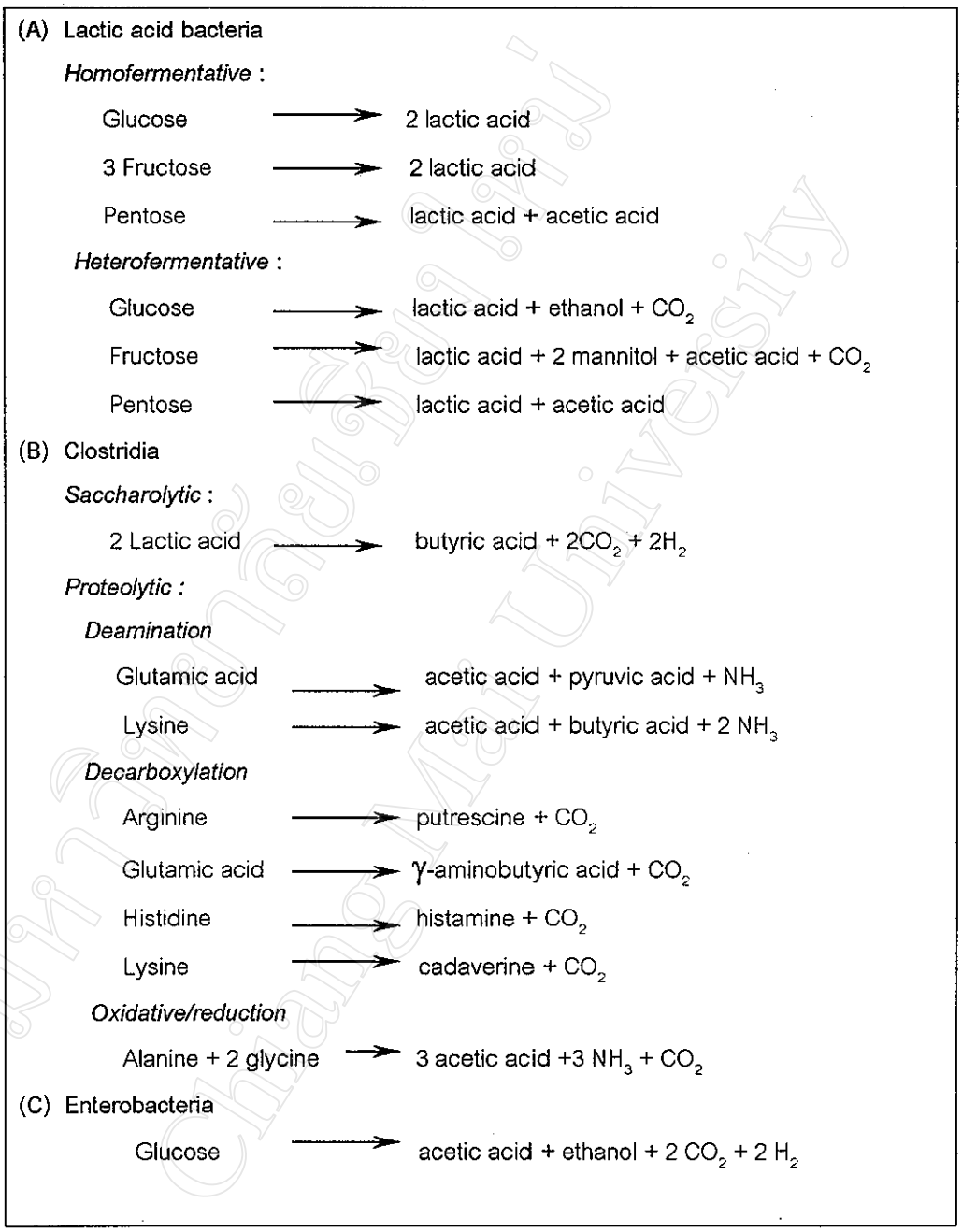
หมักผ่านไป 3-5 วัน การผลิตกรดแลคติกจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น หากสภาพการหมักเป็นไปอย่างเหมาะสมจะเกิดการหมักขึ้นอย่างสมบูรณ์ในเวลาประมาณ 15-20 วัน

ระยะที่ 5 เมื่อจุลินทรีย์หยุดกิจกรรม พืชหมักจะคงสภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลง สามารถเก็บได้นานหลายปีในสภาพอับอากาศ แต่ถ้าสภาพการหมักไม่เหมาะสม กิจกรรมของจุลินทรีย์ไม่ถูกยับยั้ง จุลินทรีย์จะใช้โภชนะในพืชหมักต่อไป ทำให้คุณค่าทางอาหารลดลงและเปลี่ยนแปลงเน่าเสียได้

ดังนั้นกรดต่าง ๆที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนนี้จึงเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมความเป็นกรด-ด่างให้ลดต่ำลงจนสามารถถนอมพืชไว้ได้ แต่อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่ม enterobacteria และ clostridium เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานมาก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ McDonald *et al.* (1991) ที่ได้สรุปว่าจุลินทรีย์ในกลุ่ม lactic acid bacteria จะทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุแห้ง และพลังงานของจุลินทรีย์น้อยที่สุด ดังตาราง 2.3 นอกจากนี้ clostridium ยังสามารถทำให้โปรตีนในพืชหมักเกิดการย่อยสลายโดยอาศัยกระบวนการ proteolysis ทำให้โปรตีนในอาหารลดลง หรือสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อการยับยั้งการกินอาหาร เช่น histamine เป็นต้น (ภาพ 2.2)

ตาราง 2.3 การสูญเสียวัตถุแห้งและพลังงานในกระบวนการหมักพืช (McDonald *et al.*, 1991)

	Loss (%)	
	DM	Energy
A. Lactic acid bacteria		
Homofermentative		
1glucose (or fructose) + 2ADP + 2Pi ⟶ 2lactate + 2ATP + $2H_2O$	0	0.7
2citrate + ADP + Pi ⟶ lactate + 3acetate + $3CO_2$ + ATP	29.7	1.5
malate ⟶ lactate + CO_2	32.8	1.8
Heterofermentative		
1glucose + ADP + Pi ⟶ lactate + ethanol + CO_2 + ATP + H_2O	24.0	1.7
3fructose +2ADP +2Pi ⟶ lactate +acetate +2mannitol +CO_2 +2ATP +H_2O	4.8	1.0
B. Clostridium		
2lactate + ADP +Pi ⟶ butyrate + $2CO_2$ + $2H_2$ + ATP + H_2O	51.1	18.4
C. Enterobacteria		
1glucose + 3ADP + 3Pi ⟶ acetate +ethanol +$2CO_2$ + $2H_2$ +3ATP +$2H_2O$	41.1	16.6
D. Yeasts		
1glucose + 2ADP + 2Pi ⟶ 2ethanol + $2CO_2$ + 2ATP + $2H_2O$	48.9	0.2



ภาพ 2.2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักพืช (McDonald *et al.*, 1991)

ด้วยเหตุนี้การผลิตพืชหมักเพื่อที่จะถนอมทั้งพลังงาน และโปรตีนไว้ให้มาก จำเป็นจะต้องเร่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่ม lactic acid bacteria ให้สามารถผลิตกรดแลคติกออกมาเป็นจำนวนมากเพื่อให้สภาพความเป็นกรด-ด่างถึงจุดที่ยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มอื่นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการจัดสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์กลุ่มนี้จึงเป็นสิ่งจำเป็น

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของพืชหมัก

2.3.1. ปริมาณออกซิเจน

ก๊าซออกซิเจนเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในระหว่างการหมัก การที่มีอากาศเหลืออยู่ในหลุม หรือปิดหลุมหมักไม่ดีพอ จะทำให้กระบวนการหายใจของเซลล์พืชยังคงดำเนินต่อไปโดยพืชจะใช้คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้เป็นแหล่งพลังงาน ทำให้เหลือคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ลดลง การผลิตกรดแลคติกจะเกิดขึ้นน้อย ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่า เพราะจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกไม่สามารถแย่งอาหารที่มีอยู่น้อยได้ทันจุลินทรีย์กลุ่มอื่น ทำให้ไม่สามารถผลิตกรดแลคติกจนถึงจุดที่ยับยั้งจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการได้ ในสภาวะเช่นนี้ ยีสต์ เชื้อรา และแบคทีเรียที่ไม่ต้องการจะสามารถพัฒนาตัวเองได้อย่างรวดเร็ว นำไปสู่การผลิตพืชหมักคุณภาพต่ำ ในการทำพืชหมักถ้ามีอากาศติดค้างอยู่ในหลุมหมักสูงย่อมส่งผลให้คุณภาพพืชหมักต่ำ แต่การบ่งบอกว่ามีอากาศมากน้อยเพียงใดเป็นเรื่องที่ยาก ดังนั้นการอัดแน่นจึงเป็นวิธีการที่ดีในการไล่อากาศที่หลงเหลืออยู่ออกไป ซึ่ง Lancester and Mcnaughton (1961 อ้างอิงโดย สายัณห์, 2540) ได้ศึกษาอิทธิพลของการอัดแน่นต่อคุณภาพของหญ้าหมัก ผลการทดลองสรุปว่า ในกลุ่มที่มีการอัดแน่นมากจะมีอุณหภูมิต่ำ ความหนาแน่นสูง ลดการสูญเสียของวัตถุแห้งได้ดี และมีการผลิตกรดแลคติกสูง ซึ่งค่าเหล่านี้บ่งบอกถึงคุณภาพพืชหมักที่ดีดังตาราง 2.4 แต่อย่างไรก็ตามขนาดชิ้นของพืชก็มีอิทธิพลต่อการอัดซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Haigh (1998) ที่พบว่าเครื่องจักรที่ตัดหญ้าให้มีชิ้นขนาดเล็กจะมีผลต่อคุณภาพพืชหมักที่ดี

ตาราง 2.4 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
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 : Lancester and Mcnaughton (1961 อ้างโดย สายัณห์, 2540)

2.3.2 ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น

ในสภาพที่พืชยังมีชีวิตอยู่พบว่ามีจุลินทรีย์มากมาย อาศัยอยู่ ได้แก่ coliform bacteria, aerobic bacteria, micrococci, streptococci, yeast, mould, actinomycete และ lactic acid bacteria แต่จุลินทรีย์พวก anaerobic bacteria มักจะพบอยู่น้อย (Kroulik *et al.*, 1954) อย่างไรก็ดี พืชอาหารสัตว์ที่นำมาหมักนั้นมักมีจุลินทรีย์ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป (Muck, 1991) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ส่วนของพืช ฤดูกาล อายุของพืช และความยาวของพืช แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ในข้าวโพดมีมากกว่าอัลฟาฟ่า (10^3-10^7 vs 10^2-10^5 cfu/g ตามลำดับ) นอกจากนี้ Cussen *et al.*, (1995) ได้ทำการตรวจจุลินทรีย์ใน ryegrass ก่อนจะนำไปหมัก พบว่ามี lactic acid bacteria และ enterobacteria ประมาณ 4.89 และ 6.34 $log_{10}CFUg^{-1}FM$ ตามลำดับ และมี clostridium 15 spore $g^{-1}FM$

2.3.3. ความชื้น

การหมักพืชที่มีความชื้นสูงย่อมส่งผลเสีย ซึ่งพรชัยและบุญฤา (2540) และ บุญล้อมและคณะ (2543) ได้กล่าวไว้ดังนี้คือ

- ทำให้เกิดการสูญเสียโภชนะในรูปของเหลวที่ไหลออกมาค่อนข้างมาก ซึ่งไม่เพียงแต่จะสร้างปัญหาในเรื่องมลภาวะเท่านั้น แต่ยังสูญเสียสารอาหารที่ย่อยได้สูงอีกด้วย ในทางตรงข้ามการที่มีความชื้นต่ำจะทำให้การตัดพืชกระทำได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังได้ปริมาณวัตถุแห้งสูง สามารถขนส่งได้ในปริมาณมากในแต่ละครั้ง จึงช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย

- ทำให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุให้มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียพวก clostridium มากยิ่งขึ้น เป็นผลให้มีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนะของพืชหมัก แต่ถ้าพืชนั้นยังมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้พอเพียงต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกซึ่งทำให้เกิดกรดในปริมาณที่สูงพอที่จะยับยั้งจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการได้ ก็จะมีผลทำให้สัตว์กินอาหารคิดเป็นวัตถุแห้งได้น้อย เนื่องจากปริมาณกรดที่มีมากเกินไปในพืชหมัก

ดังนั้นพืชจะนำมาหมักควรมีความชื้นประมาณ 65-75 % (Watson and Nash, 1960; McDonald *et al.*, 1991 และบุญล้อม และคณะ, 2543) ถ้าพืชที่นำมาหมักมีความชื้นสูง จะต้องใช้ระยะเวลาในการผลิตกรดแลคติกนานกว่าจะถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดังกล่าวมาแล้ว แต่ถ้าความชื้นน้อยเกินไปก็จะทำให้การอัดแน่นเป็นไปได้ยาก มีอากาศหลงเหลืออยู่มาก เกิดการหายใจของพืชสูง ทำให้เกิดการสูญเสียและยังก่อให้เกิดโรคแก่สัตว์อีกด้วย (McDonald *et al.*,1991; Muck, 1990) Jaster and Moore (1996) ได้ทำการศึกษาถึงผลของความชื้นที่ระดับ 50%, 60% และ 70% ต่อการผลิตพืชหมัก พบว่าระดับความชื้นที่ 70% มีผลทำ

ให้ปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้น ความเป็นกรดด่างลดลงอย่างรวดเร็ว ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมัก นอกจากนี้ Woolford and Pahlow (1998) ได้รายงานว่า แบคทีเรียในกลุ่ม clostridium สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพืชหมักที่มีวัตถุแห้งต่ำกว่า 30% แต่อย่างไรก็ตามระดับของความชื้นหรือวัตถุแห้งที่เหมาะสมสำหรับการหมักอาจผันแปรไปได้แล้วแต่ชนิดของ silo โดย พรชัยและบุญฤา (2540) แนะนำว่าในไซโลแบบหลุม หรือแบบไส้กรอกที่หุ้มพลาสติกด้วยเครื่อง และไซโลแบบหอคอยควรมีวัตถุแห้งของพืชก่อนการหมัก ประมาณ 25-35%, 35-45% และ 35-55% ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณวัตถุแห้งโดยใช้วัตถุดิบอาหารข้น เช่น รำละเอียด ข้าวโพดป่น มันสำปะหลัง และกากน้ำตาล สามารถลดความชื้นได้ดีพอสมควร (บุญล้อม และทิพย์วรรณ, 2539 และสตางค์ และคณะ, 2543) ประกอบกับวัตถุดิบเหล่านี้มีคุณค่าสูง และเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตสำหรับจุลินทรีย์ จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการหมัก ตลอดจนประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์ให้ดีขึ้น นอกจากนี้ Moseley and Ramanathan (1989) ได้ศึกษาผลของการใช้สารเสริมที่อยู่ในรูปแห้ง ต่อคุณค่าของพืชหมัก (ryegrass ผสมกับถั่ว white clover) โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ๆ ที่ 1 ไม่ใส่สารเสริม กลุ่มที่ 2 ใส่กรดฟอร์มิคกลุ่มที่ 3 และ4 เสริมด้วยกากน้ำตาล (หัวบีท) ในอัตรา 25 และ 50 กิโลกรัมต่อพืชสด 1 ตันตามลำดับ ผลปรากฏว่าการใช้สารเสริมสามารถลดการเกิดของเหลวจากหลุมหมักได้ อีกทั้งการใช้กากน้ำตาลและข้าวบาร์เลย์บดนอกจากจะช่วยเพิ่มวัตถุแห้งแล้วยังช่วยยกระดับคุณค่าทางโภชนะของพืชหมักให้สูงขึ้นอีกด้วย ดังตาราง 2.5

2.3.4. ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (water soluble carbohydrate, WSC)

WSC หมายถึงคาร์โฮเดรตที่ละลายน้ำได้ประกอบด้วย กลูโคส ฟรุคโตส กาแลคโตส แลคโตส แมนโนส ซูโครส มอลโตส ไซโลส และอะราบิโนส เป็นต้น ปริมาณน้ำตาลเหล่านี้จะมีความแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุการตัดของพืช ฤดูกาล ภูมิอากาศ ตลอดจนภูมิประเทศ เป็นต้น

การจะทำให้ lactic acid bacteria มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเพื่อผลิตกรดแลคติกได้มากนั้นจะต้องมีแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ในปริมาณสูง ทั้งนี้เนื่องจากในพืชมีจุลินทรีย์หลากหลายสายพันธุ์ที่แก่งแย่งอาหารกันไปใช้ โดยเฉพาะกลุ่ม enterobacteria ที่มีมากจะมีความสามารถสูง ประกอบกับมี lactic acid bacteria จำนวนน้อยในระยะแรก ดังนั้นปริมาณของ WSC เริ่มต้นจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญประการหนึ่งนอกเหนือจากวัตถุแห้ง ที่สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของพืชหมักได้ โดย Haigh (1990) แนะนำว่าพืชที่จะนำไปหมักต้องมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ไม่น้อยกว่า 37 กรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้งของพืช เพราะเป็นสิ่งจำเป็นในการป้องกันการเจริญเติบโตของ clostridium ในพืชหมัก แต่อย่างไรก็ตามจากรายงานของ Stetara (1988-1989) แนะนำว่าหญ้าที่จะทำเป็นพืชหมักควรมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้อย่างต่ำ 100 กรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้งของพืช

ตาราง 2.5 องค์ประกอบทางเคมี (g/kg DM) และความเป็นกรด-ด่างของหญ้าหมักที่เสริมสารต่าง ๆ

	Control	Formic	Sugar beet		Rolled barley	
			25 kg	50kg	25 kg	50kg
Dry matter	171.2	194.9	185.9	192.4	189.1	207.3
Organic matter	904.8	920.2	905.6	901.2	907.9	919.1
Total N	32.8	34.0	32.2	31.8	34.0	32.8
Ammonia	31.5	12.1	28.7	26.9	33.0	32.5
NDF	488.6	478.3	482.6	453.3	484.1	469.4
ADF	312.6	288.5	298.5	279.6	291.4	272.3
Formic acid	0.0	66.5	5.0	1.2	5.0	0.0
Acetic acid	37.0	Tr	33.3	20.8	39.8	25.3
Butyric acid	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Propionic acid	10.9	11.3	24.8	48.0	3.3	12.8
Lactic acid	77.0	Tr	83.0	74.0	81.0	76.5
pH	4.1	3.7	4.0	4.0	4.1	4.1
Gross energy (MJ/kgDM)	19.2	19.5	19.4	19.4	19.1	19.4

ที่มา : Moseley and Ramanathan (1989)

2.3.5. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และกิจกรรมของเอนไซม์ ในช่วงแรกของการหมักพืชยังหายใจอยู่ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนขึ้นในหลุมหมัก ถ้าความร้อนนี้เพิ่มขึ้นอีก 10 องศาเซลเซียสในขณะที่พืชมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 5-25องศาเซลเซียส พืชจะมีการหายใจเพิ่มขึ้น 2 เท่า แต่อย่างไรก็ตามถ้าพืชมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25-45 องศาเซลเซียส การหายใจของพืชจะคงที่แม้ว่าจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็ตาม ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำก่อนที่จะปิดหลุมหมักจะช่วยลดการสูญเสียของน้ำตาลจากกระบวนการหายใจในระหว่างการหมักได้ (Wood and Parker, 1971) Muck and Anderson (1988) ได้รายงานว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะไปเพิ่มความเร็วของกระบวนการหมักและทำให้ความเป็นกรดด่างลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Muck (1991) ว่าจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-45 องศาเซลเซียส แต่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Gibson *et al.* (1958) ได้ทำการเปรียบเทียบกิจกรรมของ clostridium ในพืช พบว่าที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส clostridium มีกิจกรรมสูงกว่าที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Lindgren *et al.* (1985) ที่พบว่า clostridium มีกิจกรรมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สูงกว่าที่ 10 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิจะมีผลต่อการเร่งการย่อยสลายของโปรตีน โดยในช่วงอุณหภูมิ 10-40 องศาเซลเซียส กิจกรรมการย่อยสลายโปรตีนจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุกๆ 20 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการย่อยสลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น 3-4 เท่า เป็นเหตุให้ปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น (Muck, 1991) นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 35 หรือ 45 องศาเซลเซียส ยังสามารถเกิดปฏิกิริยา Millard reaction ระหว่างกรดอะมิโน และน้ำตาล ทำให้การย่อยได้ของโปรตีนต่ำลง ดังนั้นการอัดพืชลงในหลุมหมักอย่างรวดเร็วและอัดให้แน่น ในสภาพที่มีอุณหภูมิปกติ น่าจะเป็นแนวทางที่สามารถป้องกันการเกิดการหายใจที่มากเกินไปได้

2.3.6. Buffering capacity (BC)

เมธา (2520) ได้ให้คำจัดความ BC ว่าเป็นความสามารถของพืชในการควบคุมความเป็นกรดด่าง ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทำพืชหมัก ถ้าพืชหมักมี pH อยู่ในช่วง 4-6 การควบคุม pH นั้นประมาณ 70-80% จะเป็นผลของเกลืออินทรีย์ เช่น พวกเกลือออร์โธฟอสเฟต ซัลเฟต ไนเตรต และคลอไรด์ ส่วนอีก 10-20% นั้นขึ้นอยู่กับโปรตีนในพืชเอง ค่านี้มีหน่วยเป็น มิลลิอิควิฟวาเลนท์ (meq) ของด่างต่อกิโลกรัมวัตถุแห้งที่จะเปลี่ยน pH ของพืชหมักจาก 4 ให้เป็น 6 Muck (1991) ได้รายงานว่าหญ้าและข้าวโพดมีค่าบัฟเฟอร์ริ่งคาพาซิตี้อยู่ในช่วง 250-450 มิลลิอิควิฟวาเลนท์ของด่างต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ในขณะที่พืชตระกูลถั่วมีค่าระหว่าง 350-600 มิลลิอิควิฟวาเลนท์ของด่างต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ดังนั้นพืชตระกูลถั่วจึงมีคุณสมบัติที่ยากต่อการทำพืชหมัก หรืออาจกล่าวได้ว่าจะต้องใช้น้ำตาลเพิ่มขึ้นเพื่อ ลดความเป็นกรดด่างให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยปกติแล้วพืชเมืองร้อนจะไม่พบปัญหานี้มากนัก

2.4 ปัญหาการทำหญ้าหมักในเขตร้อน

Tjandraatmadja *et al.* (1994) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเขตร้อน 3 ชนิดคือ Hamil, Pangola และ Setaria grass โดยในแต่ละชนิดมีอายุการตัด 3 ระยะคือ 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ผลปรากฏว่าพืชที่มีอายุมากขึ้นจะมีวัตถุแห้ง คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ เยื่อใย และลิกนินสูงขึ้น แต่มีระดับโปรตีนรวมต่ำ ดังตาราง 2.6 แม้กระนั้นก็นับว่าพืชเขตร้อนมีระดับคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ค่อนข้างต่ำ ด้วยเหตุนี้การเลือกตัดหญ้าที่อายุอ่อนมาทำพืชหมักโดยหวังว่าจะมีคุณค่าอาหารดี คือมีโปรตีนในระดับสูง มีปริมาณลิกนินน้อย และมีเยื่อใยต่ำนั้น นับว่าค่อนข้างเสี่ยงสูงต่อการได้หญ้าหมักที่มีคุณภาพดี เนื่องจากหญ้าในระยะดังกล่าวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้น้อย และมีความชื้นสูงซึ่งจะทำให้กระบวนการหมักผิดปกติไปจากเดิม แต่การเลือกตัดหญ้าที่มีอายุมากขึ้นนั้นนับว่าไม่เป็นผลดีด้านคุณค่าทางอาหารเนื่องจากมีปริมาณลิกนินค่อนข้างสูง และมีปริมาณโปรตีนต่ำ ประกอบกับปริมาณเยื่อใยที่สูงมักจะเป็น

อุปสรรคต่อการไล่อากาศ ทำให้มีอากาศหลงเหลือตกค้างอยู่ในถังหมักมากเกินไป กระบวนการหมักจะเกิดได้ไม่สมบูรณ์ คุณภาพของหญ้าหมักจะไม่ดีเท่าที่ควร อีกทั้งปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของ lactic acid bacteria ยังส่งผลไปสู่การผลิตหญ้าหมักที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของเทอดชัย (2532), Catchpoole and Henzell (1975) และ Tjandraatmadja *et al.* (1994) ดังนั้นการถนอมหญ้าในเขตร้อนไว้ในรูปของพืชหมักที่มีคุณภาพดีเพื่อสำรองไว้ใช้ในยามขาดแคลนนั้นจะต้องพิจารณาและปรับปัจจัยต่าง ๆ ให้สอดคล้องและเหมาะสมกันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เพื่อสนับสนุนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติกให้มากและเพิ่มศักยภาพต่อการยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มอื่นตลอดจนรักษาคุณค่าทางอาหารไว้ให้นาน ซึ่งอาจทำได้โดยการเพิ่มวัตถุแห้ง การเสริมแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ และการไล่อากาศออกให้เร็ว

ตาราง 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้า 3 ชนิดที่อายุ 4 8 และ 12 สัปดาห์

Composition	Hamil grass			Pangola grass			Setaria grass		
(g/kg DM)	4	8	12	4	8	12	4	8	12
Dry matter (g/kg fresh)	178	223	267	178	192	259	169	184	276
Neutral detergent fibre	648	745	777	684	680	694	645	745	762
Acid detergent fibre	369	442	480	384	384	413	353	438	504
Hemicellulose	279	303	297	300	296	281	292	307	259
Cellulose	340	396	423	347	344	362	321	397	430
Ligin	29	45	57	37	40	52	32	41	74
Ash	97	77	71	95	81	72	117	81	51
Water soluble carbohydrates	9.6	14.1	13.1	14.3	17.9	29	19.4	19.8	49.5
Total N (TN)	21.4	12.1	11	25.5	24.1	16.3	23.5	10.8	7.5
NH_3-N (g/kg TN)	1.8	2.2	1.5	3.9	3.5	2.1	5.7	3.4	2.7
pH	6	5.7	5.7	6	6	5.8	6.3	6.1	5.8

ที่มา : Tjandraatmadja *et al.* (1994)

2.5 การปรับปรุงหญ้าหมักในเขตร้อนให้มีคุณภาพดี

Tjandraatmadja *et al.* (1994) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของหญ้าหมักเขตร้อนโดยจัดการศึกษาแบบ 2 ปัจจัยคือ 3x3 factorial in CRD โดยปัจจัยที่ 1 เป็น พันธุ์หญ้า 3 ชนิด (Hamil, Pangola และ Setaria) ปัจจัยที่ 2 เป็นอายุ 3 ระยะ (4, 8 และ 12 สัปดาห์) และปัจจัยสุดท้ายเป็นระดับของกากน้ำตาลที่ใช้เสริม 3 ระดับ (0, 4 และ 8% w/w fresh) โดยทำการพ่นลงในหญ้าที่หั่นให้มีขนาด 1 เซนติเมตร บรรจุลงในถุงๆละ 500 กรัม ดูดอากาศออกปิดปากถุง ภายหลังการหมัก

ตาราง 2.7 ผลของพันธุ์หญ้า การเสริมกากน้ำตาล และอายุของพืชต่อองค์ประกอบทางเคมี และประชากรของ lactic acid bacteria ในหญ้าที่หมักแล้ว 100 วัน

Composition (g/kg DM)	grass species				Stage of growth (week)				Molasses (% w/w)			
	H	P	S	*P*	4	8	12	*P*	0	4	8	*P*
Dry matter (g/kg fresh)	247	225	205	***	191	208	277	***	199	232	246	***
Neutral detergent fibre	645	565	678	***	585	636	665	***	678	619	588	***
Acid detergent fibre	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	109	***
Water soluble carbohydrates	21.6	33.2	20.5	***	21.6	20.5	33.2	***	15.7	23.7	35.9	***
Total N (TN)	11.4	18.4	11	***	17	14.7	9.1	***	13.2	14.3	13.3	ns
NH-N (g/kg TN)	80	123	77	ns	106	105	67	ns	174	55	51	***
pH	3.9	3.7	3.7	ns	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	***
Propionic acid	1.4	3	1.3	ns	2.5	2.1	1.1	ns	5.5	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 : H : Hamill, P : Pangola, S : Setaria, ns = non significant

ที่มา : Tjandraatmadja *et al.* (1994)

1, 5, 30 และ 100 วันจึงสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ ดังตาราง 2.7 ผลปรากฏว่าคุณภาพของพืชหมักนั้นเมื่อพิจารณาตามมาตรฐานของการหมักที่ดี คือมี pH $<$ 4.2 มีกรดแลคติก $\geq$ 50 % กรดทั้งหมด มีกรดบิวทีริก $\leq$ 5 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง และมีแอมโมเนีย-ไนโตรเจน $\leq$ 100 กรัมต่อกิโลกรัมไนโตรเจนทั้งหมด นั้นพบว่าการฉีดพ่นกากน้ำตาลลงในหญ้าก่อนหมักที่ระดับ 4% และ 8% สามารถปรับปรุงคุณภาพของหญ้าหมักในเมืองร้อนได้อย่างมีคุณภาพสูง แต่การปรับปรุงโดยไม่เสริมกากน้ำตาล ไม่ว่าจะใช้พืชชนิดใดหรืออายุใด พบว่าคุณภาพของพืชหมักยังไม่ได้มาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากมีเยื่อใยสูง โดยเฉพาะ NDF และ lignin อีกทั้งยังมีแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้น้อย ประกอบกับมีความชื้นสูง จึงเป็นผลให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่ม lactic acid bacteria

เป็นไปได้ช้า แต่อย่างไรก็ตาม Tjandraatmadja *et al.* (1990) ได้รายงานว่าตรวจพบจุลินทรีย์ในหญ้าหมักเขตร้อนอยู่ในตระกูล homofermentative โดยเฉพาะ *Lactobacillus plantarum* เป็นส่วนมากประมาณ 53% ดังนั้นการปรับปรุงการผลิตหญ้าหมักในเมืองร้อนอาจจะทำด้วยการเร่งการเจริญเติบโตของเชื้อตามธรรมชาติโดยการใช้สารช่วยหมักที่เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ เช่น ข้าวโพด, รำ, มันเส้น หรือกากน้ำตาล ประกอบกับการไล่อากาศที่มีประสิทธิภาพและความชื้นที่เหมาะสมก็น่าจะเป็นแนวทางผลิตหญ้าหมักที่ดี

จุฑารัตน์ (2520) ได้ศึกษาคุณค่าทางอาหารและการย่อยได้ของหญ้าขนที่เติมและไม่เติมสารช่วยหมัก โดยสับหญ้าให้มีความยาว 2 นิ้ว แล้วเติมสารช่วยหมักต่าง ๆ คือ กลุ่มที่ 1 ไม่เสริมสารช่วยหมัก กลุ่มที่ 2 เสริมกากน้ำตาล 5% กลุ่มที่ 3 เสริมกากสับปะรด 2% และ กลุ่มที่ 4 เสริมมันเส้นบด 10% ผลปรากฏว่าหญ้าขนที่ผสมกากน้ำตาล 5% และหญ้าขนผสมกากสับปะรด 2% มีค่า pH พอเหมาะคือ 4.25 และ 4.15 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด พบว่าหญ้าขนที่ผสมกากน้ำตาล 5% มีเปอร์เซ็นต์กรดแลคติกสูงสุด และมีกรดบิวทีริกและกรดอะซิติกต่ำสุด จึงนับได้ว่าเป็นพืชหมักที่มีคุณภาพดีดังตาราง 2.8 นอกจากนี้ วารุณีและคณะ (2541) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของหญ้าแฝกหมักที่เติมสารช่วยหมักซึ่งมีสูตรต่างๆ ดังนี้คือ สูตรที่ 1 (ควบคุม) สูตรที่ 2 เสริมยูเรีย 0.5% สูตรที่ 3 เสริมกากน้ำตาล 10% สูตรที่ 4 เสริมมันเส้นบด 15% สูตรที่ 5 เสริมกากน้ำตาล 10% ร่วมกับยูเรีย 0.5% และสูตรที่ 6 เสริมมันเส้นบด 15%ร่วมกับยูเรีย 0.5% โดยตัดหญ้าแฝกสายพันธุ์ราชบุรีที่อายุการตัด 30 วัน ให้ขนาด 2-3 เซนติเมตรแล้วนำมาผสมกับสารช่วยหมัก ตามสูตรต่างๆ บรรจุในถุงพลาสติกสีดำจำนวน 20 กิโลกรัมต่อถุง อัดให้แน่นไล่อากาศออกด้วยแรงงานคน ปิดปากถุง หมักไว้ประมาณ 30 วัน หญ้าหมักสูตรที่ 3, 4 และ 5 จัดอยู่ในเกณฑ์ที่มีคุณภาพดี เมื่อพิจารณาจากความเป็นกรด เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง และปริมาณกรดแลคติก บิวทีริก ดังตาราง 2.9

นอกจากนี้มีการวิจัยมากมายเพื่อปรับปรุงหญ้าหมักให้มีคุณภาพดีโดยใช้สารช่วยเร่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่ม lactic acid bacteria ทั้งการปรับวัตถุแห้งให้สูงขึ้น และการเพิ่มแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำ โดยศึกษามุ่งเน้นผลของสารช่วยหมักต่อองค์ประกอบทางเคมี ต่อคุณภาพของพืชหมัก และการย่อยได้ ตลอดจนพลังงานทั้งในรูป ME และ NE

ตาราง 2.8 องค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพของหญ้าขนหมักที่เสริมสารช่วยหมักชนิดต่าง ๆ

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของวัตถุแห้ง)	หญ้าขน	กากน้ำตาล 5 %	กากสับปะรด 2 %	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	0.33
Butyric acid (%)	0.35	0.23	0.02	0.41

หมายเหตุ : lactic acid, acetic acid and butyric acid มีหน่วยเป็น % กรด (เทียบจากน้ำหนักสดของพืช)

ที่มา : จุฑารัตน์ (2520)

ตาราง 2.9 คุณภาพของหญ้าแฝกที่อายุการตัด 30 วันโดยหมักร่วมกับสารช่วยหมักตามสูตรต่าง ๆ

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
กรดไขมันระเหยได้ (%)						
กรดแลกติก	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)

2.6 ผลของสารเสริมต่อองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าหมัก

ทุก ๆ งานทดลองที่รวบรวมไว้ในตาราง 2.10 นั้นพบว่าการใช้สารช่วยหมักเช่น กากน้ำตาล จะทำให้พืชหมักมีปริมาณของวัตถุแห้ง และเถ้าเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันจะมีปริมาณของโปรตีน เยื่อใยทั้ง NDF และ ADF ลดลงตามระดับของการใช้กากน้ำตาล นอกจากนี้การใช้รำละเอียดเป็นสารช่วยหมักที่ระดับ 15%ของน้ำหนักหญ้าสดจะมีวัตถุแห้ง โปรตีน และเถ้าสูงกว่าการใช้กากน้ำ

ตาลที่ระดับ 4%ของน้ำหนักหญ้าสด แต่ระดับเยื่อใยจะต่ำกว่า นอกจากนี้ในงานทดลองของจุฑารัตน์ที่ได้รายงานว่าหญ้าขนที่หมักร่วมมันเส้นบด 10% จะมีระดับของ NFE และวัตถุแห้งภายหลังจากการหมักมากกว่าการหมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% แต่มีค่า CF, CP, EE และ ash ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของสารช่วยหมัก และชนิดของหญ้าที่มีความแตกต่างกัน

ตาราง 2.10 ผลของสารเสริมต่าง ๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าหมัก

Grass	Rate	DM	CP	EE	NDF	ADF	Ash	WSC	Ref
			←		%DM			→	
Napier									Kavana
1. Control	0	21.9	6.96		71.75	49.73	12.84	1.76	*et al.*
2. Molasses	5%	23.2	6.74		60.15	43.08	13.98	2.26	(1999)
3. FSC	5%	22.5	64.4		68.17	51.58	13.25	1.81	
Guatemala									
1. Control	0	20.3	7.09		70.24	45.46	11.12	2.61	
2. Molasses	5%	26.5	6.11		64.59	45.04	11.76	1.42	
3. FSC	5%	23.6	7.42		73.49	50.42	10.17	2.29	
Napier									Yokota
1. Molasses	4%	13.44	8.44		58.07	40.12	15.60		*et al.*
2. DRB	1 %	20.15	16.56		53.73	30.44	16.27		(1998)
3. (M : DRB)	(4 : 15)	22.46	14.63		48.66	26.47	15.52		
Pangola	W/w								Tjandra-
Molasses	4%	23.6			61.9	37.8	9.8	1.1	atmadja
Setaria									*et al.*
Molasses	4%	20.6			66.4	41.5	9.4	0.93	(1993)
Lolium perenne									Visser
1. Wilted		45.6	18.75	3.90	49.20		11.30	2.60	and
2. Molasses		24.6	19.40	4.20	41.20		15.60	1.30	Hindle
3. Formic acid		23.3	20.0	4.60	42.90		14.60	4.10	(1992)
Ryegrass	Litre/t								
1. Formic acid	2	22.8	12.80		63.40	38.0	7.60		Castle
2. Molasses	10	21.8	13.8		61.6	35.8	8.4		and
3. Molasses	20	23.2	13.2		61.6	34.2	8.6		Watson
4. Molasses	30	23.9	12.6		58.3	34.2	9.4		(1985)

หมายเหตุ : M = molasses, FSC = fresh sugar cane, DRB = defated rice bran

2.7 ผลของสารเสริมต่อคุณภาพของหญ้าหมัก

การใช้กากน้ำตาลไม่เพียงแต่เป็นแหล่งเพิ่มวัตถุแห้งของพืช และแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้เท่านั้น แต่ยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของ lactic acid bacteria อีกด้วย ดังจะเห็นได้จากการเกิดกรดแลคติกในปริมาณที่สูง เป็นผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของ clostridium ได้อย่างรวดเร็ว ดังจะสังเกตได้จากการมีกรดบิวทีริก และแอมโมเนียไนโตรเจนค่อนข้างต่ำ พืชหมักที่ได้จึงมีคุณภาพดี ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยหลาย ๆ ชิ้นในการปรับปรุงหญ้าหมักในเขตร้อน และเขตอบอุ่น ดังที่รวบรวมไว้ดังตาราง 2.11 ซึ่งพอสรุปได้ว่าการเสริมกากน้ำตาลในระดับที่สูงขึ้น นอกจากจะลดระดับของ pH, แอมโมเนียไนโตรเจน, กรดอะซิติก และกรดบิวทีริก แล้วยังสามารถเพิ่มระดับกรดแลคติกให้สูงขึ้นได้อีกด้วย เมื่อเปรียบเทียบแหล่งของสารช่วยเร่งการหมักนั้น พบว่าการใช้กากน้ำตาลที่ระดับ 4 และ 5% จะทำให้คุณภาพของพืชหมักดีกว่าการใช้รำละเอียดที่ระดับ 15% เนื่องจากรำทำให้พืชหมักมีค่า pH แอมโมเนียไนโตรเจน และกรดอะซิติกสูง แต่มีกรดแลคติกต่ำ และใกล้เคียงกับการใช้ข้าวโพดบดที่ระดับ 5 และ 10%

ตาราง 2.11 ผลของสารเสริมต่าง ๆ ต่อคุณภาพของหญ้าหมัก

Grass	Rate	pH	NH_3-N	Lactic	Acetic	Butyric	Reference
			%total N ←		% DM	→	
Napier							
1. Control		4.34	3.9	0.79	0.09	0	Kavana *et al*
2. Molasses	5%	3.77	2.5	3.52	0.13	0	(1999)
3. FSC	5%	3.87	3.1	1.36	0.06	0	
Napier							Yokota *et al.*
1. Molasses	4%	3.85	7.02	7.98	0.64	0.02	(1998)
2. DRB	15%	4.47	11.16	1.73	6.67	0.05	
3. (M : DRB)	(4 : 15)	4.05	4.22	5.36	3.13	0.01	
Star grass	w/w						Sibanda *et al*
1. Control		3.9	16.3	8.2	2.5	0.16	(1997)
2. Molasses	5%	3.9	15.4	9.0	3.5	0.11	
3. Ground maize	5%	3.9	16	8.1	3.8	0.14	
4. Ground maize	10%	4.0	15.8	8.0	4.0	0.16	
Pangola	w/w						Tjandraatmadja
Molasses	4%	3.48	3.4	3.45	0.79	0.00	*et al.* (1993)
Setaria							
Molasses	4%	4.12	5.7	2.95	0.99	0.19	

ตาราง 2.11 (ต่อ)

Grass	Rate (litre/t)	pH	NH_3-N %total N	Lactic ← % DM	Acetic % DM	Butyric →	Reference
Lolium perenne							Visser and Hindle
1. Wilted		4.22	10	3.61	0.02	1.03	(1992)
2. Molasses	4	3.98	8	11.86	0.02	1.84	
3. Formic acid	6	4.15	5	2.58	0.2	1.94	
Ryegrass							Castle and Watson
1. Formic acid	2	3.79	9.1	10.4	3.1	0	(1985)
2. Molasses	10	3.88	11.0	9.2	5.1	1.1	
3. Molasses	20	3.80	8.8	10.6	4.4	0.6	
4. Molasses	30	3.75	8.2	13.6	4.2	0.4	

2.8 ผลของสารเสริมต่อการย่อยได้ และพลังงานของหญ้าหมัก

ในการทดลองของ Visser and Hindle (1992) ได้ศึกษาการใช้สารช่วยหมักในการปรับปรุงหญ้าหมักในเขตอบอุ่นเช่น *Lolium perenne* ซึ่งมุ่งเน้นผลต่อการย่อยได้ และพลังงาน โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มทดลองคือ กลุ่มที่ 1 ผึ่งแดด กลุ่มที่ 2 เสริมกากน้ำตาล 4% และกลุ่มที่ 3 ฉีดพ่นกรดฟอร์มิค 6% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทั้งในด้านการย่อยได้ และค่าพลังงานในรูป NE ดังตาราง 2.12 แต่อย่างไรก็ตามนับว่าการย่อยได้และพลังงานในหญ้าหมักนั้นค่อนข้างสูง และ Castle and Watson (1985) ได้ศึกษาการฉีดพ่นกรดฟอร์มิค 2% และกากน้ำตาลที่ระดับ 3, 4 และ 5% ลงในหญ้าไรย์ พบว่าการย่อยได้ และพลังงานในรูป ME ไม่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามในรายงานนี้มีข้อสังเกตว่าการย่อยได้ และพลังงาน ME มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับกากน้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาหาการย่อยได้ของอินทรียวัตถุดังที่ Visser and Hindle (1992) ทดลอง พบว่าการย่อยได้ในตัวสัตว์ (in vivo) มีค่าใกล้เคียงกับในหลอดทดลอง (in vitro) ดังตาราง 2.12

ในกรณีของหญ้าในเขตร้อนนั้นพบว่า การใช้กากน้ำตาลทำให้ค่าการย่อยได้ของ OM, NDF และ ADF สูงกว่าการใช้รำละเอียด แต่ในขณะเดียวกันการย่อยได้ของโปรตีนจะต่ำกว่า (Yokota *et al.*, 1998) และเมื่อเปรียบเทียบกับการย่อยได้ DM ของหญ้าเนเปียร์ในแกะ (in vivo) ซึ่งมีค่า 65% (Yokota *et al.*, 1992) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการย่อยได้ DM ของหญ้าเนเปียร์ที่ศึกษาในหลอดทดลอง (in vitro) ที่ Kavan *et al.* (1999) ได้รายงานไว้คือ 65.4% ดังตาราง 2.12 แต่อย่างไร

ก็ตามค่าการย่อยได้ DM ที่ศึกษาแบบ in vivo ก็มิได้สอดคล้องกับการศึกษาแบบ in vitro เสมอไป ทั้งนี้อาจเนื่องจากชนิดของหญ้า ความแปรปรวนของตัววัตถุดิบที่ใช้ และตัวสัตว์เอง ตลอดจนสภาพภูมิอากาศดังรายงานของ Yokota *et al.*, (1998) ที่พบว่าค่าการย่อยได้ DM แบบ in vivo ของหญ้าเนเปียร์ที่เสริมด้วยกากน้ำตาล 4% มีค่าสูงถึง 70.7% จุฑารัตน์ (2520) ได้ทำการศึกษาหาการย่อยได้ และพลังงานของหญ้าขนหมักพบว่าการใช้สารช่วยหมักจะปรับปรุงทั้งการย่อยได้ และพลังงาน (TDN) สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารช่วยหมัก ดังตาราง 2.12 แต่ในขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่ใช้สารหมักด้วยกันพบว่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ไขมัน และเยื่อใย มีความแตกต่างกันไม่มาก แต่พลังงาน (TDN) ของกลุ่มที่ใช้มันเส้นบดจะมีค่าสูงที่สุด ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากว่ามันเส้นมีพลังงานสูง หลังจากการหมักจึงทำให้หญ้าขนหมักมีพลังงานสูงขึ้น แต่ไม่แตกต่างกว่ากลุ่มอื่นมากนัก คุณภาพของพืชหมักน่าจะเป็นดัชนีที่ใช้ในการอธิบายได้ โดยพิจารณาจากการมีกรดบิวทีริกและ pH ที่สูง แต่มีกรดแลคติกต่ำ นั่นแสดงว่าหญ้าหมักที่ได้มีคุณภาพด้อยกว่ากลุ่มอื่น การสูญเสียสารอาหารมาก พลังงานที่เหลือภายหลังการหมักจึงไม่สูงมาก ในขณะที่การย่อยได้ของโปรตีนมีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่น ดังนั้นการใช้กากน้ำตาลน่าจะสามารถผลิตหญ้าขนหมักให้มีคุณภาพดีที่สุด

เมื่อพิจารณาการใช้กากน้ำตาล 4% ฉีดพ่นลงในหญ้าเนเปียร์ (Yokota *et al.*, 1998) กับ หญ้า *Lolium perenne* (Visser and Hindle, 1992) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของหญ้าหมักในเขตร้อน และเขตอบอุ่น โดยมุ่งเน้นในด้านการย่อยได้ และพลังงานพบว่าในเรื่องการย่อยได้นั้นหญ้าหมักในเขตอบอุ่นจะมีการย่อยที่ดีกว่าหญ้าหมักในเขตร้อน ดังแสดงในตาราง 2.12 และเมื่อเปรียบเทียบในด้านพลังงานพบว่าหญ้าหมักในเขตอบอุ่นที่มีการฉีดพ่นด้วยกากน้ำตาล 4% ลงบนหญ้า *Lolium perenne* (Visser and Hindle, 1992) จะมีค่าพลังงาน NE เท่ากับ 5.3 MJ/kgDM และหญ้า ryegrass (Castle and Watson, 1985) จะมีพลังงานใน ME เท่ากับ 10.2 MJ/kgDM ซึ่งสูงกว่าหญ้าหมักเขตร้อนดังที่จุฑารัตน์ (2520) ได้ทดลองหมักหญ้าขนร่วมกับกากน้ำตาลที่ 5% พบว่ามีค่า NE และ ME เท่ากับ 4.6 และ 7.6 MJ/kgDM ตามลำดับ (คำนวณจากค่า TDN ตามคำแนะนำของ NRC, 1989) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากว่ากระบวนการหมักหญ้าในเขตหนาวน่าจะมีประสิทธิภาพกว่า เนื่องด้วยอุณหภูมิก่อนหมักที่ต่ำจึงทำให้เอนไซม์ในหญ้ามีประสิทธิภาพลดลง นอกเหนือจากนี้แล้วคุณค่าของพืชก่อนหมักก็มีผลเช่นกัน ดังที่ McDonald *et al.* (1991) ได้รายงานว่าหญ้าเขตหนาวมีคุณค่าทางโภชนะมากว่าหญ้าเขตร้อน

ตาราง 2.12 ผลของสารเสริมต่อการย่อยได้ และพลังงานของหญ้าหมัก

Grass	Rate	*In vitro* Dig.(%)	DM	OM	CP	NDF	ADF	ME	NE	Ref
		←		*In vivo* digestibility (%)			→	(MJ/kgDM)		
Ryegrass	litre/t									Castle
1. Formic acid	2			63.8				10.2		and
2. Molasses	10			63.5				10.1		Watson
3. Molasses	20			64.4				10.2		(1985)
4. Molasses	30			64.8				10.2		
Lolium perenne	litre/t	IvOM[2]								Visser
1. Wilted		73		75	75	73			5.7	and
2. Molasses	4	73		75	75	72			5.3	Hindle
3. Formic acid	6	73		75	74	72			5.4	(1992)
Napier										Yokota
1. Molasses	4%		70.7	67.8	49.7	72.3	75.8			*et al.*
2. DRB	15%		66.0	63.5	72.4	64.2	54.2			(1998)
3. (M : DRB)	4:15%		69.4	67.3	78.0	61.9	48.6			
4. Molasses	30			64.8				10.2		
Napier										Yokota *et al.*
Molasses	4%		65.0		54.5					(1992)
Napier		IvDM[3]								Kavan
1. Control		63.9								*et al.*
2. Molasses	5%	65.4								(1999)
3. FSC	5%	60.5								
Pangola	w/w									Tjandraat-
Molasses	4%		60.6	62.5		35.7	50.1			madja *et al.*
Setaria										(1993)
Molasses	4%		56.5	56.6		36.6	47.6			
หญ้าขน						EE[1]	CF[1]	NFE[1]	TDN	จุฑารัตน์
1. กากน้ำตาล	5%		54.3		57.1	72.8	57.9	46.1	51.1	(2520)
2.กากสับปะรด	2%		56.0		53.8	80.9	60.0	51.6	56.0	
3. มันเส้นบด	10%		57.4		34.9	77.1	56.3	62.5	57.1	
4. ควบคุม			43.5		22.0	59.9	55.5	38.1	42.3	

หมายเหตุ : [1]การย่อยได้ (%), FSC = fresh sugar cane, DRB = defated rice bran, [2,3] in vitro OM and DM

3. การประเมินค่าพลังงานในอาหาร

ในการเลี้ยงสัตว์นั้นพลังงานนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ ไม่เพียงต่อการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของสัตว์เท่านั้น แต่พลังงานยังเป็นตัวกำหนดรายได้ และกำไรในการประกอบการอีกด้วย ระบบพลังงานที่รู้จักกันดีมี 4 ระบบดังที่บุญล้อม (2541) ได้รายงานไว้คือ total digestibility nutrient (TDN), digestible energy (DE), metabolizable energy (ME) และ net energy (NE) แต่ละระบบมีข้อดี ข้อเสีย และความยากง่ายในการศึกษาแตกต่างกันไป ในปัจจุบันประเทศที่พัฒนาแล้วมักนิยมใช้พลังงานในรูปของ ME และ NE

การประเมินค่า ME ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนในการวัดค่าแก๊สมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่สัตว์ผลิตขึ้นมา ส่วนการประเมินค่า NE ไม่เพียงหาค่าแก๊สดังกล่าวเท่านั้นแต่ยังวัดความร้อนเพิ่ม (heat increment) ที่สูญเสียไปเนื่องจากการย่อยและเมแทบอไลซ์อาหารอีกด้วย ดังนั้นค่าพลังงานดังกล่าวจึงยังไม่มีการวัดโดยตรงในประเทศไทย เพราะต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง ด้วยเหตุนี้การหาค่าพลังงานโดยวิธีทางอ้อมจึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการศึกษา ซึ่งสามารถกระทำได้ดังนี้คือ

3.1 วัดค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility) เป็นวิธีหาโภชนะที่ย่อยได้แล้วนำมาคำนวณหาค่าพลังงาน DE และ TDN

3.2 วัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น (*in vitro* gas production) โดยอาศัยหลักการที่ว่าการหมักย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะส่วนหน้าจะทำให้เกิดแก๊ส ซึ่งปริมาณแก๊สมีสหสัมพันธ์อย่างสูงกับค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และพลังงานในอาหารจึงสามารถนำมาใช้ทำนายค่าดังกล่าวได้ (บุญล้อม, 2541) การศึกษาวิธีนี้ทำโดยการชั่งตัวอย่างอาหารที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. ประมาณ 200 มก. ใส่ลงในหลอดแก้ว syringe เติมสารละลาย rumen liquor buffer จำนวน 30 มล. นำไป incubate ที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส อ่านค่าแก๊สที่เกิดขึ้นที่ 24 ชั่วโมง นำไปคำนวณหาพลังงานในรูป ME และ NEL ตามวิธีการของ Menke and Stiengass (1988)

ค่าพลังงานเหล่านี้มีผู้ศึกษาวิจัยไว้บ้างแล้วโดยใช้วิธีดังกล่าวข้างต้น ได้แสดงไว้ในตาราง 2.13 จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่ ME และ NEL ที่คำนวณได้จาก DE มีค่าน้อยกว่าที่คำนวณได้จาก TDN แต่มีค่ามากกว่าที่คำนวณได้จาก gas test ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากว่ามีปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้องหลายประการนอกเหนือจากสภาพภูมิอากาศ สัตว์ทดลอง และวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีความแตกต่างกันแล้ว สมการทำนายที่ใช้คำนวณก็มีความแตกต่างกันด้วย ดังนั้นการประเมินค่าพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้องจึงเป็นเรื่องที่มีละเอียดอ่อน และซับซ้อน

ตาราง 2.13 การประเมินพลังงาน ME และ NE ของอาหารหยาบโดยวิธีต่าง ๆ

วัตถุดิบ	โค	คำนวณจาก			วัดแก๊ส	เฉลี่ย[1]	อ้างอิง
		TDN	DE	เฉลี่ย			
ต้นอ้อยแห้ง							**ไกรสิทธิ**
TDN (%)	66.48					66.48	(2543)
DE (Mcal/kgDM)	2.72	2.93				2.83	
ME (Mcal/kgDM)		2.51	2.23	2.37	2.51	2.44	
NE (Mcal/kgDM)		1.51	1.39	1.45	1.51	1.48	
เปลือกฝักถั่วเหลือง							**อิทธิพล**
TDN (%)	49.95					49.95	(2543)
DE (Mcal/kgDM)	2.37	2.20				2.29	
ME (Mcal/kgDM)		1.77	1.94	1.86	1.39	1.63	
NE (Mcal/kgDM)		1.10	1.20	1.15	0.72	0.94	
เปลือกและซังข้าวโพดหมักร่วมกับรำผสมฟอร์มาลิน							**สตางค์**
TDN (%)	71.31					71.31	(2543)
DE (Mcal/kgDM)	3.05	3.14				3.10	
ME (Mcal/kgDM)		2.73	2.63	2.68	2.48	2.58	
NE (Mcal/kgDM)		1.63	1.57	1.60	1.42	1.51	
ข้าวโพดหมัก							**นฤมล**
TDN (%)	65.22					65.22	(2544)
DE (Mcal/kgDM)	2.72	2.88				2.80	
ME (Mcal/kgDM)		2.45	2.30	2.38	2.22	2.30	
NE (Mcal/kgDM)		1.48	1.44	1.46	1.28	1.37	
ฟางข้าว							**เสาวลักษณ์**
TDN (%)	49.92					49.92	(2542)
DE (Mcal/kgDM)	1.75	2.20				1.98	
ME (Mcal/kgDM)		1.77	1.32	1.55	1.45	1.50	
NE (Mcal/kgDM)		1.10	0.85	0.98	0.84	0.91	

[1] (ค่าเฉลี่ยจากศึกษาจากตัวสัตว์ + ค่าที่เกิดจากวัดปริมาตรแก๊ส)/2

4. ผลของพลังงานและโปรตีนในอาหารต่อโคนม

การรักษาสภาพในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องให้เหมาะสม เช่นไร้ออกซิเจน มี pH ค่อนข้างคงที่และอยู่ใกล้ 7 ตลอดจนมีการหมุนเวียนของสารอาหารอย่างสม่ำเสมอ นับว่าจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่งได้แก่ แบคทีเรีย, โปรโตซัว และเชื้อรา เพราะจุลินทรีย์เหล่านี้ทำหน้าที่ย่อยอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน และโปรตีนสำหรับพวกมัน ในขณะเดียวกันสัตว์เคี้ยวเอื้องก็ได้ประโยชน์จากการนี้ด้วย (บุญล้อม, 2541) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าจุลินทรีย์ในรูเมนและสัตว์เคี้ยวเอื้องมีการพึ่งพาอาศัยกันและกัน อีกทั้งกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในรูเมนก็มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ด้วย ซึ่งกระบวนดังกล่าวได้แก่

4.1 กระบวนการเมแทบอลิซึมคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate metabolism)

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ และเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมัน และน้ำตาลในนม คาร์โบไฮเดรตแบ่งเป็น 2 จำพวกคือ พวกแรกเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทเยื่อใยเช่น cellulose และ hemicellulose เป็นต้น เยื่อใยเหล่านี้แม้จุลินทรีย์จะเข้าย่อยสลายได้อย่างช้า ๆ แต่มีความสำคัญต่อการกระตุ้นการบีบตัวของผนังรูเมน ทำให้เกิดการเคี้ยวเอื้อง (rumination) ซึ่งเพิ่มการไหลเวียนของน้ำลายมาที่กระเพาะรูเมน เนื่องจากน้ำลายประกอบด้วย sodium bicarbonate และ phosphate salts จึงรักษา pH ของรูเมนให้อยู่ในสภาพเป็นกลางไว้ได้นาน การขาดเยื่อใยไม่เพียงแต่จะทำให้ pH ลดลงซึ่งไม่เป็นผลดีต่อจุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใยเท่านั้น แต่ยังทำให้ความเข้มข้นของไขมันนมลดลงได้อีกด้วย พวกที่สองเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (เช่นแป้งและน้ำตาล) จะถูกหมักย่อยได้อย่างรวดเร็วในรูเมน จึงเพิ่มประสิทธิภาพการให้พลังงานและเพิ่มการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในรูเมน แต่อย่างไรก็ตามคาร์โบไฮเดรตประเภทนี้ไม่สามารถกระตุ้นการเคี้ยวเอื้องได้ ถ้าได้รับมากเกินไปจะทำให้รูเมนมีสภาพเป็นกรดซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์และตัวสัตว์เอง

ดังนั้นความสมดุลระหว่างคาร์โบไฮเดรตประเภทเยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการให้อาหารโคนม ดังภาพ 2.3 ที่สรุปการเปลี่ยนรูปของคาร์โบไฮเดรตในอวัยวะต่าง ๆ ของโคนม เช่น รูเมน, ตับ และ ต่อมน้ำนม อวัยวะเหล่านี้สำคัญต่อ carbohydrate metabolism

ในระหว่างการหมักของจุลินทรีย์ในรูเมนจะได้แก๊สมีเธน, คาร์บอนไดออกไซด์, ความร้อน และกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) เช่น acetate, butyrate และpropionate ดังภาพ 2.3 กรดเหล่านี้จะถูกสัตว์เคี้ยวเอื้องดูดซึม และใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักเพื่อการดำรงชีวิตและการให้ผลผลิต โดย acetate และ butyrate เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมัน ส่วน propionate เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลูโคสและแลคโตสในน้ำนม

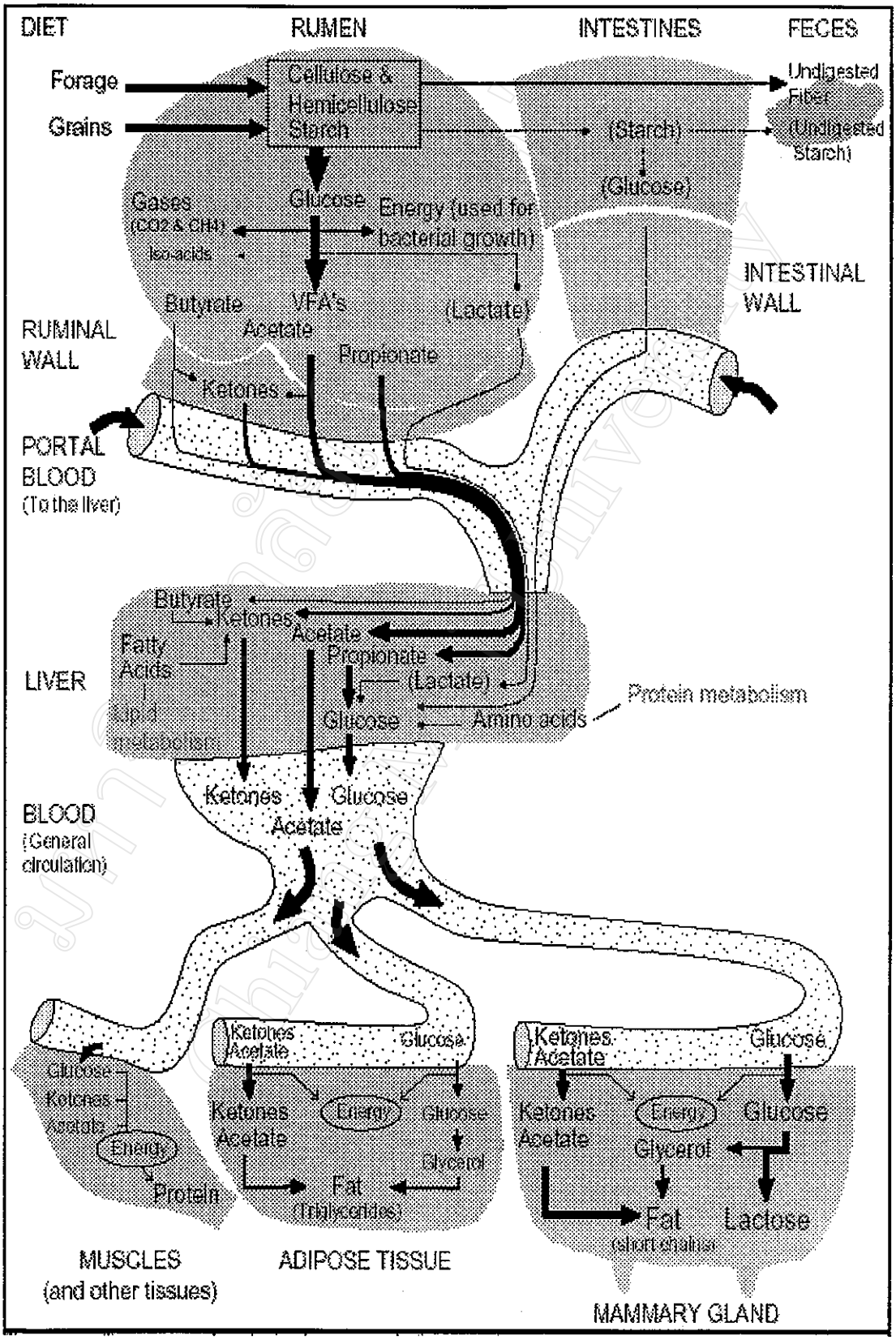
4.2 กระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีน (Protein metabolism)

จากภาพ 2.4 จะเห็นได้ว่าโปรตีนในอาหารจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในรูเมนได้เป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง เช่น เปปไทด์ และกรดอะมิโน ที่สุดได้เป็นแอมโมเนียและโครงสร้างคาร์บอน (NRC, 2001) ส่วน non-protein nitrogen เช่น ยูเรีย ที่ได้รับจากอาหาร และจากน้ำลายจะถูกย่อยสลายได้เป็นแอมโมเนีย ถ้าแอมโมเนียในรูเมนมีน้อยเกินไปจะทำให้แบคทีเรียขาดแคลนไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโต เป็นเหตุให้การย่อยอาหารลดลง แต่ถ้าแอมโมเนียมีมากเกินไปจะเกิดการเป็นพิษซึ่งนำไปสู่การสูญเสีย

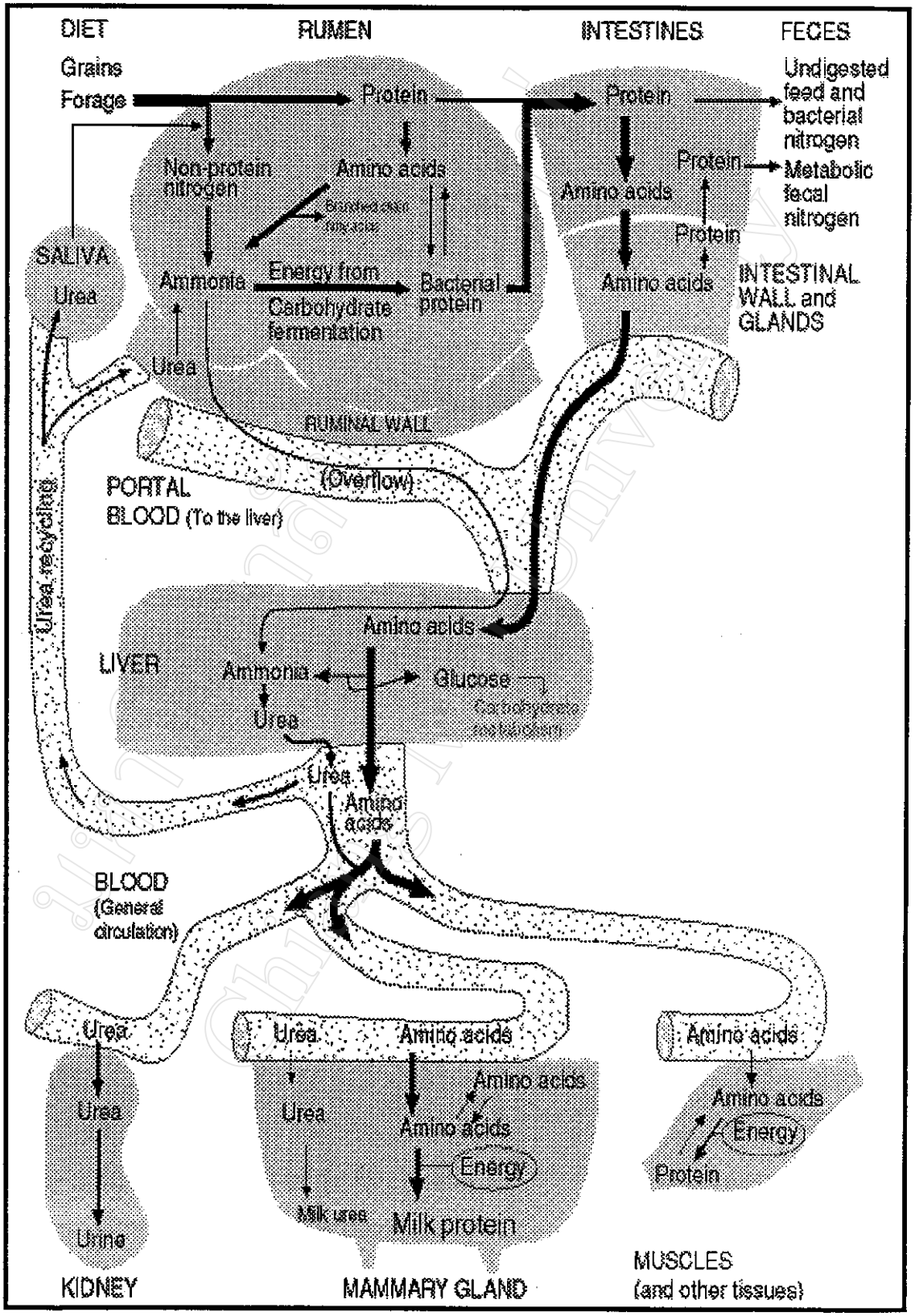
การที่แบคทีเรียจะใช้แอมโมเนียเพื่อการเจริญเติบโตได้ดีเพียงใดขึ้นอยู่กับพลังงานที่ได้จากกระบวนการหมักย่อย กล่าวคือถ้ามีพลังงานไม่เพียงพอ จุลินทรีย์จะย่อยกรดอะมิโนเหล่านี้เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน เป็นเหตุให้แอมโมเนียในรูเมนมีปริมาณสูงขึ้น ซึ่งแอมโมเนียเหล่านี้จะถูกดับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของยูเรีย แล้วปลดปล่อยสู่ เลือด น้ำนม และปัสสาวะในความเข้มข้นสูง (Roseler *et al.*, 1993) Ferguson and Chalupa (1989) ได้รายงานว่ายูเรียที่เพิ่มขึ้นนี้มีผลเสียต่อความสมบูรณ์พันธุ์ของสัตว์ อีกทั้งยังเพิ่มต้นทุนการผลิต ตลอดจนทำให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพต่ำลง (Higginbotham *et al.*, 1989) ในทางตรงข้ามหากมีพลังงานเพียงพอแต่มีแอมโมเนียต่ำก็จะทำให้ bacteria มีการเจริญเติบได้ไม่ดี มีการย่อยอาหารได้ลดลง ทำให้สัตว์มีผลผลิตลดลง

4.3 ผลผลิตจากการหมักย่อยต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม

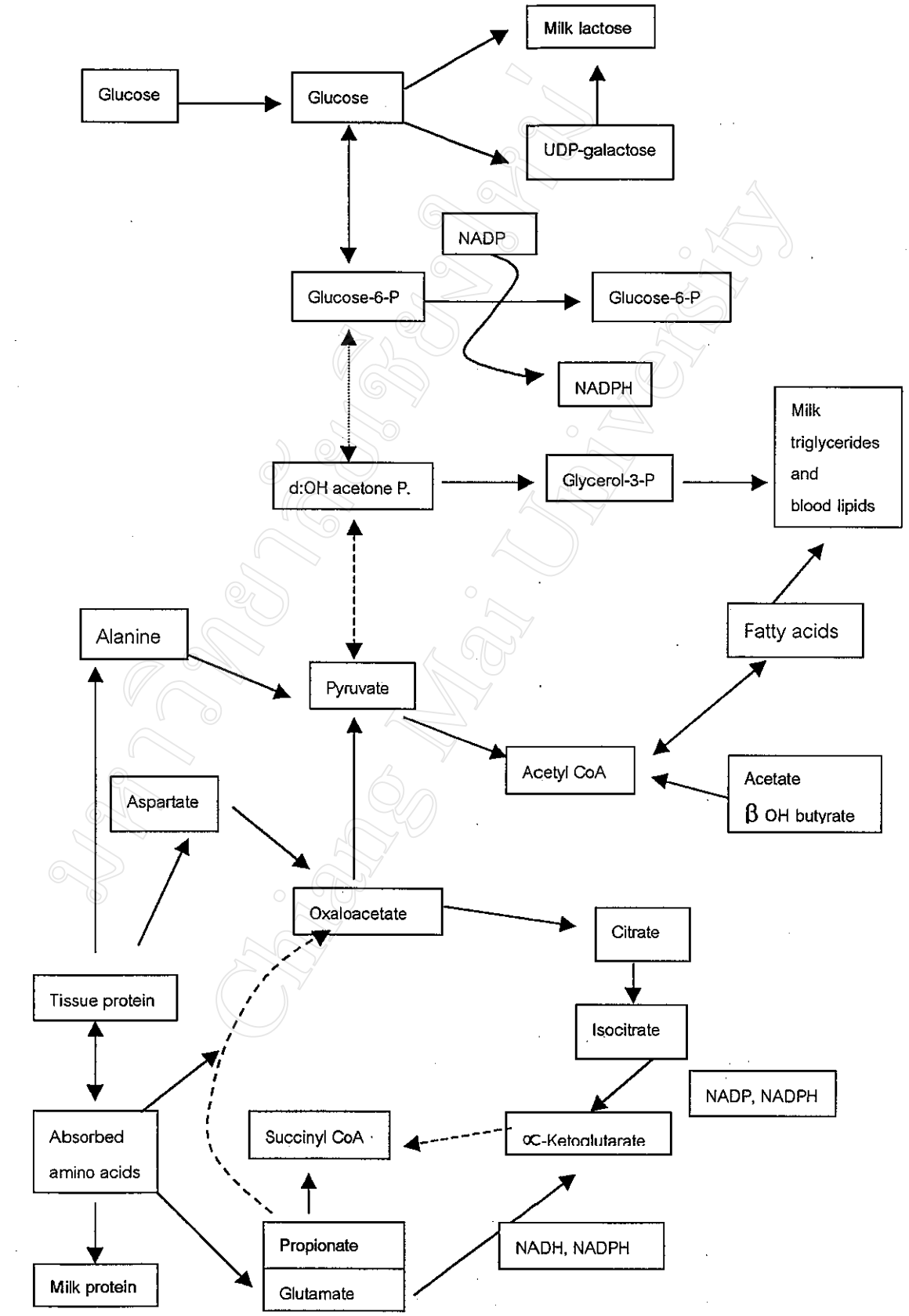
ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าจุลินทรีย์เป็นทั้งแหล่งพลังงานและโปรตีนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามที่จะศึกษาผลที่เกิดจากการหมักย่อยของจุลินทีย์ต่อผลผลิตในด้านต่าง ๆ ดังที่ Sawal and Kurar (1998) ได้รวบรวมผลของ acetate, propionate, butyrate, glucose, amino acids และ long chain fatty acids ไว้ในตาราง 2.14 จะเห็นได้ว่าการเพิ่ม acetate, glucose และ amino acids มีผลให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น สำหรับการให้ acetate, butyrate และ long chain fatty acids มีผลให้ไขมันนมเพิ่มขึ้น และการให้ propionate และ amino acids มีผลให้โปรตีนเพิ่มขึ้น เป็นต้น จากตาราง 2.14 อย่างไรก็ดีในการทดลองของ Miettinen and Huhtanen (1996) พบว่าการฉีด propionate ทำให้ปริมาณนมเพิ่มขึ้น โดยสรุปแล้วผลผลิตจากการหมักย่อยในรูเมนมีผลต่อทั้งองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณน้ำนม ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยกลไกทางชีวเคมีดังภาพ 2.5



ภาพ 2.3 Carbohydrate metabolism in dairy cows (Wattiaux.,no date)



ภาพ 2.4 Protein metabolism in dairy cows (Wattiaux.,no date)



ภาพ 2.5 การสังเคราะห์องค์ประกอบของนมจากสารที่ถูกดูดซึม

ตาราง 2.14 การให้ผลผลิตจากการหมักย่อยในรูเมนที่มีผลปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม

Product of digestion	Main site of absorption	Response to change in supply (% of control)			
		milk yield	fat	protein	lactose
Acetate	Rumen[1]	+8.3	+8.9	-1.2	+2.1
Propionate	Rumen[1]	-1.6	-8.3	+6.5	+0.8
Butyrate	Rumen[1]	-4.9	+14.2	+2.2	+2.2
Glucose	Small intestine[2]	+5.5	-10.3	-1.1	+0.9
Amino acids	Small intestine[2]	+7.2	-2.5	+5.9	+0.5
Long chain fatty acid	Small intestine[3]	+2.1	+13.1		

ที่มา: Sawal and Kurar (1998)

[1] Rook and Balch (1961), Rook *et al.* (1965) intra – ruminal infusions.

[2] Thomas and Chamberlain (1984) intra – abomosal infusions.

[3] Story *et al.* (1969a, b) intra – venous infusions.

ตาราง 2.15 ผลการเสริมโปรตีนต่อการให้ผลผลิตของโค Holstein-Friesian ที่ได้รับหญ้าหมักเป็นอาหารหยาบฐาน

Parameter	Crude protein (g/kgDM)			
	120	160	200	240
Silage DM intake (kg)	7.5	8.0	8.5	9.2
Total DM intake (kg)	16.5	17.1	17.6	18.2
DE intake (MJ)	222	232	239	250
CP intake (kg)	2.09	2.52	2.93	3.31
Animal performance				
Milk yield (kg)	23.7	25.4	26.1	27.2
Solids-corrected milk (kg)	23.3	24.6	25.2	26.1
Fat yield (g)	973	1008	1031	1062
Protein yield (g)	732	791	818	857
Lactose yield (g)	1099	1169	1194	1245
Milk composition (g/kg)				
Fat yield	41.1	39.9	39.4	39.0
Protein yield	30.9	31.2	31.4	31.6
Lactose yield	46.3	46.0	45.7	45.9

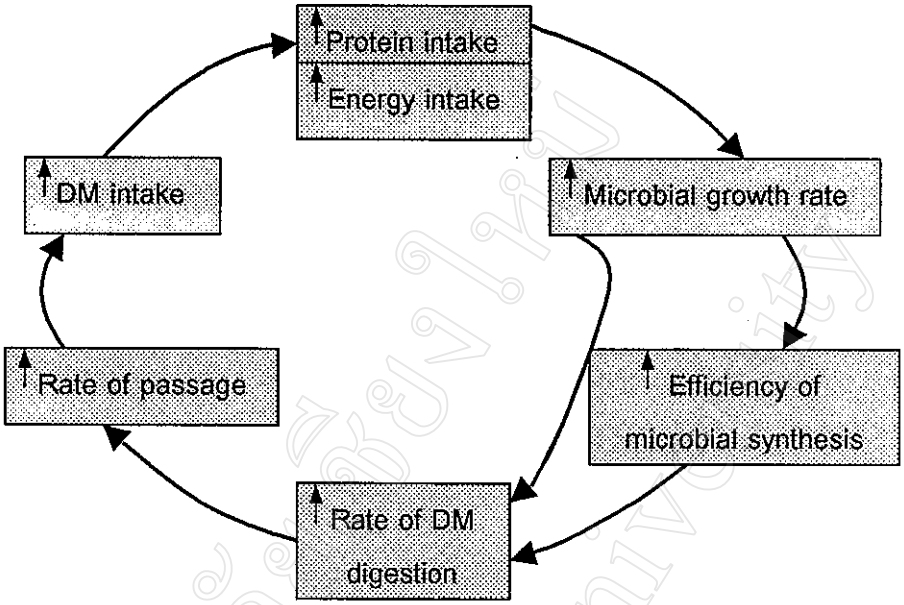
ที่มา: Aston *et al.* (1994)

4.4 ผลของอาหารต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม

นอกจากการรักษาสภาพต่าง ๆ ในกระเพาะรูเมนให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตและการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์จะเป็นสิ่งสำคัญต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องดังได้กล่าวมาแล้ว อาหารที่โคได้รับโดยเฉพาะระดับโภชนะ, อัตราส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบ, ระดับเยื่อใยในอาหาร รวมถึงแหล่งของวัตถุดิบก็มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของโคนมและองค์ประกอบของน้ำนมเช่นเดียวกัน

4.4.1 ระดับโปรตีนในอาหาร

Aston *et al.* (1994) ได้ศึกษาผลของการเสริมโปรตีน 4 ระดับแก่โค Holstein-Friesian ที่ได้รับหญ้าหมักเป็นอาหารหยาบฐานพบว่าการเพิ่มโปรตีนสูงขึ้นมีผลทำให้ผลผลิตของน้ำนมเพิ่มขึ้น (ตาราง 2.15) สอดคล้องกับหลาย ๆ งานทดลองเช่น Sutton *et al.* (1994); Rinne *et al.* (1999); Lees *et al.* (1990) และ Moorby *et al.* (1996) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเหตุผล 2 ประการคือ ประการแรกเป็นการปรับปรุงด้านพลังงานดังที่ Macleod *et al.*(1984) ได้กล่าวว่าเมื่อจุลินทรีย์ในรูเมนได้รับไนโตรเจนเพียงพอแล้วจะสามารถย่อยเยื่อใย และโภชนะอื่นได้ดี ส่งผลให้สัตว์มีการกินอาหารได้สูงขึ้น และได้รับพลังงานมากขึ้น โดยสังเกตได้จากการกินวัตถุแห้งของหญ้าหมัก, การกินได้ของ DE และการกินได้ของ CP ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Nocek and Russell (1988) ได้ให้เหตุผลสนับสนุนผลการทดลองดังกล่าวดังภาพ 2.6 เหตุผลประการสองคือการเสริมโปรตีนทำให้มีกรดอะมิโนไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กมากขึ้น โดยเฉพาะ aspartate และglutamate จะถูกเปลี่ยนเป็น oxaloacetate ซึ่งเป็น intermediate ทั้ง tricarboxylic acid (TCA) cycle และ gluconeogesis ส่งผลให้มีการสังเคราะห์กลูโคสเพื่อเป็นแหล่งพลังงานมากขึ้น (Lees *et al.*, 1990) การที่มีกลูโคสใน mammary gland เพิ่มขึ้นนี้ทำให้มีการสังเคราะห์แลคโตสสูงขึ้น และมีการผลิต glycerol และ NADPH สำหรับการสังเคราะห์ไขมันเพิ่มขึ้น (Metcalf *et al.*, 1994) นอกจากนี้ oxaloacetate ที่เพิ่มขึ้นบางส่วนจะผ่าน TCA cycle เปลี่ยนเป็น acetyl CoA ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนม



ภาพ 2.6 ผลการเสริมโปรตีนต่อการใช้ประโยชน์ของอาหารในรูเมน (Nocek and Russell, 1988)

4.4.2 ระดับและประเภทของคาร์โบไฮเดรตในอาหาร

เนื่องจากว่าคาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์และสัตว์เคี้ยวเอื้อง ดังนั้น VFA ที่เกิดในรูเมนจึงมีผลอย่างมากต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม โดยสูตรอาหารที่มีเยื่อใยสูงจะมีความเข้มข้นของ butyrate และ acetate เพิ่มขึ้นทำให้ acetate/propionate (A/P) มีอัตราสูงขึ้น เป็นสาเหตุให้น้ำนมมีปริมาณไขมันนมสูง แต่ผลผลิตนมลดลง ดังแสดงในตาราง 2.16 ในทางตรงข้ามการเพิ่มคาร์โบไฮเดรตที่หมักย่อยได้ง่ายในรูปของอาหารข้นจะทำให้จุลินทรีย์ประเภทที่ใช้แป้ง (amylolytic bacteria) เจริญเติบโตได้ดี ผลิต propionate ออกมามาก ในขณะที่ cellulolytic bacteria มีกิจกรรมลดลง ทำให้การผลิต acetate และ butyrate มีน้อยลง เป็นเหตุให้อัตราส่วนของ A/P ลดลง ดังจะสังเกตได้จากการทดลองของ Rinne *et al.* (1999) ที่ได้ศึกษาผลของระดับอาหารข้นเป็นแหล่งพลังงานต่อการให้ผลผลิตของโคนมที่ได้รับหญ้าหมักเป็นอาหารหยาบฐานพบว่าเมื่อให้อาหารข้นเพิ่มขึ้นทำให้ β-hydroxy-butyrate มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีการย่อยได้ของ NDF ลดลง ในขณะที่ระดับกลูโคสในเลือดมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นเหตุให้ %ไขมันนมลดลง แต่มี %แลคโตสและผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น (ตาราง 2.17) นอกจากนี้ยังมี %โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่ง %โปรตีนที่เพิ่มขึ้นนี้ Miettinen and Huhtanen (1996) ให้เหตุผลไว้ว่าการที่ propionate เพิ่มขึ้นส่งผลให้การสังเคราะห์กลูโคสมากขึ้น ทำให้ลดการนำกรดอะมิโนเช่น aspartate และ alanine มาใช้ในกระบวนการ glucogenesis จึงเป็นเหตุให้มีกรดอะมิโนเหลือเฟือสร้างโปรตีนในนมเพิ่มขึ้นดังแผนภาพ 2.5

ตาราง 2.16 ผลของระดับเยื่อใยต่อ VFA และผลผลิตนม

Fibre level	TVFA (mM/L)	A/P	(A+B)/P	MY (kg)	FCM (kg)	Milk fat (%)	Roughage	Reference
%NDF								
31	131.9	3.5	3.9	27.0	22.7	2.86	Alfalfa hay	Beauchemin
34	147.6	4.0	4.5	26.8	23.2	3.08		(1991)
37	147.3	4.8	5.4	25.0	22.8	3.30		
%ADF								
21.6	145.0	3.1	3.7				Corn silage	Kung *et al*
19.7	120.0	2.8	3.2					(1992)

ที่มา: Sawal and Kurar (1998)

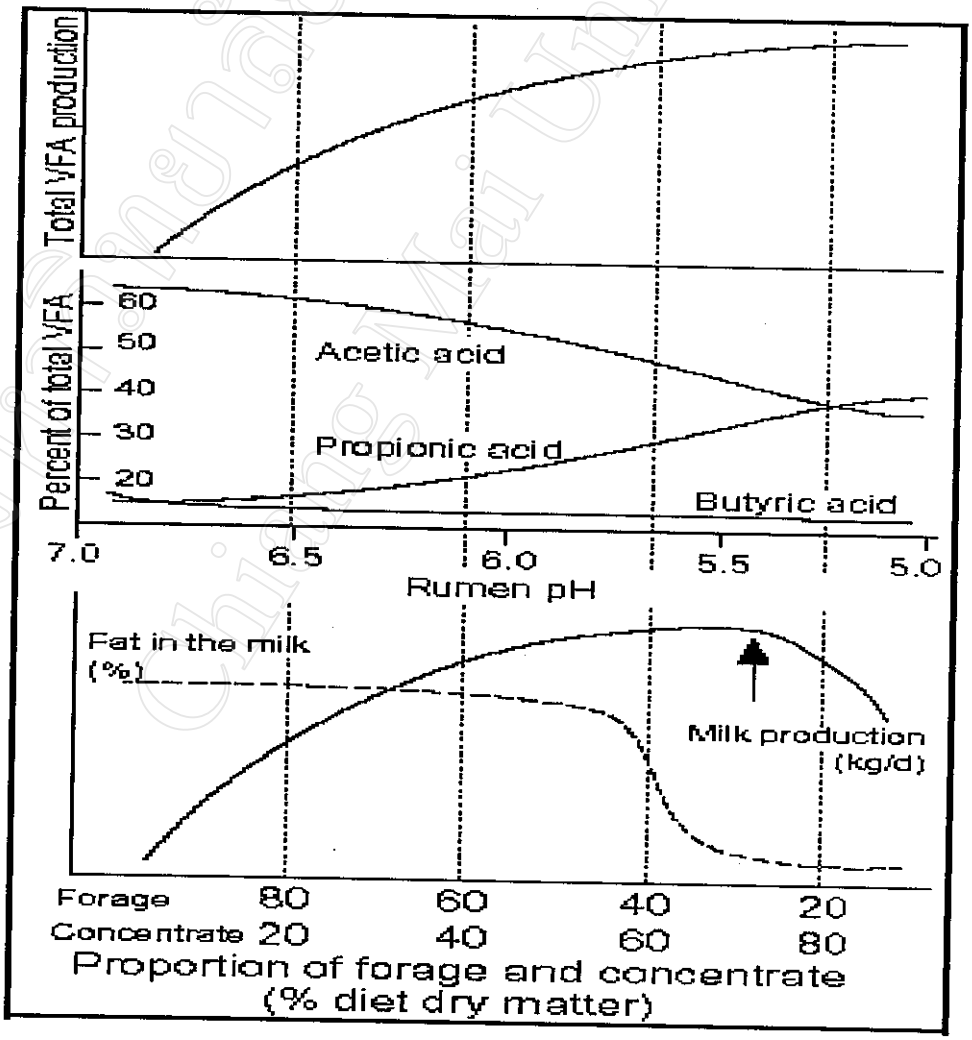
ตาราง 2.17 ผลของระดับอาหารข้นต่อสมรรถภาพการผลิตของโค องค์ประกอบของน้ำนม การย่อยได้ของโภชนะในอาหาร และสารในเลือด

	Concentrate (kg/day)	
	7	10
Animal performance		
Milk yield (kg/day)	25.2[a]	26.5[b]
Energy-corrected milk (kg/day)	28.3[a]	29.7[b]
Protein yield (g/day)	822[a]	885[b]
Fat yield (g/day)	1265	1315
Lactose yield (g/day)	1212[a]	1272[b]
Milk composition (g/kg)		
Protein yield	32.9[a]	33.7[b]
Fat yield	50.5	49.8
Lactose yield	48.1	48.1
Urea (mmol/l)	3.70[a]	3.33[b]
Apparent diet digestibility		
Organic matter	0.763	0.760
Crude protein	0.708	0.702
Neutral detergent fiber	0.715[a]	0.693[b]
Blood metabolites (mmol/l)		
Glucose	2.89	2.96
β-hydroxy-butyrate	1.45	1.39
Urea	3.82[a]	3.44[b]

ที่มา: Rinne *et al.* (1999)

4.4.3 อัตราส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ

การย่อยสลายอาหารข้นโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะได้ propionate เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่การย่อยสลายอาหารหยาบได้ acetate และ butyrate เพิ่มขึ้น ในทางวิชาการแล้ว propionate จะถูกโคดูดซึมไปใช้เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ glucose และ lactose ในน้ำนม ส่วน acetate และ butyrate นั้นถูกโคนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างไขมัน ดังนั้นการเพิ่มสัดส่วนอาหารข้นให้สูงขึ้น จึงทำให้อัตราส่วนของ A/P ลดลง เป็นผลให้ได้ปริมาณน้ำนมสูงขึ้นแต่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันนมลดลง ดังตาราง 2.18 และ 2.19 (Sawal and Kurar ,1998) สอดคล้องกับที่ Wattiaux. (no date) ได้อธิบายไว้ดังภาพ 2.9 นอกจากนี้ยังให้คำแนะนำว่าการใช้อาหารข้นมากเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณน้ำนมลดลงเนื่องมาจากสภาพในรูเมนมี pH ต่ำจนยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์



ภาพ 2.7 Effect of diet composition on ruminal VFA and milk production (Wattiaux.,no date)

ตาราง 2.18 อัตราส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบที่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันระเหยได้

C/R ration	TVFA (mM/L)	A/P	(A+B) P	Constitution of diet	Reference
0.25	83.5	3.6	4.2	Wheat straw as roughage	Goetch and Galyean (1982)
0.75	79.1	3.1	3.7		
0.67	88.9	3.0	3.7	Good quality alfalfa hay as roughage	De Peters and Kesler (1980)
0.80	100.6	3.0	3.7		
1.00	105.1	2.7	3.4		
0.15	78.0	2.7	3.5	Pearl millet silage and rye grass hay as roughage	Chauhan *et al.* (1994)
0.25	84.5	2.3	2.7		
0.50	98.4	1.8	2.5		

ที่มา: Sawal and Kurar (1998)

ตาราง 2.19 อัตราส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบที่มีผลต่อปริมาณน้ำนมและไขมันในน้ำนม

C/R ration	MY (kg)	FCM (kg)	Milk fat (%)	Constitution of diet	Reference
0.50	10.9	11.7	4.46	Wheat straw as roughage	Patel and Sharma (1983)
0.65	11.8	12.4	4.41		
0.525	19.1	17.2	3.32	Wheat straw as roughage	Blair *et al.* (1974)
0.675	20.1	17.0	2.93		
0.825	20.3	15.6	2.51		
0.40	20.4		3.50	Maize based conc. mix.	Flatt *et al.* (1969)
0.60	20.9		3.00		
0.80	18.1		2.70		
0.60	18.9		4.04	Cereal ground maize in conc. mix.	Sutton *et al.* (1980)
0.90	15.6		2.97		

ที่มา: Sawal and Kurar (1998)

4.4.4 ผลของพลังงานและโปรตีน

Sutton *et al.* (1994) ได้ศึกษาผลของระดับพลังงานและโปรตีนในอาหารข้นต่อสมรรถภาพการผลิต โดยโคนมกินหญ้าหมักอย่างเต็มที่ จัดแผนการทดลอง 2x2 factorial arrangement

คือปัจจัยแรกเป็นอาหารข้น 2 ระดับ ปัจจัยสองเป็นโปรตีน 2 ระดับ ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มพลังงานหรือโปรตีนอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองมีผลให้ผลผลิตนมและพลังงานที่ย่อยได้เพิ่มสูงขึ้น ดังตาราง 2.20

ตาราง 2.20 ผลของการให้อาหารข้น 3 หรือ 6 กิโลกรัม และเสริมด้วยโปรตีน 600 หรือ 1200 กรัม/วัน ต่อการกินได้ พลังงานย่อยได้ องค์ประกอบและปริมาณน้ำนมของโคที่ได้รับหญ้าหมักเต็มที่

Dietary treatment	Treatment groups (amount/day)				Main effects	
kg concentrate/g cp	3/600	3/1200	6/600	6/1200	Energy	Protein
Dry matter intake (kg/day)	15.4	16.3	16.7	17.2	**	*
DE intake (MJ/day)	234	243	239	260	*	**
Milk (kg/day)	18.2	21.0	19.7	23.0	**	***
Composition (g/kg)						
Fat	44.1	43.0	47.0	44.8	ns	ns
Protein	33.2	35.4	47.0	44.8	*	***
Lactose	45.6	45.9	46.9	46.5	**	ns

ที่มา: Sutton *et al.* (1994)

5. ความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมลูกผสมขาวดำ

การให้อาหารโคนมที่มีประสิทธิภาพควรคำนึงถึงความสมดุลของโภชนะโดยเฉพาะโปรตีนและพลังงาน ไม่เพียงแต่เพื่อความต้องการของโคเท่านั้น แต่ควรคำนึงถึงความต้องการของจุลินทรีย์ในรูเมนด้วย (Herrera-Saldana *et al.*, 1990) การคำนวณสูตรอาหารที่ถูกต้อง ต้องคำนึงถึงส่วนประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบทั้งอาหารหยาบและอาหารข้น ปริมาณอาหารที่กินได้ ตลอดจนความต้องการของสัตว์ด้วย ในปัจจุบันข้อมูลเหล่านี้มีการวิจัยไว้น้อยมากสำหรับประเทศไทย การอาศัยข้อมูลจากต่างประเทศมักมีจุดอ่อนในแง่ที่พืชอาหารสัตว์ที่ใช้ในประเทศเราต่างจากของต่างประเทศทั้งในแง่ของชนิดและพันธุ์ สภาพดินฟ้าอากาศ การปฏิบัติดูแล อายุการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ตลอดจนตัวสัตว์เองอาจมีความต้องการอาหารต่างกันเนื่องจากเป็นพันธุ์ลูกผสม สภาพของระบบนิเวศน์ในรูเมน (Preston, 1995) การจัดการเลี้ยงดู และสภาพดินฟ้าอากาศ เป็นต้น

สมคิด และบุญล้อม (2540) ได้แนะนำว่าระดับโภชนะที่โคลูกผสมขาวดำให้นมระดับต่ำ (10-14 กก./วัน), ปานกลาง (15-20 กก./วัน) และสูง (21-30 กก./วัน) ต้องการในสูตรอาหารรวม (completed diet) คือควรมีพลังงาน (TDN) ท่ากับ 64, 67 และ 67% และมีโปรตีนเท่ากับ 14, 16 และ 16% ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าระดับที่แนะนำโดย NRC (1988) เล็กน้อย แต่ควรมีเยื่อใยใน

อาหารรวมสูงกว่าข้อแนะนำของ NRC (1988) ส่วนแร่ธาตุ และวิตามินในอาหารรวมนั้นควรเท่ากับที่ NRC (1988) ได้กำหนดไว้ อย่างไรก็ดีการให้สูตรอาหารรวมตามระดับที่กล่าวมา สามารถใช้ได้ดีกับฟาร์มที่มีการจัดการที่ดีเท่านั้น เพราะเมื่อให้โคนมได้รับสูตรอาหารที่มีโปรตีนต่ำกว่า NRC (1988) 9% และมีโภชนะอื่นตรงตามที่ NRC (1988) กำหนด ดังที่ได้แนะนำไว้ พบว่ามีผลผลิตน้ำนมลดลง และการผสมติดมีแนวโน้มลดลง ดังตาราง 2.21 ผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับที่ Preston (1995) ได้ให้คำแนะนำไว้ว่าสัตว์เคี้ยวเอื้องในเขตร้อนไม่มีปัญหาการขาดพลังงานแม้จะได้รับอาหารหยาบที่มีเยื่อใยสูง แต่เนื่องจากองค์ประกอบทางโภชนะมีไม่สูง โดยเฉพาะโปรตีนจึงมักพบเสมอว่าการใช้ประโยชน์ของอาหารมีประสิทธิภาพไม่ดีพอ แต่เมื่อได้รับสูตรอาหารที่มีความสมดุล (balancing nutrient) ก็สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ แต่ในเรื่องสัดส่วนของโปรตีนต่อหน่วยพลังงานนั้นพบว่าสัตว์เคี้ยวเอื้องเขตร้อนมีความต้องการสูงกว่าสัตว์ในเขตหนาว ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าโคนมในประเทศไทยมีความต้องการพลังงานเท่ากับที่ NRC (1988) กำหนด แต่อาจต้องการโปรตีนมากกว่าหรือเท่ากับที่ NRC (1988) ได้แนะนำไว้

ตาราง 2.21 ปริมาณน้ำนมดิบ (กก.ต่อตัวต่อวัน) ของฝูงโครีดนม 1450 ตัว ที่ได้รับอาหารหยาบคุณภาพดี[A]เป็นหลัก เสริมด้วยอาหารข้นซึ่งมีโปรตีน 20 % และโปรตีน 18 %

หลังจากเริ่มใช้เดือน	อาหารข้นโปรตีน 20 %	อาหารข้นโปรตีน 18 %
1	13.84	13.09
2	14.27	12.54
3	14.17	12.61
4	14.41	12.90
ค่าเฉลี่ย ± SD	14.2 ±0.24	12.8 ±0.26

หมายเหตุ A = ต้นข้าวโพดสดทั้งต้น, ต้นข้าวโพดหมัก, หญ้ารูซี่แห้ง ปริมาณ 15:10:1 กก./ตัว/วัน

ที่มา : Promma *et.al* (1998a)

อย่างไรก็ตามมีผู้ศึกษาหาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมลูกผสมขาวดำไว้บ้าง โดยศึกษา 2 ปัจจัยเป็น 2 x 2 factorial arrangement โดยปัจจัยหนึ่งคือพลังงาน และอีกปัจจัยหนึ่งคือโปรตีน ภายใต้สภาพภูมิอากาศและใช้อาหารหยาบในประเทศไทย ดังที่รัชนีกรและวิศิษฐิพร (2544) ใช้ซานอ้อยปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซม์เป็นอาหารหยาบหลัก และกังวานและคณะ (2544) ใช้หญ้าอุบลพาสพาลัมหมักเป็นอาหารหยาบหลัก ตลอดจนเกียรติศักดิ์และวิศิษฐิพร (2544) ใช้ฟางข้าวหมักด้วยยูเรียเป็นอาหารหยาบหลัก ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตาราง 2.22 จะเห็นได้ว่าโดยสรุปแล้วพลังงานและโปรตีนไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน

เมื่อพิจารณาแยกเป็นแต่ละปัจจัยพบว่าการเพิ่มพลังงานมากกว่าที่ NRC กำหนด (1.1 หรือ 1.2 เท่า) ทำให้ปริมาณและองค์ประกอบของนมมีแนวโน้มลดลง ผลดังกล่าวขัดแย้งกับการทดลองของ Gaynor *et al.* (1995) ที่ได้ให้เหตุผลว่าโคที่ได้รับพลังงานสูงขึ้น จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมีการย่อยสลายอาหารดีขึ้น เกิดกรดไขมันระเหยได้และผลผลิตน้ำนมมากขึ้น ความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากความต้องการของสัตว์ สภาพภูมิอากาศ และคุณค่าโภชนะของวัตถุดิบ โดยเฉพาะวัตถุดิบน่าจะเป็นเหตุผลที่เป็นไปได้กล่าวคืออาหารหยาบที่ใช้มีคุณภาพปานกลาง การเพิ่มพลังงานมากกว่าที่ NRC กำหนดสำหรับโคที่ให้นม 12 –15 กิโลกรัมต่อวัน นั้นจำเป็นต้องใช้อาหารข้นมาก ด้วยเหตุนี้อาจจะเป็นไปได้ที่ว่าสภาพรูเมนมีความเป็นกรดสูง ทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้ไม่ดี ซึ่งจะสังเกตได้จากงานทดลองของรัชนีกรและวิศิษฐิพร (2544) สอดคล้องกับกังวานและคณะ (2544) แต่ขัดแย้งกับเกียรติศักดิ์และวิศิษฐิพร (2544) ที่ทดลองกับโคที่ให้นม 6–9 กิโลกรัมต่อวัน

ส่วนการเพิ่มโปรตีนมากกว่า NRC ทำให้ปริมาณและองค์ประกอบนมมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากว่าโคนมลูกผสมมีความต้องการโปรตีนเท่าที่ NRC กำหนด การเพิ่มโปรตีนมากเกินทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานสำหรับโคนมลดลง ผลการทดลองดังกล่าวขัดแย้งกับงานวิจัยของ Promma *et al.* (1998) และ Rinne *et al.* (1999) ซึ่ง Nocek and Russell (1988) และ Lee *et al.* (1990) ได้ให้เหตุผลว่าการเพิ่มโปรตีนทำให้จุลินทรีย์มีแหล่งไนโตรเจนเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต และมีการย่อยอาหารดีขึ้น ส่งผลให้สัตว์ได้รับพลังงานและการกินได้สูงขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้กรดอะมิโนไหลผ่านไปยังลำไส้มากขึ้น สัตว์ได้รับกรดอะมิโนสูงขึ้นด้วย

ตาราง 2.22 ความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมลูกผสมขาวดำโดยใช้อาหารหยาบหลักชนิดต่าง ๆ

Roughage	Performance	Energy		Protein		Energy		Protein		Energy		Protein	
	Kg/day	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.0	1.2	1.0	1.2
NaOH treated	Milk	13.0	14.1	13.8	13.3	12.1	11.3	12.2	11.1	-	-	-	-
bagasse	Fat	.557	.576	.582	.551	.543	.518	.572	.489	-	-	-	-
รัชนีกรและวิศิษฐิพร	CP	.408	.437	.428	.417	.387	.376	.396	.367	-	-	-	-
(2544)	SNF	1.119	1.218	1.160	1.177	1.043	.985	1.066	.961	-	-	-	-
Ubon paspalum	Milk	-	-	-	-	-	-	-	-	11.92	11.64	11.99	11.57
Grass silage	Fat	-	-	-	-	-	-	-	-	0.53	0.51	0.53	0.51
กังวานและคณะ	CP	-	-	-	-	-	-	-	-	0.42	0.41	0.42	0.41
(2544)	Lactose	-	-	-	-	-	-	-	-	0.58	0.56	0.59	0.55
	SNF	-	-	-	-	-	-	-	-	1.09	1.06	1.10	1.05
Urea treated	Milk	8.26	9.38	8.76	8.90	6.86	8.24	8.09	7.00	-	-	-	-
Rice straw	Fat	0.34	0.40	0.37	0.37	0.31	0.32	0.33	0.29	-	-	-	-
เกียรติศักดิ์และวิศิษฐิพร	Cp	0.27	0.30	0.28	0.28	0.21	0.25	0.24	0.22	-	-	-	-
(2544)	SNF	0.69	0.80	0.75	0.74	0.54	0.61	0.58	0.57	-	-	-	-

หมายเหตุ: 0.9, 1.1 และ1.2 คือ การปรับระดับพลังงานและโปรตีนผันแปรตาม NRC (1.0)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University