บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

การผลิตเหล้ากลั่น

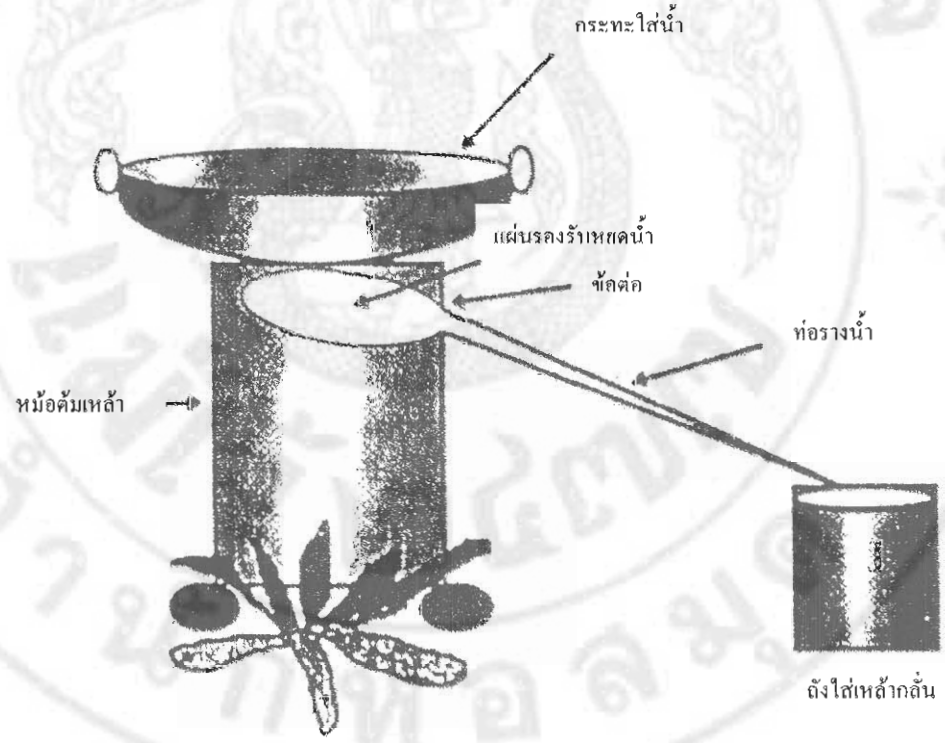
เหล้ากลั่นหรือเหล้าต้มคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นสาโทด้วยอุปกรณ์ง่าย ๆ ในท้องถิ่น หรืออาจกล่าวได้ว่าเหล้ากลั่นคือเหล้าอื่น ๆ ที่สามารถผลิตได้จากการหมักผลผลิตทางการเกษตรได้เกือบทุกชนิด ทั้งข้าวเหนียว ข้าวเจ้าและข้าวโพด แม้กระทั่งผลไม้ เช่น เหล้ากล้วยน้ำว้าและเหล้าลำไย เป็นต้น ในบางพื้นที่จะมีสูตรเฉพาะในการทำลูกแป้งเหล้าที่ใช้ทำเหล้ากลั่น ซึ่งไม่ได้นำไปทำเป็นสาโท เช่น เหล้าต้มของคนปกากะญอ เหล้าข้าวโพดของชนเผ่าม้ง เหล้ากลั่นผลไม้ของคนภาคใต้ และเหล้าข้าวเจ้าของคนภาคกลาง เป็นต้น เหล้ากลั่นจะมีลักษณะเป็นของเหลวใสคล้ายน้ำดื่ม น้ำกรอง หรือน้ำกลั่น มีแอลกอฮอล์ตั้งแต่ 30-70 ดีกรี มีรสร้อนแต่ออกหวานเล็กน้อยและจะมีกลิ่นหอมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ถ้าผลิตจากข้าวจะมีกลิ่นหอมของข้าวแต่ละชนิด ถ้าผลิตจากผลไม้ก็จะมีกลิ่นหอมของผลไม้แต่ละชนิดที่ใช้ในการหมัก ปกติมีแรงแอลกอฮอล์ 35-70 ดีกรี บางแห่งแอลกอฮอล์อาจแรงมากจนจุดติดไฟได้

กรรมวิธีการกลั่นเหล้าแบบชาวบ้านต้องใช้อุปกรณ์ในการกลั่นเหล้าที่ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. หม้อต้มเหล้า ต้องใช้ถังสแตนเลสที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ซึ่งมีหลายขนาดตั้งแต่ 40-100 ลิตร ใช้ใส่น้ำสาโทหรือน้ำเหล้าหมักอื่น ๆ
2. กระทะ ทำจากเหล็กหล่อ ใช้สำหรับใส่น้ำเย็นวางไว้บนหม้อต้มเหล้า เพื่อให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดเหล้า
3. แผ่นรองรับหยดน้ำ มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายจานรูปวงรี ทำจากสแตนเลสหรือไม้ มีขอบสูงขึ้นมาปลายด้านหนึ่งแหลม เพื่อเสียบเข้ากับข้อต่อที่เชื่อมติดกับถังเหล้า ทำหน้าที่รองรับหยดน้ำให้ไหลรวมผ่านท่อรางน้ำไปสู่ภาชนะรองรับเหล้ากลั่น
4. ข้อต่อ เป็นท่อเล็ก ๆ เชื่อมติดกับตัวหม้อต้มเหล้า ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างแผ่นรองรับหยดน้ำกับท่อรางน้ำ มีรูปร่างเหมือนกรวย ด้านที่เสียบกับแผ่นรองรับหยดน้ำจะมีขนาดใหญ่กว่าด้านที่เสียบกับท่อรางน้ำ
5. ท่อรางน้ำ เป็นท่อกลม ๆ มีรูต่อจากแผ่นรองรับหยดน้ำไปสู่ถังใส่เหล้ากลั่น ยาวประมาณ 1 เมตร ส่วนใหญ่ทำด้วยไม้ไผ่

6. ภาชนะรองรับเหล้ากลั่น ต้องมีความทนความร้อน มักใช้ขวดแก้ว ไห หรือถังที่ทนความร้อน

วิธีการกลั่นเหล้าพื้นบ้าน เริ่มจากการนำน้ำเหล้าที่หมักไว้ใส่ลงไปในถัง ให้ระดับน้ำเหล้าต่ำกว่าหนึ่งคืบจากปากข้อต่อ ถ้าเป็นสาโทแล้ว ให้เอาสาโทใส่ผ้าขาวบางมัดขึงไว้เหนือน้ำหมักเหล้า จากนั้นนำกระทะวางไว้ปิดปากถังต้มเหล้า หลังจากนั้นใส่น้ำให้เต็ม และเริ่มทำการต้ม เมื่อน้ำหมักเหล้าเริ่มเดือดจะเกิดไอระเหยลอยขึ้นไปกระทบกับก้นกระทะที่มีความเย็น ไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ หยดลงมาที่แผ่นรองรับหยดน้ำแล้วไหลผ่านปากข้อต่อไปสู่ท่อรางน้ำ ซึ่งไหลไปสู่ภาชนะบรรจุรองรับเหล้า ต้องคอยหมั่นคอยเปลี่ยนน้ำในกระทะอย่าให้ร้อน เพราะไอน้ำจะไม่กลั่นตัวถ้ากระทะไม่เย็นพอ กระบวนการผลิตเหล้ากลั่นแสดงในภาพ 1 (สุพัฒน์ และกำพล, 2545)



ภาพ 1 กระบวนการผลิตเหล้ากลั่น

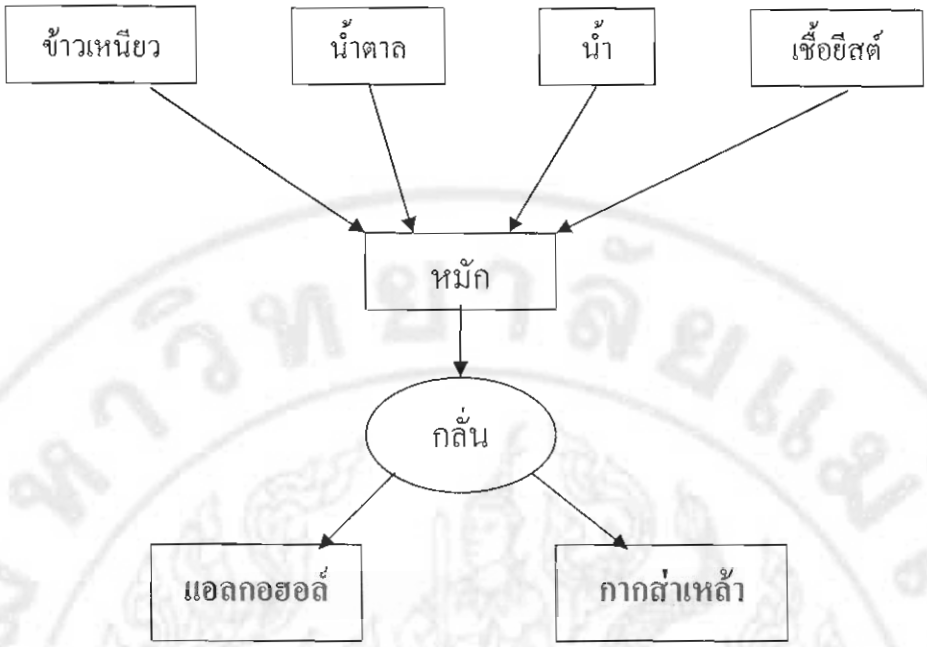
ที่มา : สุพัฒน์ และกำพล (2545)

พฤหัส (2529) กล่าวว่า การผลิตเหล้ากลั่นเป็นกรรมวิธีที่เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ จะใช้วัตถุดิบพวกข้าว แป้ง หรือพวกผลไม้ ซึ่งหมายความว่าจะต้องเปลี่ยนจากแป้งให้เป็นน้ำตาล และเปลี่ยนจากน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์อีกทีหนึ่ง โดยทั่วไปในการผลิตแอลกอฮอล์จะมีขบวนการแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. แซ็คคาริฟิเคชั่น (saccharification) คือ ขบวนการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลโดยอาศัยเชื้อรา 2 สกุล คือ *Aspergillus oryzae* และ *Mucor oryzea* เชื้อราทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถผลิตน้ำย่อย (enzyme) ที่ย่อยแป้ง เพื่อเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลได้

2. เฟอร์เมนเตชั่น (fermentation) คือ ขบวนการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์ ที่ผลิตน้ำย่อยสำหรับการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ หากวัตถุดิบที่ใช้เริ่มต้นเป็นน้ำตาลอยู่แล้วก็จะเข้าสู่ขบวนการผลิตโดยวิธีนี้ได้เลย

จากขบวนการผลิตเหล้ากลั่นจะได้ส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือส่วนที่ระเหยน้ำได้ เช่น แอลกอฮอล์ น้ำ เอสเทอร์ อัลดีไฮด์ กรดน้ำส้ม และส่วนที่ระเหยไม่ได้ ซึ่งเป็นของแข็งได้แก่ ตัวยีสต์ เชื้อรา โปรตีน กลีเซอรอล และกรดแลคติค เป็นต้น ในการกลั่นเหล้าจากข้าวเหนียว ต้องนึ่งข้าวเหนียวก่อน เพื่อให้แป้งในข้าวเหนียวเปลี่ยนเป็นแป้งที่ละลายน้ำได้ (soluble starch) จากนั้นเชื้อราจึงไปเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลได้ เมื่อแป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาลแล้ว จึงเกิดขบวนการหมักโดยยีสต์ต่อไป จากนั้นเมื่อนำเอาไปกลั่นก็จะได้เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นส่วนที่ระเหยได้ และส่วนที่เรียกว่ากากส่าเหล้าซึ่งคือส่วนที่ระเหยไม่ได้นั่นเอง แผนภูมิในการผลิตเหล้าดังแสดงในภาพ 2



ภาพ 2 แสดงกรรมวิธีการผลิตเหล้ากลั่น

ที่มา : ดัดแปลงจาก พฤหัส (2529) และ Morris and Bryce (2000)

จากการที่รัฐบาลไทยได้มีประกาศอนุญาตให้ประชาชนผลิตเหล้ากลั่นหรือสุรากลั่นได้เอง โดยไม่ผิดกฎหมาย โดยมีการเก็บภาษีอากรการผลิตอย่างถูกต้องตามกฎหมาย ปัจจุบันจะเห็นได้ว่ามีจำนวนผู้ผลิตสุรากลั่นทั้งที่เป็นผู้ผลิตรายย่อยและชุมชนสูงขึ้น ซึ่งกรมสรรพสามิต (2547) ได้รายงานตามประกาศกระทรวงการคลังเรื่องวิธีการบริหารสุรา พ.ศ. 2546 (ฉบับที่ 4) พบว่าระหว่างวันที่ 21 มกราคม 2546 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2547 มีจำนวนผู้ได้รับอนุญาตทั้งสิ้น 5,363 ราย ดังแสดงในตาราง 1 เมื่อประชาชนผลิตเหล้าได้เองโดยไม่ผิดกฎหมาย เศษเหลือจากการกลั่นเหล้าจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ตาราง 1 จำนวนผู้ที่ได้รับอนุญาตให้ทำและขายสุรากลั่นชุมชนตั้งแต่วันที่ 21 มกราคม 2546 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2547

ภาคที่ 1	จำนวน (ราย)	ภาคที่ 2	จำนวน (ราย)	ภาคที่ 3	จำนวน (ราย)	ภาคที่ 4	จำนวน (ราย)	ภาคที่ 5	จำนวน (ราย)
ชัยนาท	5	ชลบุรี	3	นครราชสีมา	370	อุดรธานี	73	เชียงใหม่	254
นนทบุรี	1	ฉะเชิงเทรา	9	ชัยภูมิ	47	หนองคาย	71	ลำพูน	100
ปทุมธานี	3	ปราจีนบุรี	5	บุรีรัมย์	110	หนองบัวลำภู	35	ลำปาง	562
ลพบุรี	32	ระยอง	19	สุรินทร์	104	นครพนม	42	แพร่	478
สระบุรี	11	จันทบุรี	37	ศรีสะเกษ	97	มุกดาหาร	13	น่าน	353
สิงห์บุรี	7	ตราด	18	อุบลราชธานี	181	สกลนคร	39	อุตรดิตถ์	124
อ่างทอง	15	สมุทรปราการ	8	ยโสธร	44	ขอนแก่น	82	พะเยา	247
พระนครศรีอยุธยา	6	สระแก้ว	16	อำนาจเจริญ	43	กาฬสินธุ์	48	เชียงราย	323
		นครนายก	9	ร้อยเอ็ด	66	มหาสารคาม	39	แม่ฮ่องสอน	67
						เลย	72		
รวม	80		124		1,062		514		2,508

ภาคที่6	จำนวน (ราย)	ภาคที่ 7	จำนวน (ราย)	ภาคที่ 8	จำนวน (ราย)	ภาคที่ 9	จำนวน (ราย)	สรุปภาค	จำนวน (ราย)
พิษณุโลก	173	นครปฐม	4	กระบี่	7	สงขลา	36	ภาคที่ 1	80
กำแพงเพชร	79	ราชบุรี	24	ชุมพร	38	ตรัง	26	ภาคที่ 2	124
ตาก	130	กาญจนบุรี	19	พังงา	5	พัทลุง	49	ภาคที่ 3	1,062
นครสวรรค์	40	เพชรบุรี	9	ภูเก็ต	0	สตูล	7	ภาคที่ 4	514
พิจิตร	34	สมุทรสงคราม	3	ระนอง	1	ยะลา	3	ภาคที่ 5	2,508
เพชรบูรณ์	80	สมุทรสาคร	7	สุราษฎร์ธานี	54	ปัตตานี	3	ภาคที่ 6	633
สุโขทัย	85	สุพรรณบุรี	16	นครศรีธรรมราช	99	นราธิวาส	12	ภาคที่ 7	95
อุทัยธานี	12	ประจวบคีรีขันธ์	13					ภาคที่ 8	204
								ภาคที่ 9	136
								กรุงเทพมหานคร	5
รวม	633		95		204		136		5,361

ที่มา : กรมสรรพสามิต (2547)

องค์ประกอบทางเคมีของกากส่าเหล้า

ธวัชชัย และคณะ (2545) กล่าวว่า กากส่าเหล้าเป็นวัสดุเศษเหลือที่สำคัญจากการผลิตเหล้ากลั่น มีคุณสมบัติทางเคมีประกอบด้วยค่า BOD 35,000-40,000 มิลลิกรัม/ลิตร ไนโตรเจน (N) 1,500-2,000 มิลลิกรัม/ลิตร โพแทสเซียม (K) 2,500-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณของของแข็งทั้งหมด (total solid) เท่ากับ 80,000-120,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของของแข็งที่แขวนลอย (total suspended solids) 22,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total dissolved solid) 17,000 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ประมาณ 3.2 กากส่าเหล้าขณะออกจากกระบวนการผลิตจะมีอุณหภูมิประมาณ 95 องศาเซลเซียส

กากส่าเหล้าจากโรงงานกลั่นเหล้าที่ผลิตเป็นอุตสาหกรรม มักประสบปัญหาด้านการบำบัดของเสีย เนื่องจากกากส่าเหล้าที่ผลิตจากกากน้ำตาลมีลักษณะเป็นของเหลว มีวัตถุแห้งต่ำ และมีปริมาณมาก เมื่อทิ้งไว้นาน ๆ จะมีกลิ่นเหม็น ซึ่งส่งกลิ่นรบกวนผู้อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงกับโรงงาน ลักษณะการบำบัดกากส่าเหล้าของโรงงานโดยทั่วไป ได้แก่การนำไปทำปุ๋ย หรือนำไปราดถนนเพื่อป้องกันฝุ่น เนื่องจากกากส่าเหล้ามีจำนวนมาก โรงงานบางแห่งจึงได้มีการปล่อยกากส่าเหล้าลงแหล่งน้ำในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งจะมีผลให้ แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสีย และสัตว์น้ำตาย ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำตามมา (ธวัชชัย และคณะ, 2545) กากส่าเหล้าที่ผลิตจากข้าวเหนียวเป็นเศษเหลือที่ยากที่จะกำจัดได้เช่นกัน หากมีการผลิตเหล้าในปริมาณมากและไม่มีแนวทางหรือแผนการในการกำจัดที่ดี (Yang, 1998) กากส่าเหล้าที่ผลิตจากข้าวหรือเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ จะมีคุณค่าทางอาหารและปริมาณกรดอะมิโนแตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

ตาราง 2 คุณค่าทางอาหารของกากส่าเหล้าชนิดต่าง ๆ เทียบจากวัตถุแห้ง

คุณค่าทางอาหาร	ชนิดของกากส่าเหล้า							
	DDG[1]	WDG[2]	WBDG[3]	DWG[4]	DTS[4]	MDG[5]	DRDG[6]	DSWL[7]
โปรตีน	31.42	27.90	15.42	25.00	16.80	30.07	19.90	57.62
เยื่อใย	-	7.60	-	-	-	-	21.99	16.16
NDF	32.32	34.70	79.20	39.40	11.70	50.55	53.19	-
ADF	21.56	18.70	31.08	-	-	25.33	42.08	-
ADL	-	1.45	8.81	-	-	6.85	-	-
ไขมัน	13.64	12.60	5.98	13.70	8.10	9.47	31.95	9.42
เถ้า	5.08	5.40	4.15	1.40	5.90	5.46	1.56	2.42
แคลเซียม	-	0.22	-	-	-	-	0.15	0.09
โพแทสเซียม	-	0.38	-	-	-	-	0.26	0.35

DDG (Distillers' dried grains) คือ กากส่าเหล้าจากเมล็ดธัญพืช, WDG (Wheat distillers' grains) คือ กากส่าเหล้าจากเมล็ดข้าวสาลี, WBDG (Wet barley-based distillers) คือ กากส่าเหล้าเปียกจากข้าวบาร์เลย์, DWG (Distillers wet grains) คือ กากส่าเหล้าเปียกจากเมล็ดธัญพืช, DTS (Distillers thin stillage) คือ กากส่าเหล้าจากข้าว, MDG (Maize distillers grains) คือ กากส่าเหล้าจากเมล็ดข้าวโพด, DRDG (Dried rice distillers' grains) คือ กากส่าเหล้าแห้งจากข้าว, DSWL (Dried spent wash liquor) คือ กากส่าเหล้าแห้งจากข้าวเหนียว, NDF (Netrul detergent fiber) คือ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง, ADF (Acid detergent fiber) คือ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด, ADL (Acid detergent lignin) คือ ลิกนิน

ที่มา : คัดแปลงจาก [1]Getachew *et al.* (2004) ; [2]Hill (2002) ; [3]Mustafa *et al.* (2000) ; [4]Klopfenstein (1996) ; [5]Woods *et al.* (2003a) ; [6]Huang *et al.* (1999) ; [7]ธวัชชัย และคณะ (2545)

ตาราง 3 องค์ประกอบทางเคมีของกากส่าเหล้าที่ได้จากการกลั่นเหล้าด้วยข้าวสาลี

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
ค่า pH	3.5
แป้ง (Residual starch; w/v)	0.1%
น้ำตาลรวม (Total sugar; w/v)	0.26%
ฟอสเฟตรวม (Total phosphates; mg/l)	128.65
กรดรวม (Total acids; g/100ml)	0.334
กรดอะมิโนรวม (Total amino acid; g/100ml)	0.076
COD[1] (ppm)	50,920
BOD[2] (ppm)	25,000

[1] COD (chemical oxygen dissolve) [2]BOD (biochemical oxygen dissolve)

ที่มา : Yang (1998)

ตาราง 4 กรดอะมิโนในกากส่าเหล้าชนิดต่าง ๆ

กรดอะมิโน (%)	กากส่าเหล้าที่ผลิตจาก			
	ข้าวบาร์เล่ย์ [1]	เมล็ดธัญพืช [1]	ข้าวเหนียว [2]	กากน้ำตาล [3]
กรดอะมิโนที่จำเป็น				
Arginine	7.71	6.17	6.77	0.39
Histidine	2.80	2.68	1.95	0.14
Isoleucine	4.16	4.18	3.51	0.44
Leucine	8.00	7.18	6.99	0.68
Lysine	5.28	4.19	3.25	0.32
Methionine	2.02	2.06	2.01	0.21
Phenylalanine	5.08	4.79	4.67	0.46
Threonine	4.43	3.84	3.05	0.40
Tryptophan	1.22	0.96	1.75	-
Valine	6.24	5.91	4.52	0.57
กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น				
Alanine	6.14	5.21	4.81	0.75
Aspartic acid	8.50	7.36	7.34	1.03
Cystine	-	-	2.10	0.25
Glutamic acid	18.40	24.31	15.07	1.46
Glycine	6.03	5.18	3.64	0.40
Proline	6.61	8.47	2.61	0.34
Serine	5.01	4.77	4.25	0.42
Tyrosine	-	-	4.46	0.08

ที่มา : ดัดแปลงจาก [1]Mustafa *et al.* (2000) ; [2]ธวัชชัย และคณะ (2545) ; [3]นาม และอภิชัย (2533)

การใช้กากส่าเหล้าเป็นอาหารสัตว์

นาม และอภิชัย (2533) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของส่าเหล้าแห้งที่เป็นเศษเหลือจากโรงงานสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในอาหารสุกร โดยใช้สุกรเพศผู้พันธุ์ลาร์จไวท์ 12 ตัวเลี้ยงในกรงหาการย่อยได้ (metabolism cage) ตั้งแต่น้ำหนักเฉลี่ย 18.70 กิโลกรัม (12.50-23.50 กิโลกรัม) หรือมีอายุเฉลี่ย 80 วัน (67-88 วัน) ไปจนถึงน้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม โดยใช้อาหารทดลองที่มีกากส่าเหล้าแห้งผสมอยู่ในระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ผลการย่อยได้ของอาหารทดลองปรากฏว่า เมื่อใช้ส่าเหล้าแห้งในอาหารระดับสูงขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของอาหารลดลง ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การย่อยได้มีความแตกต่างกับสุกรเปรียบเทียบเมื่อสุกรน้ำหนัก 25 กิโลกรัม แต่เมื่อสุกรน้ำหนัก 80 กิโลกรัม การย่อยได้ของอาหารไม่แตกต่างกัน การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานลดลง โดยเฉพาะเมื่อใช้ส่าเหล้าแห้งในสูตรอาหารตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป แต่การใช้กากส่าเหล้าจะให้ผลดีในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ จากการประเมินโดยการคำนวณพบว่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของส่าเหล้าแห้งในอาหารสุกรระยะ 25 และ 80 กิโลกรัม มีค่าเป็น 2,255 และ 2,581 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัมตามลำดับ การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน (biological value : B.V.) ในอาหารทดลองที่มีส่าเหล้าแห้งระดับสูงขึ้น จะทำให้การย่อยได้ของโปรตีนรวมลดลงและแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ใช้อย่างมาก ยกเว้นในสูตรอาหารที่มีส่าเหล้าแห้งในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรน้ำหนัก 80 กิโลกรัม การย่อยได้ของโปรตีนไม่แตกต่างกัน ส่วนค่า B.V. ในอาหารทดลองทุกสูตรไม่แตกต่างกันตลอดการทดลอง และมีแนวโน้มว่าค่าการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้ส่าเหล้าแห้งในระดับสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในส่าเหล้าแห้งมีไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้การย่อยได้ของโปรตีนในอาหารต่ำลง แต่พวกที่เป็นไนโตรเจนในโปรตีนซึ่งสุกรย่อยได้ซึ่งเป็นโปรตีนจากยีสต์ที่มีคุณภาพสูง จะทำให้ค่า B.V. ของอาหารที่มีส่าเหล้าแห้งผสมอยู่มีระดับสูงขึ้น ดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 แสดงอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร

ลักษณะ	น้ำหนักสุกร (กก.)	ระดับส่าเหล้าแห้ง (%)			
		0	10	20	30
อัตราการเจริญเติบโต	18-60	673	678	665	662
(กรัม/วัน)	18-80	750	708	709	644
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	18-60	2.77	2.72	2.76	2.96
(กก.ของอาหาร/น้ำหนักตัว 1 กก.)	18-80	2.68	2.83	2.82	3.10

ที่มา : นาม และอภิชัย (2533)

กากส่าเหล้าเป็นสารอินทรีย์ที่ปราศจากพิษหรือโลหะหนักใด ๆ อีกทั้งยังผ่านขั้นตอนการฆ่าเชื้อมาแล้วด้วยอุณหภูมิสูงเกือบ 100 องศาเซลเซียส จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาแปรรูปหรือใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารสัตว์ เนื่องจากกากส่าเหล้ามีคุณค่าทางโภชนะค่อนข้างสูงและมีปริมาณกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณค่า จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านปศุสัตว์ โดยการนำมาเป็นวัตถุดิบแหล่งโปรตีนอีกชนิดหนึ่ง จากการศึกษาการใช้กากส่าเหล้าแห้งเป็นแหล่งโปรตีนรวมในอาหารนกกระทาเนื้อ โดยใช้อาหารทดลองที่ผสมกากส่าเหล้าแห้งในระดับ 0, 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงนกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้อายุ 25 วัน จำนวน 400 ตัว โดยใช้เวลาการทดลองทั้งสิ้น 20 วัน ตามแผนการทดลองแบบ RCBD พบว่านกกระทาเพศผู้ที่ได้รับอาหารทดลอง 5 สูตร มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวันเท่ากับ 2.17, 2.31, 2.12, 2.07 และ 2.06 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ อัตราแลกเปลี่ยนอาหารเท่ากับ 6.59, 6.47, 6.61, 6.68 และ 6.69 ตามลำดับ อัตราการตายเท่ากับ 2.38, 2.50, 3.25, 3.40 และ 3.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ค่าเฉลี่ยปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวันมีค่าเท่ากับ 14.31, 14.94, 14.02, 13.82 และ 13.79 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับ 55.49, 51.89, 50.57, 48.96 และ 46.83 บาท ตามลำดับ และน้ำหนักเครื่องในมีค่าเท่ากับ 13.89, 13.81, 12.74, 12.16 และ 11.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยนกกระทาเนื้อกลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองผสมกากส่าเหล้าแห้ง 5 เปอร์เซ็นต์ มีสมรรถภาพการผลิตโดยรวมดีกว่ากลุ่มอื่น แต่ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนต่ำที่สุด (ธวัชชัย และคณะ, 2545)

สำหรับการทดลองใช้กากส่าเหล้าในอาหารโคนม Huang *et al.* (1999) รายงานจากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของกากส่าเหล้า พบว่ามีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะค่าเฉลี่ยโปรตีนซึ่งเป็นโปรตีนไหลผ่านที่ดี นอกจากนี้ยังพบว่ามีเยื่อใยและไขมันที่มีคุณค่าทางอาหารสูงเพียงพอที่จะใช้เป็นอาหารเลี้ยงโคนมและโคเนื้อได้ สอดคล้องกับรายงานของ Hedqvist and Uden (2006) ที่รายงานว่า กากส่าเหล้าที่ได้จากการกลั่นเหล้าจากข้าวสาลีจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ย 6 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนไนโตรเจน 22 เปอร์เซ็นต์ เปปไทด์ไนโตรเจน 49.6 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโนไนโตรเจน 1.3 เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนียไนโตรเจน 3.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Huang *et al.* (1999) ได้ศึกษาการใช้กากส่าเหล้าเป็นส่วนประกอบในอาหารผสมสำเร็จรูป (total mix ration; TMR) เลี้ยงโครีดนม จำนวน 24 ตัว โดยใช้กากส่าเหล้าที่ได้จากการกลั่นเหล้าจากข้าวสาลี ซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือที่สำคัญจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตเหล้าในประเทศไต้หวัน โดยใช้กากส่าเหล้าเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญในระดับ 0, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ผสมร่วมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ คือข้าวโพดหมัก ฟางข้าวโอ๊ต ถั่วเหลืองไขมันเต็ม กากถั่วเหลือง และข้าวโพด

จากการศึกษาพบว่าว่าสัตว์กินอาหารได้น้อยลงเมื่ออาหารมีกากส่าเหล้ามากขึ้น ซึ่งมีผลให้ปริมาณน้ำนมที่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เป็นผลเนื่องมาจากการกินอาหารที่ลดลง นอกจากนี้ระดับกากส่าเหล้าที่สูงขึ้นยังทำให้ไขมันในน้ำนมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ด้วย แต่ค่าเฉลี่ยโปรตีนในน้ำนมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตาราง 6

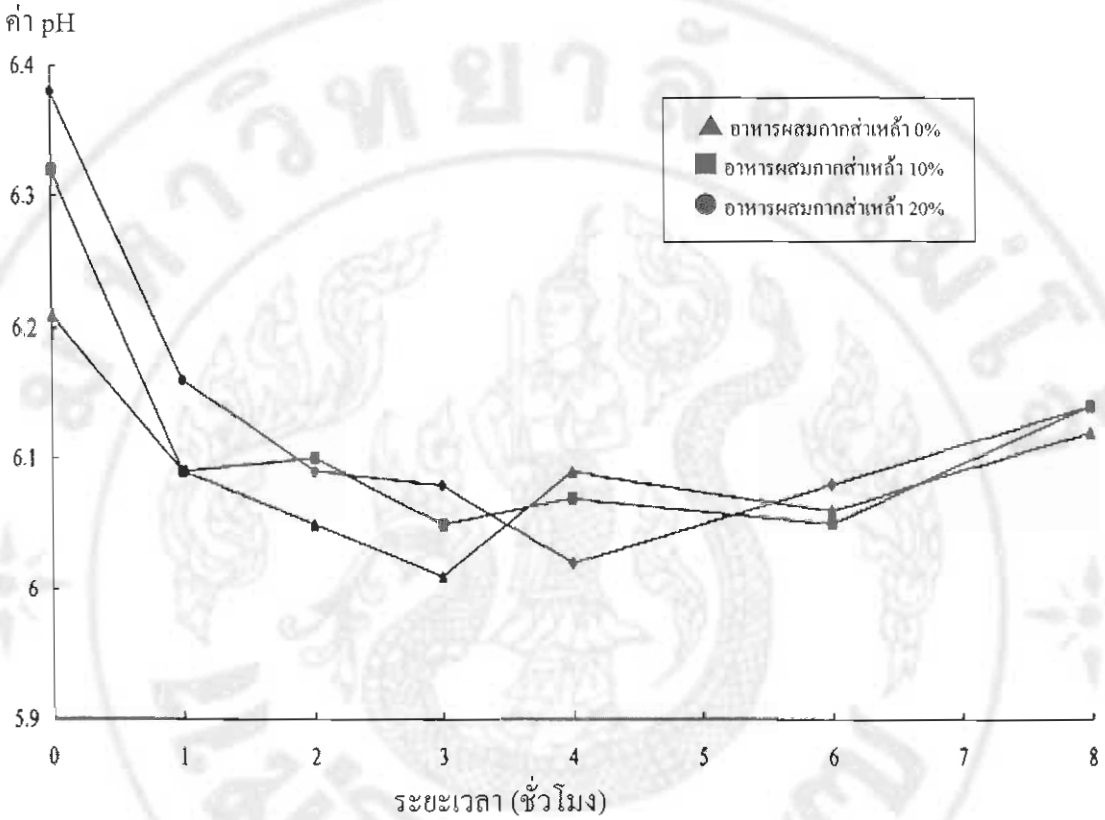
ตาราง 6 ผลของการใช้กากส่าเหล้าในอาหารโคนมต่อผลผลิต และองค์ประกอบน้ำนมของโคทดลอง

	อาหารสำเร็จผสม กากส่าเหล้า 0%	อาหารสำเร็จผสม กากส่าเหล้า 10%	อาหารสำเร็จผสม กากส่าเหล้า 20%
ปริมาณการกินได้ (กก.)			
เดือนที่ 1	26.67[a]	25.37[b]	23.28[c]
เดือนที่ 2	25.28[a]	23.67[b]	23.31[b]
ตลอดระยะทดลอง	26.12[a]	24.69[b]	23.50[b]
ผลผลิตน้ำนม (กก./ตัว/วัน)			
เดือนที่ 1	32.05[a]	30.89[a]	26.72[b]
เดือนที่ 2	28.47[a]	29.41[a]	24.05[b]
ตลอดระยะทดลอง	30.34[a]	30.19[a]	25.53[b]
องค์ประกอบในน้ำนม (%)			
ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน			
เดือนที่ 1	8.89[a]	8.97[a]	8.54[b]
เดือนที่ 2	8.80[b]	8.83[a,b]	8.92[b]
ตลอดระยะทดลอง	8.87[b]	8.96[a]	8.63[b]
ไขมันในนม			
เดือนที่ 1	3.46[b]	3.74[a]	3.15[c]
เดือนที่ 2	3.58[a]	3.51[a]	2.80[b]
ตลอดระยะทดลอง	3.52[a]	3.63[a]	2.98[b]
โปรตีนในนม			
เดือนที่ 1	3.27[b]	3.38[a]	3.22[b]
เดือนที่ 2	3.36	3.42	3.41
ตลอดระยะทดลอง	3.31[b]	3.42[a]	3.28[b]
กากเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว (%)			
เดือนที่ 1	103.5[a]	101.0[a,b]	99.2[b]
เดือนที่ 2	101.2	105.1	106.0
ตลอดระยะทดลอง	104.8	106.2	105.1

[a,b และ c] ค่าเฉลี่ยที่ต่างกันในแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

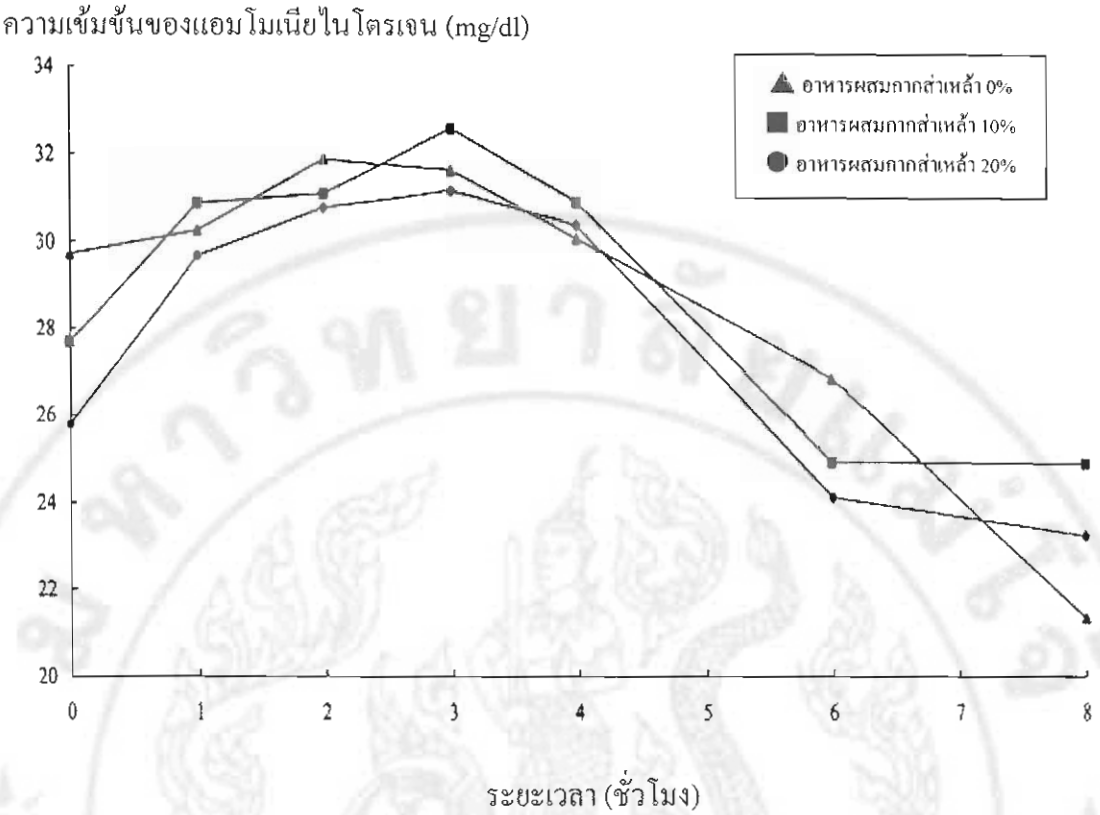
ที่มา : ดัดแปลงจาก Huang *et al.* (1999)

ค่า pH ในกระเพาะรูเมนมีค่าสูงกว่า 6.2 ก่อนให้อาหารแล้วค่อย ๆ ลดลงหลังจากได้รับอาหาร และมีค่าสูงขึ้นในชั่วโมงที่ 6-8 ดังแสดงในภาพ 3 มีระดับแอมโมเนียไนโตรเจนสูงขึ้นหลังจากได้รับอาหารในชั่วโมงที่ 1-3 และค่อย ๆ ลดลงในชั่วโมงที่ 4-8 ดังแสดงในภาพ 4



ภาพ 3 ผลของการใช้กากส่าเหล้าต่อค่า pH ในกระเพาะรูเมน

ที่มา : Huang *et al.* (1999)



ภาพ 4 ผลของการใช้กากส่าเหล้าต่อปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน
ที่มา : Huang *et al.* (1999)

Woods *et al.* (2003a) และ Woods *et al.* (2003b) รายงานจากการศึกษาการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีน ของกากส่าเหล้าจากข้าวโพด เปรียบเทียบกับข้าวโพดบด เนื้อมะพร้าวแห้ง ข้าวมอลต์ ข้าวบาร์เลย์ และหัวบีท โดยวิธีการใช้ถุงไนลอน ในกระเพาะรูเมนของโคนมเพศผู้ตอน อายุ 1.5-2 ปี จำนวน 4 ตัว ที่กินหญ้าหมักด้วยกรด ซัลฟูริก 0.23 เปอร์เซ็นต์ (v/w) เป็นอาหารหยาบ และวิเคราะห์ค่าการย่อยได้ของโภชนะตามสมการของ Ørskov and McDonald (1979) พบว่ากากส่าเหล้าจากข้าวโพดมีส่วนที่ละลายได้ (a) ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีน เท่ากับ 31.77, 32.28 และ 11.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนที่ไม่ละลายแต่ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (b) ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีน มีค่า 59.12, 55.32 และ 64.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายที่อัตรา 0.02, 0.05 และ 0.08 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$, $ED_{0.05}$ และ $ED_{0.08}$) ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีนมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอาหารชนิดอื่น ๆ ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 7, 8 และ 9 ตามลำดับ

ตาราง 7 ค่าการสลายตัวของวัตถุแห้งในกากส่าเหล้าจากข้าวโพด (%)

อาหาร	a	b	c	$ED_{0.02}$	$ED_{0.05}$	$ED_{0.08}$
กากส่าเหล้าจากข้าวโพด	31.77	59.12	0.003	65.08	52.11	46.44
ข้าวโพดบด	42.52	55.01	0.004	77.91	65.98	60.14
เนื้อมะพร้าวแห้ง	36.25	58.36	0.004	75.48	62.71	56.25
ข้าวมอลต์	36.29	50.08	0.004	66.36	55.46	50.42
ข้าวบาร์เลย์	27.92	60.06	0.055	85.51	82.21	79.31
หัวบีท	23.28	73.55	0.012	83.44	71.14	63.29

ที่มา : ดัดแปลงจาก Woods *et al.* (2003a)

ตาราง 8 ค่าการสลายตัวของอินทรียวัตถุในกากส่าเหล้าจากข้าวโพด (%)

อาหาร	a	b	c	$ED_{0.02}$	$ED_{0.05}$	$ED_{0.08}$
กากส่าเหล้าจากข้าวโพด	32.28	55.32	0.003	64.72	52.80	47.40
ข้าวโพดบด	42.36	55.37	0.004	78.23	66.16	60.24
เนื้อมะพร้าวแห้ง	35.40	56.49	0.006	75.91	64.23	57.89
ข้าวมอลต์	36.74	47.92	0.004	67.33	57.12	52.13
ข้าวบาร์เลย์	28.46	59.78	0.058	85.89	82.72	79.91
หัวบีท	23.57	71.51	0.012	83.99	72.72	65.09

ที่มา : ดัดแปลงจาก Woods *et al.* (2003a)

ตาราง 9 ค่าการสลายตัวของโปรตีนในกากส่าเหล้าจากข้าวโพด (%)

อาหาร	a	b	c	$ED_{0.02}$	$ED_{0.05}$	$ED_{0.08}$
กากส่าเหล้าจากข้าวโพด	11.73	64.88	0.005	43.74	31.50	26.34
ข้าวโพดบด	51.20	43.58	0.006	82.29	73.44	68.63
เนื้อมะพร้าวแห้ง	14.70	81.38	0.003	64.61	46.63	38.23
ข้าวมอลต์	42.80	44.72	0.005	76.48	66.75	61.44
ข้าวบาร์เลย์	29.61	63.22	0.034	88.75	83.62	79.39
หัวบีท	17.55	81.10	0.007	76.87	60.54	51.49

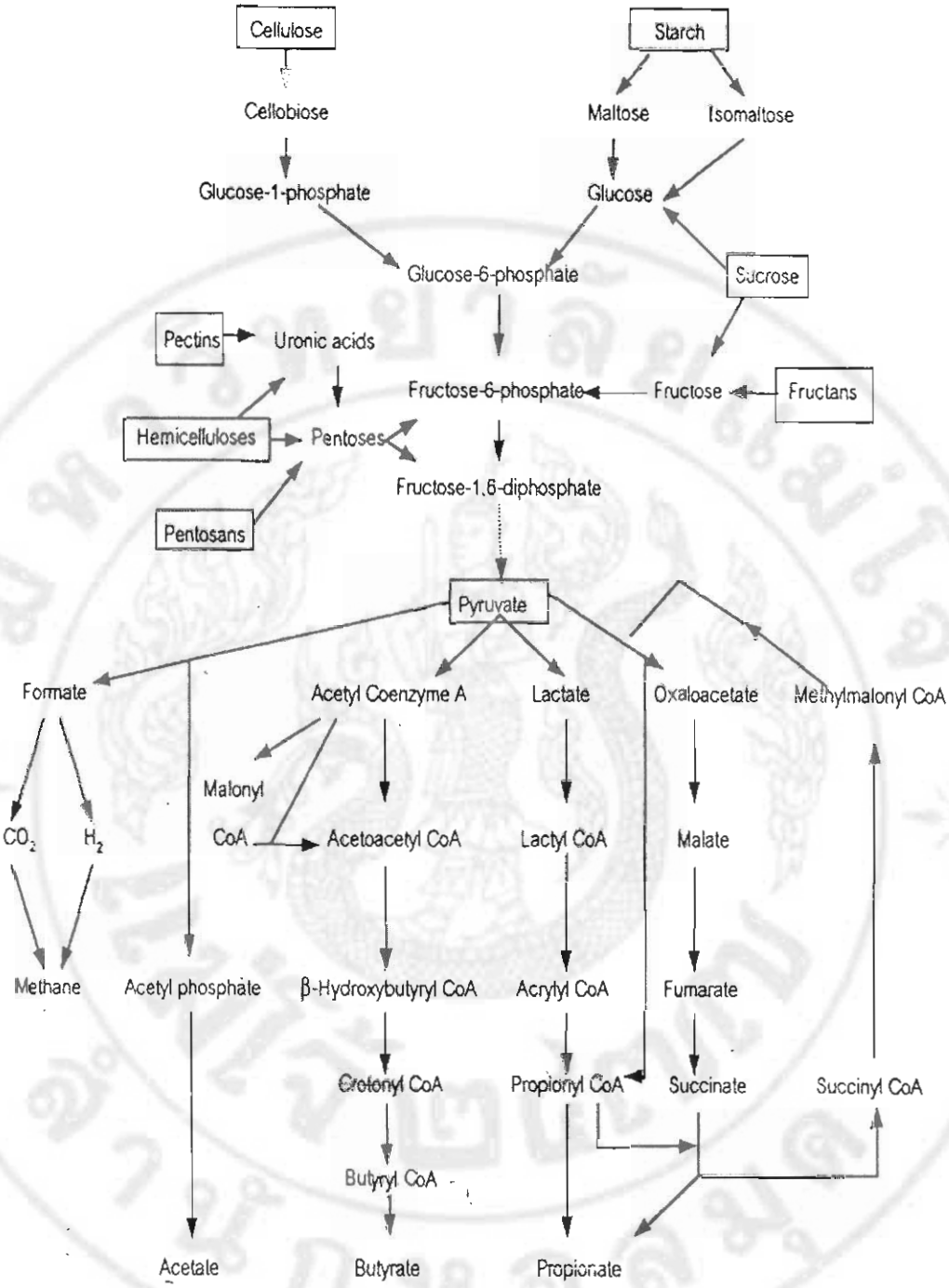
ที่มา : ดัดแปลงจาก Woods *et al.* (2003b)

การย่อยคาร์โบไฮเดรตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเป็นพวกเซลลูโลส (celllulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของพืชอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเอนไซม์จากตัวสัตว์ย่อยได้น้อยหรือย่อยไม่ได้เลย จึงต้องอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยย่อย หรืออาศัยการหมักของจุลินทรีย์ ส่วนของคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ เช่นน้ำตาลและแป้ง ซึ่งเอนไซม์ของตัวสัตว์สามารถย่อยเองได้ เมื่อเข้ามาในกระเพาะรูเมนก็จะกลายเป็นอาหารให้จุลินทรีย์เช่นกัน การย่อยหรือการหมักคาร์โบไฮเดรตของจุลินทรีย์ในขั้นสุดท้าย ผลจากการหมักจะได้กรดอินทรีย์หลายตัวปนกันอยู่ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acids) ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดบิวทิริก (butyric acid) และกรดวาลีริก (valeric acid) ซึ่ง กรดวาลีริกจะมีน้อยที่สุดในกระเพาะหมัก และในระหว่างการหมักจะมีสารตัวกลางเกิดขึ้น (intermediate products) คือ กรดซัคซินิก (succinic acid) และกรดแลคติค (lactic acid) เกิดขึ้นด้วย นอกจากนี้จะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) เกิดขึ้นจากการหมักด้วย สัดส่วนของการเกิดสารต่าง ๆ ดังกล่าวจะไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้รับ หากอาหารที่สัตว์ได้รับมีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบอยู่สูง ผลการหมักของจุลินทรีย์จะทำให้เกิดกรดอะซิติกมากที่สุด แต่ถ้าอาหารมีเยื่อใยพวกเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลง แต่มีอาหารข้นหรือมีแป้งและน้ำตาลเพิ่มขึ้นมาก การเกิดกรดอะซิติกจะลดลง แต่จะเกิดกรดโพรพิโอนิกเพิ่มขึ้น สำหรับการให้อาหารโคขุนระยะท้าย จึงควรให้อาหารข้นในสัดส่วนที่สูงขึ้น เนื่องจากไขมันที่แทรกอยู่ตามกล้ามเนื้อผลิตมาจากกรดโพรพิโอนิก แต่การเลี้ยง

โคนมควรให้ความสนใจในการให้อาหารหยาบ หรืออาหารที่มีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูง เพื่อให้เกิดกรดอะซิติกมาก เนื่องจากส่วนไขมันที่ประกอบอยู่ในน้ำนมผลิตมาจากกรดอะซิติก (พันทิพา, 2543)

ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะรูเมนขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการผลิตและการดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน ถ้าอัตราเร็วในการผลิตกรดไขมันระเหยได้มีมากก็จะมีกรดสะสมอยู่ในกระเพาะรูเมนมาก แต่อัตราการผลิตกรดไขมันระเหยได้จะผันแปรแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในอาหาร เช่น แป้งหรือเยื่อใย ที่จะมีผลทำให้อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยได้ผันเปลี่ยนไปด้วย (เทอดชัย, 2548) และค่า pH ในกระเพาะรูเมนจะกลับกันกับปริมาณกรดไขมันระเหยได้ คือยิ่งกรดไขมันระเหยได้มีความเข้มข้นสูง ค่า pH ในกระเพาะรูเมนจะยิ่งต่ำลง (บุญล้อม, 2541)



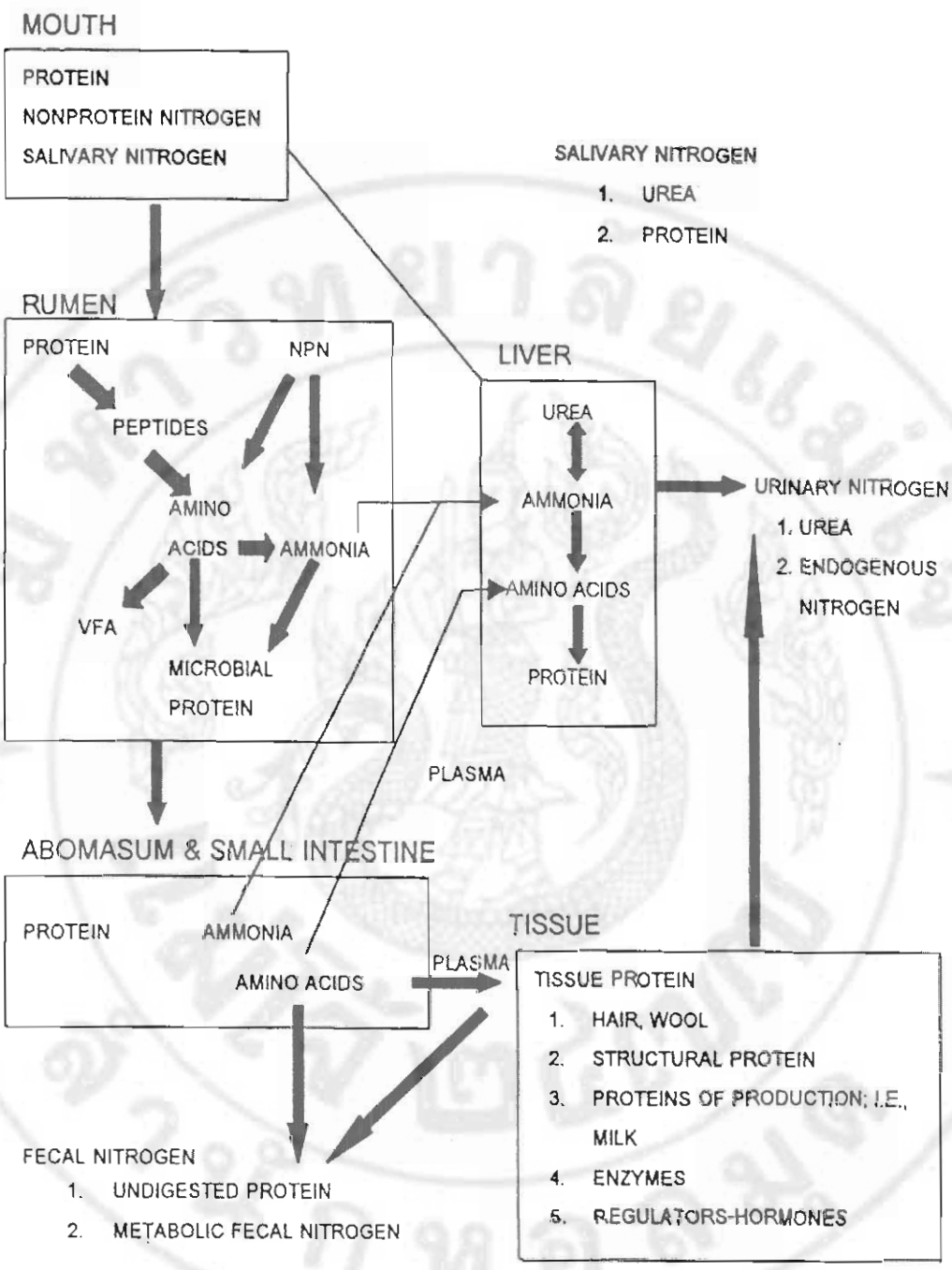
ภาพ 5 การหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

ที่มา : บุญล้อม (2541)

การย่อยโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การย่อยโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้องเกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนโดยจุลินทรีย์จะช่วยย่อยสลายโปรตีน และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen; NPN) ได้เป็นเปปไทด์ (peptide) และกรดอะมิโน โดยกรดอะมิโนจะถูกย่อยสลายต่อได้ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) กรดอินทรีย์ และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยโปรตีนที่ย่อยสลายง่าย (degraded protein) ในกระเพาะรูเมนจะถูกย่อยสลายให้ก๊าซแอมโมเนียออกมามาก (Satter and Roffler, 1975) แอมโมเนียที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้สร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ ในขณะเดียวกันบางส่วนจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเข้าสู่กระแสเลือดทันทีและถูกส่งต่อไปยังตับ ที่ตับจะเปลี่ยนก๊าซแอมโมเนียให้เป็นยูเรียซึ่งร่างกายจะขจัดออกทางไตในรูปน้ำปัสสาวะ ยูเรียบางส่วนจะไปกับกระแสเลือดเข้าสู่ต่อมน้ำลายและถูกขับออกมาพร้อมกับน้ำลาย เมื่อมีการเคี้ยวเอื้องหรือนำอาหารเข้าปาก ซึ่งความเข้มข้นของยูเรียในน้ำลายจะต่ำกว่ายูเรียในเลือด ยูเรียในน้ำลายจะติดไปกับอาหารเข้าสู่กระเพาะรูเมน และแตกตัวให้ก๊าซแอมโมเนียใหม่ ดังนั้นหากสัตว์ขับน้ำลายออกมามาก โอกาสเกิดก๊าซแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนก็มีมาก ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์ได้ โดยทั่วไปสัตว์จะหลั่งน้ำลายมากเมื่อได้รับอาหารเยื่อใยที่มีขนาดใหญ่หรือยาวมาก จากภาพ 6 แสดงการใช้สารประกอบไนโตรเจนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จะเห็นว่าก๊าซแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนได้มาจาก 2 แหล่ง คือ จากอาหารและจากน้ำลาย หากสัตว์ได้รับอาหารที่แตกตัวให้ก๊าซแอมโมเนียได้มาก เช่น สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน เช่นสารยูเรีย จะทำให้ความเข้มข้นของยูเรียในน้ำลายสูงขึ้น และก๊าซแอมโมเนียจะย้อนกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนมากขึ้นเมื่อมีการขับน้ำลายออกมาก เนื่องจากก๊าซแอมโมเนียมีฤทธิ์เป็นด่าง หากถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือกมาก จะทำให้เลือดมีสภาวะเป็นด่าง ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อตัวสัตว์ได้ (พันทิพา, 2543)

จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะสร้างโปรตีนเพื่อขยายจำนวนเซลล์ โดยใช้ไนโตรเจนที่เข้ามาในกระเพาะรูเมน ดังนั้นสารประกอบใด ๆ ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ จุลินทรีย์สามารถนำมาสังเคราะห์เป็นโปรตีนได้ โดยที่สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนและโปรตีนจะต้องแตกตัวอยู่ในรูปก๊าซแอมโมเนียเสียก่อน จุลินทรีย์จึงจะนำไปใช้ประโยชน์โดยสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนเพื่อสร้างเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ และเมื่ออาหารเคลื่อนที่ไปยังกระเพาะแท้ จุลินทรีย์ที่ปนไปกับอาหารจะถูกย่อยโดยน้ำย่อยจากตัวสัตว์ สัตว์จึงได้รับกรดอะมิโนจากเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้ว กรดอะมิโนที่ได้จะมีทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็น จะมีชนิดใดมากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และชนิดของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่สัตว์ได้รับ นอกจากนี้จุลินทรีย์จะช่วยสังเคราะห์ไวตามินต่าง ๆ เช่นไวตามินบีรวม และไวตามินเค เป็นต้น (เทอดชัย, 2548)



ภาพ 6 การย่อยสลายโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) ในกระเพาะรูเมน

ที่มา : Ensminger *et al.* (1990)

การประเมินคุณค่าทางอาหารสัตว์และวิธีการหาการย่อยได้ของโภชนะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Storm and Ørskov (1982 อ้างโดย เทอดชัย และ ter Meulen; 2542) รายงานว่า สัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะรวมที่มีส่วนของกระเพาะรูเมน (rumen) และเรติคิวลัม (recticulum) เป็นส่วนแรกที่รองรับอาหารที่เข้าไปในร่างกาย การย่อยอาหารในส่วนนี้ถูกกระทำโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ภายใน ได้แก่ แบคทีเรีย (bacteria) โปรโตซัว (protozoa) และเชื้อราที่ไม่ใช้อากาศ (anaerobic fungi) โดยไม่มีเอนไซม์ที่ผลิตจากตัวสัตว์เข้ามาย่อยอาหารเหล่านี้เลย เนื่องจากเนื้อเยื่อของกระเพาะส่วนนี้ไม่มีต่อมสำหรับผลิตเอนไซม์ จึงทำให้ทางเดินอาหารส่วนนี้เป็นบริเวณเฉพาะสำหรับจุลินทรีย์ที่จะเข้าย่อยอาหารเท่านั้น และอาหารที่ถูกย่อยแล้วในบริเวณนี้ส่วนหนึ่งจะเป็นประโยชน์กับตัวสัตว์เคี้ยวเอื้องเอง และอีกส่วนหนึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารของจุลินทรีย์ทำให้จำนวนประชากรของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเซลล์จุลินทรีย์มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะส่วนของโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบในเซลล์ของจุลินทรีย์ที่มีคุณภาพดี จึงทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้เป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพสำหรับสัตว์ไปด้วย เมื่อจุลินทรีย์เคลื่อนที่ผ่านไปถึงกระเพาะแท้ (abomasum) ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับกระเพาะ (stomach) ของสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น ไก่ และสุกร โปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์จะถูกย่อยเป็นอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องต่อไป

การย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจุลินทรีย์เข้าย่อยอาหาร เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ที่เป็นส่วนประกอบหลักของพืชอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเอนไซม์จากตัวสัตว์ไม่สามารถเข้าย่อย เนื่องจากในโครงสร้างของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสมีโมเลกุลของกลูโคสจับต่อกันแบบเบต้า (β-linkage) และเปลี่ยนเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ ซึ่งทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้องและจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่การเข้าย่อยโภชนะของจุลินทรีย์ที่บริเวณนี้ ก็อาจจะทำให้อาหารคุณภาพดีบางส่วนโดยเฉพาะโปรตีนคุณภาพสูงถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ก่อนที่จะเดินทางไปถึงกระเพาะแท้ จึงอาจมีผลให้อาหารคุณภาพดีเหล่านั้นถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้น้อยลงกว่าเดิมได้ แต่อย่างไรก็ตามการป้องกันมิให้สารอาหารเหล่านั้นถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยและใช้ประโยชน์ได้ก็สามารถกระทำได้ โดยใช้กรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อทำให้อาหารถูกส่งผ่าน (by-pass) ต่อไปยังกระเพาะแท้ เช่น แป้งไหลผ่าน (by-pass starch) โปรตีนที่ถูกป้องกันไม่ให้ย่อยสลายในรูเมน (protected protein) และ ไขมันที่ถูกป้องกันไม่ให้ย่อยสลายในรูเมน (protected fat) เป็นต้น

สำหรับการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารที่โคกินเข้าไปนั้น เทอดชัย (2548) ได้อธิบายว่า เป็นการวัดปริมาณอาหารหรือวัดปริมาณโภชนะที่สูญหายไปในระบบทางเดินอาหาร

ส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้ในการศึกษา หรือเพื่อประเมินคุณค่าของอาหารชนิดนั้น ๆ ว่าสัตว์จะมีความสามารถ หรือมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดในการที่จะนำเอาโภชนะนั้น ๆ ไปใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ยังเป็นการศึกษาถึงปริมาณโภชนะที่สามารถย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารได้

เทอดชัย และ ter Meulen (2542) กล่าวถึงวิธีการศึกษาถึงความต้องการโภชนะหรือประสิทธิภาพของอาหารสัตว์ว่า โดยทั่วไปจะพิจารณาจากการย่อยได้ของโภชนะในร่างกายสัตว์ ซึ่งเป็นการย่อยได้ในทุกส่วนของทางเดินอาหารทั้งหมดรวมกัน (total tract digestibility) ค่าการย่อยได้ดังกล่าวเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยได้โดยรวมของอาหารในระบบทางเดินอาหารทั้งหมด ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วในแต่ละส่วนของทางเดินอาหาร มีลักษณะของการย่อยอาหารที่แตกต่างกัน และอาหารที่ถูกย่อยแล้วนั้นก็จะถูกนำไปใช้ประโยชน์กับตัวสัตว์ได้มากน้อยแตกต่างกันด้วย เช่น การย่อยและดูดซึมอาหารที่บริเวณลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่จะให้ประโยชน์กับตัวสัตว์แตกต่างกัน เป็นต้น และการศึกษาถึงผลทางการย่อยได้ของอาหารในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารก็จะมีผลให้สัตว์ได้รับอาหารได้ตรงตามความต้องการที่แท้จริงมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถจะลดการสูญเสียอาหารที่ได้รับมากเกินความจำเป็นให้ลดน้อยลงได้

บุญล้อม (2541) กล่าวว่า การประเมินคุณค่าทางอาหารสามารถตรวจสอบได้หลายวิธีแต่ที่นิยมกันโดยทั่วไป คือ วิธีการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารแบบหยาบ (proximate analysis) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะในอาหารข้น เพราะวิธีการนี้สามารถบอกองค์ประกอบทางเคมีของอาหารได้ดีระดับหนึ่ง แต่ยังมีจุดอ่อนในเรื่องการวิเคราะห์เยื่อใย หากนำมาใช้วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารในอาหารหยาบ จึงได้มีการพัฒนาการวิเคราะห์เยื่อใยขึ้น เรียกว่าวิธีการใช้สารละลาย (detergent method) ซึ่งเป็นวิธีการหาส่วนประกอบของผนังเซลล์โดยเฉพาะการหาค่าปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน เป็นต้น ซึ่งมีความสำคัญในการเปรียบเทียบคุณภาพพืชอาหารสัตว์ เนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถที่จะย่อยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ได้ นอกจากนี้ยังมีวิธีการวิเคราะห์หาแร่ธาตุต่าง ๆ ในอาหารสัตว์ที่มีความจำเป็นต้องทราบ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิธีการวิเคราะห์หาพลังงาน โดยใช้เครื่องเผาไหม้หาพลังงาน (bomb calorimeter) อย่างไรก็ตามข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ยังไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ประเมินคุณภาพอาหารสัตว์ เพราะข้อมูลเหล่านี้ไม่สามารถบอกถึงได้ว่าโภชนะต่าง ๆ ที่มีอยู่ในอาหารจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากหรือน้อยเพียงใด ในการประเมินคุณภาพอาหารสัตว์จึง จำเป็นต้องทราบข้อมูลด้านการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในอาหารด้วย เมื่อนำ ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกัน จึงจะสามารถบอกคุณภาพของอาหารสัตว์ได้อย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไปการวัดการย่อยได้สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การทดลองกับตัวสัตว์ (*in vivo* method) และการทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือนอกตัวสัตว์ (*in vitro* method)

การหาการย่อยได้ของโภชนะโดยการทดลองกับตัวสัตว์ (*in vivo* method)

ทรงศักดิ์ และยุทธชัย (2542) กล่าวว่า การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารสัตว์ สามารถบ่งบอกถึงเปอร์เซ็นต์ของโภชนะที่มีอยู่ในอาหารชนิดนั้น แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าโภชนะที่มีอยู่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างแท้จริงในตัวสัตว์ เนื่องจากอาหารที่กินเข้าไปไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด และจะมีโภชนะบางส่วนที่สูญเสียไปในระหว่างกระบวนการย่อย การดูดซึม และการเปลี่ยนแปลงของอาหารภายในร่างกาย ดังนั้นการประเมินคุณภาพอาหารจึงนิยมทำโดยวิธีการวัดการย่อยได้ของโภชนะในอาหาร โดยทดลองกับตัวสัตว์ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีการชั่งน้ำหนักทั้งหมด (total collection method หรือ conventional method) โดยให้สัตว์กินอาหารทดลอง ชั่งน้ำหนักของอาหารที่สัตว์กินเข้าไป ชั่งน้ำหนักมูลที่ถ่ายออกมา และเก็บตัวอย่างปัสสาวะทั้งหมด ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะสามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะแต่ละชนิดได้ หากนำอาหารกินและสิ่งขับถ่ายมาวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร

การศึกษาด้วยวิธีการนี้จำเป็นจะต้องเลือกสัตว์ที่มีความสม่ำเสมอทั้งในด้านอายุ น้ำหนักตัว และพันธุกรรม เพื่อไม่ให้เกิดความแปรปรวนซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากตัวสัตว์ นอกจากนั้นแล้วระยะเวลาของการปรับสัตว์ ซึ่งต้องมีความเหมาะสม โดยทั่วไปจะใช้เวลา 2-4 สัปดาห์ หรือมากกว่านั้น ก่อนที่จะทำการทดลอง จากนั้นจะเป็นช่วงการทดลองจริง ซึ่งจะใช้ระยะเวลาทดลองประมาณ 10-14 วัน เพื่อบันทึกปริมาณอาหารที่กินและมูลที่ถ่ายออกมาในแต่ละวัน และนำตัวอย่างอาหารและมูลไปวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร ในช่วงนี้นิยมให้อาหารแบบจำกัด โดยจะให้ประมาณ 85-90 เปอร์เซ็นต์ ของการให้แบบเต็มที่ หลังจากนั้นก็นำค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ มาคำนวณเพื่อหาค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ต่อไป ตามสูตรต่อไปนี้ (เมธา, 2529)

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (\%)} = 100 - \left[\frac{(\text{น้ำหนักของโภชนะในมูลปรับแห้ง}) \times 100}{(\text{น้ำหนักของโภชนะในอาหารที่กินปรับแห้ง})} \right]$$

2. วิธีการใช้ตัวบ่งชี้ (indicator หรือ marker) เป็นวิธีการทางอ้อม เพราะไม่ต้องเก็บตัวอย่างมูลทั้งหมดของสัตว์ที่ขับถ่ายออกมา เนื่องจากการเก็บมูลทั้งหมดจะเป็นปัญหาในการทดลองสำหรับสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ และมีปริมาณมูลที่ขับถ่ายออกมามากในแต่ละวันโดยใช้สารบ่งชี้ร่วมกับอาหารทดลองให้สัตว์กิน เพื่อแสดงถึงปริมาณอาหารที่เคลื่อนผ่านทางเดินอาหารในส่วนต่าง ๆ

โดยทั่วไปสามารถแบ่งสารบ่งชี้ เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือตัวบ่งชี้ภายใน (internal indicator) และตัวบ่งชี้ภายนอก (external indicator) โดยทั่วไป สารบ่งชี้ที่ใช้ในการศึกษาควรมีคุณสมบัติดังนี้

- ต้องไม่มีการย่อยหรือดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร
- ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้คุณหรือให้โทษ เมื่อเข้าไปอยู่ในระบบทางเดินอาหาร
- ผ่านไปในระบบทางเดินอาหารในอัตราความเร็วเดียวกับอาหารทดลอง
- สามารถนำมาวิเคราะห์ทางเคมีได้ง่าย
- มีการกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงในอาหารทดลอง (สำหรับตัวบ่งชี้ภายนอก)
- ผสมในอาหารที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารได้เป็นอย่างดี (สำหรับตัวบ่งชี้ภายใน)

2.1 การใช้ตัวบ่งชี้ภายใน ใช้สารที่กระจายอยู่ทั่วไปในอาหาร เช่น ลิกนิน (lignin) หรือเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash ; AIA) ในการศึกษาจำเป็นต้องวิเคราะห์หาค่า AIA หรือลิกนินในอาหารทดลองและต้องทราบปริมาณการกินได้ของสัตว์ที่แน่นอน โดยการสุ่มตัวอย่างมูลจากสัตว์ทดลองเป็นรายตัว หลาย ๆ วันติดต่อกัน นำมูลที่ได้ในแต่ละวันมาผสมกัน แล้วสุ่มมาประมาณ 500 กรัมนำมาอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสจนแห้งจากนั้นนำมาวิเคราะห์หา AIA หรือลิกนิน และโภชนะที่เหลืออยู่ในมูลเพื่อหาการย่อยได้ของโภชนะตามสูตร

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (\%)} = 100 - \left[100 \times \frac{(\%\text{AIA ในอาหาร} \times \%\text{โภชนะในมูล})}{(\%\text{AIA ในมูล} \times \%\text{โภชนะในอาหาร})} \right]$$

2.2 การใช้ตัวบ่งชี้ภายนอก เป็นการใช้สารเคมีเติมเข้าไปในอาหารทดลอง ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้คือสารโครมิกออกไซด์ (chromic oxide ; Cr_2O_3) ทำการผสม สารชี้บ่งภายนอกชนิดที่ต้องการในอาหารที่ใช้ทดลอง เช่น ผสม Cr_2O_3 ลงในอาหารให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ แล้ววิเคราะห์หาปริมาตรของโครมิกออกไซด์ ที่มีในอาหารผสมกับมูลที่ถ่ายออกมาในมูลเพื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ ตามสูตร

$$\text{การย่อยได้ (\%)} = \frac{\left[\frac{\text{วัตถุแห้งในอาหาร}}{Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}} \right] - \left[\frac{\text{วัตถุแห้งในมูล}}{Cr_2O_3 \text{ ในมูล}} \right]}{\left[\frac{\text{วัตถุแห้งในอาหาร}}{Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}} \right]} \times 100$$

การหาการย่อยได้โดยการทดลองในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* method)

ทรงศักดิ์ และยุทธชัย (2542) กล่าวว่า การวิเคราะห์การย่อยได้ในห้องปฏิบัติการถูกพัฒนาขึ้นมา เนื่องจากการวัดการย่อยได้ในตัวสัตว์ เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และใช้แรงงานเป็นจำนวนมาก จึงมีการพัฒนาการย่อยได้โดยการเลียนแบบสภาวะภายในทั้งหมดให้เหมือนกับการย่อยที่เกิดขึ้นจริงในตัวสัตว์ ซึ่งมีอยู่หลายวิธีที่นิยมใช้กัน ดังที่บุญล้อม (2541) ได้แนะนำไว้คือ

1. วิธีการ 2 ขั้นตอน ของ Tilley and Terry (2 - stage in vitro method) วิธีนี้ได้รับความนิยมมานาน แต่ภายหลังเมื่อมีการพัฒนาวิธีอื่นที่สามารถให้ข้อมูลได้มากกว่า และมีความแม่นยำสูงกว่า วิธีนี้จึงได้รับความนิยมน้อยลงไป ขั้นตอนเริ่มโดยนำอาหารที่บดแล้วประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่ผสมกับสารละลายและบัฟเฟอร์ไว้แล้วจำนวน 50 มิลลิลิตร เพื่อรักษา pH ให้อยู่ในสภาพใกล้เคียงกับกระเพาะรูเมนจริง แล้วนำไปแช่บ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ภายใต้สภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic) จากนั้นทำการฆ่าแบคทีเรียโดยใช้กรดเกลือ แล้วย่อยต่อด้วยเอนไซม์เปปซินเป็นเวลา 48 ชั่วโมง กรองส่วนที่เหลือซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ถูกย่อยออก แล้วนำไปอบให้แห้ง เพื่อคำนวณหาค่าวัตถุแห้ง จากนั้นนำไปเผาจะทราบค่าอินทรีย์วัตถุ นำค่าที่ได้นี้ไปหักออกจากส่วนที่มีในอาหารตั้งแต่เริ่มต้น จะทราบค่าวัตถุแห้งที่ย่อยได้ (digestible dry matter ; DDM) และอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (digestible organic matter) แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (dry matter digestibility ; DMD) และ การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (organic matter digestibility ; OMD) ต่อไป

2. วิธีการเอนไซม์เปปซิน- เซลยูเลส (pepsin-cellulase technique) ทำโดยใช้เอนไซม์ที่สกัดจากจุลินทรีย์มาแช่บ่มกับตัวอย่างอาหารทดลองที่ต้องการทราบค่าการย่อยได้ วิธีนี้มีข้อดีคือสามารถทำได้รวดเร็ว ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาทั้งคุณภาพของเอนไซม์และวิธีการวิเคราะห์ทำให้ได้ค่าที่แม่นยำขึ้น สะดวกสำหรับห้องปฏิบัติการที่ไม่มีสัตว์เจาะกระเพาะ ขั้นตอนในการดำเนินการเริ่มจาก นำตัวอย่างอาหารมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วบดให้มีขนาด 1 มิลลิเมตร ผสมให้วัตถุดิบเข้ากันดี แล้วชั่งอาหาร 300 มิลลิกรัมใส่ใน glass filter-crucible เติม pepsin-hydrochloric acid solution ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จำนวน 30 มิลลิลิตรลงไป แล้วนำไป บ่ม ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากบ่มไป 5 ชั่วโมงให้คนสารใน crucible แล้วนำไปแช่ในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนาน 45 นาที แล้วดูดสารละลายออกด้วยปั๊มและล้างกากด้วยน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เติม cellulase-buffer solution ที่มีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จำนวน 30 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และหลังจากบ่มไป 5 ชั่วโมง คนสารใน crucible เมื่อบ่มครบ 24 ชั่วโมง

อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ แล้วทำการคำนวณหาปริมาณโภชนะที่สูญหายจากสูตร

$$\text{โภชนะที่สูญหาย (disappearance) (\%)} = ((W_O - W_T) / W_O) \times 100$$

เมื่อ W_O = ปริมาณโภชนะในอาหารก่อนหมักย่อย

W_T = ปริมาณโภชนะในกากอาหารหลังจากการหมักย่อย

เมื่อนำค่าการสูญหาย (disappearance) ของโภชนะต่าง ๆ เข้าโปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY เพื่อคำนวณหาค่าการย่อยสลายของโภชนะต่าง ๆ ได้จากสมการที่เสนอโดย Ørskov and McDonald (1979)

$$P = (a + b) \times (1 - e^{-ct})$$

เมื่อ P = ค่าการย่อยสลายได้ที่ช่วงเวลาต่างกัน (%)

a = ส่วนที่ละลายได้ทันที (%)

b = ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถเกิดขบวนการหมักย่อยได้ (%)

e = log ฐาน 10

c = อัตราการย่อยสลายได้ของ b (h^{-1})

t = ช่วงระยะเวลาในการหมักบ่ม

ถึงแม้ว่าการศึกษาการสลายตัวของโภชนะภายในกระเพาะหมักโดยวิธีการใช้ถุงไนลอนจะเป็นวิธีที่สะดวก ค่าใช้จ่ายถูกกว่าการศึกษาในตัวสัตว์ แต่ก็มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งมีผลทำให้ความแม่นยำและข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ ดังนี้

3.1. ลักษณะเฉพาะของถุง (bag specification) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำถุง ขนาดของถุง ตลอดจนขนาดและความสม่ำเสมอของรูถุง (pore size) มีผลต่อค่าการสลายตัว โดยรูถุงควรมีขนาดกว้างพอที่จะให้ของเหลวและจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมักสามารถไหลผ่านเข้าออกได้ แต่ต้องไม่กว้างจนชิ้นอาหารที่ไม่ถูกย่อยไหลผ่านออกจากถุง หากใช้ถุงที่มีรูเล็กเกินไปจะทำให้จุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสและโปรโตซัว ตลอดจนค่าความเป็นกรด-ด่างในถุงลดลง และถ้าใช้ถุงที่มีขนาดรูกว้างเกินไป ค่าการสลายตัวของวัตถุแห้งก็จะเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันอณุภาคของอาหารที่หายไปจากการล้างถุงก็จะเพิ่มขึ้นด้วย (Ørskov *et al.*, 1983)

Meyer and Mackie (1986) อ้างโดย Huntington and Givens (1995) ได้ศึกษาความแตกต่างของขนาดรูถุงต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์พบว่ารูถุงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้จำนวนประชากรจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 จำนวนประชากรจุลินทรีย์ที่พบจากถุงที่มีขนาดรูถุงต่าง ๆ (%)

อาหาร	ขนาดรูถุง (ไมครอน)					
	5	10	13	20	30	53
ใบกระถินแห้ง	7.9	29.0	73.7	65.8	131.6	126.3
อาหารหยาบ	4.6	27.3	86.2	63.6	100.0	100.0
อาหารข้น	0.3	1.6	15.6	6.3	31.3	45.3

ที่มา : Meyer and Mackie (1986 อ้างโดย Huntington and Givens; 1995)

สัดส่วนของปริมาณตัวอย่างอาหารต่อพื้นที่ผิวของถุงก็มีผลต่อค่าการสลายตัว หากเพิ่มปริมาณตัวอย่างอาหารโดยไม่เพิ่มขนาดของถุงให้ได้สัดส่วนกัน ค่าการสลายตัวของโภชนะที่ได้จะลดลง โดยทั่วไปควรใส่ตัวอย่างอาหาร 10-15 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรของพื้นที่ทั้งหมดของถุง โดยอัตราส่วนความกว้างและความยาวของถุงควรอยู่ระหว่าง 1:1 ถึง 1:2.5 และควรหลีกเลี่ยงการเย็บถุงที่ทำให้เกิดมุมแหลมที่ก้นถุง เพราะจะทำให้อาหารบางส่วนไปอุดอยู่ที่ก้นถุง (Madsen and Hvelplund, 1994)

3.2. ลักษณะของตัวอย่างอาหาร (diets characteristic) ตัวอย่างอาหารที่ใช้ ควรทำให้แห้งหรืออบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิที่ใช้อบตัวอย่างอาหารสูงเกินไปจะมีผลทำให้การสลายตัวและการละลายได้ของไนโตรเจนในตัวอย่างอาหารลดลงได้ (Lopez *et al.*, 1995) โดยทั่วไปควรบดตัวอย่างอาหารผ่านตะแกรง 1 มิลลิเมตร (เมธา, 2529)

3.3. การเตรียมตัวอย่างอาหาร (sample preparation) ตัวอย่างอาหารที่ใช้ถ้าเป็นอาหารหยาบใช้ประมาณ 3 กรัม ส่วนตัวอย่างอาหารโปรตีน อาหารข้น หรือธัญพืชใช้ประมาณ 4-5 กรัม (Ørskov, 1982)

3.4. การใส่ถุงตัวอย่างอาหารลงในกระเพาะหมัก (incubation in rumen) ควรจัดถุงให้กระจายอย่างสม่ำเสมอก่อนนำไปแช่ในกระเพาะหมัก และแช่ถุงไว้ในกระเพาะหมักส่วนล่าง โดยต้องให้ถุงทุกใบสัมผัสกับของเหลวในกระเพาะหมัก เนื่องจากหากถุงตัวอย่างมีการสัมผัสกับ

ของเหลวในกระเพาะรูเมนน้อย การสลายตัวอาจลดลง (เมธา, 2529) ทั้งนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนที่เป็นของเหลวในกระเพาะหมักส่วนล่าง ที่สามารถรวมกลุ่มและเข้าย่อยผิวส่วนหน้าของอาหารได้ (Stewart, 1979) สำหรับเชือกไนลอนที่ใช้สำหรับผูกสายยางที่มัดถุงตัวอย่างอาหารจากฝาปิดกระเพาะหมัก ก็มีผลต่อการย่อยได้หรือการสลายตัวของโภชนะในถุง ถ้าเชือกสั้นเกินไปจะทำให้ถุงทั้งหมดไม่สัมผัสกับส่วนของของเหลวในกระเพาะหมักส่วนล่าง ค่าการสลายตัวของโภชนะที่ได้อาจไม่ดีนัก (Stritsler *et al*., 1990) ซึ่ง Ørskov (1982) แนะนำว่าเชือกที่ใช้ควรมีความยาวอย่างน้อย 50 เซนติเมตร เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ของถุงไนลอนในกระเพาะ

3.5. การล้างถุง (washing method) การล้างถุงไนลอนที่มีตัวอย่างอาหาร หลังจากนำออกมาจากกระเพาะหมักที่ ชั่วโมงต่าง ๆ แล้วก็เป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะมีผลต่อค่าการสลายตัว โดย Cherney *et al*. (1990) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการล้างถึงด้วยมือกับการล้างถุงด้วยเครื่องซักผ้า พบว่าค่าการสลายตัวไม่ต่างกันมากนัก แต่การล้างถุงด้วยเครื่องซักผ้าจะเป็นมาตรฐานที่ดีกว่า เพราะสามารถกำหนดโปรแกรมและเวลาในการซักล้างได้ สามารถล้างถุงได้คราวละมาก ๆ เป็นการประหยัดเวลา โดยเวลาที่แนะนำให้ใช้อยู่ที่ประมาณ 10 - 15 นาที (Mehrez and Ørskov, 1997)

เอกสิทธิ์ และคณะ (2541) รายงานว่าจากการเปรียบเทียบวิธีการล้างถุง 3 วิธีคือ 1). ล้างโดยใช้ก๊อกน้ำ โดยเปิดน้ำจากก๊อกล้างถุงโดยตรง 2). ล้างโดยเครื่องเขย่า โดยนำถังบรรจุน้ำมาวางบนเครื่องเขย่า ปรับให้น้ำเข้าและออกจากถังที่ 2.5 ลิตร และ 3). ล้างโดยใช้ถังบรรจุน้ำแล้วปล่อยให้น้ำไหลลงมาอย่างอิสระ โดยใช้ถังน้ำขนาด 60 ลิตรแล้วต่อท่อให้น้ำไหลลงมาล้างถุงอย่างอิสระ ผลปรากฏว่าแต่ละวิธีเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้วให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ในแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียที่ต่างกันคือ วิธีที่ 1 เป็นวิธีที่สะดวกที่สุด แต่จะมีความไม่คงที่ของความแรงของน้ำในการล้างแต่ละครั้ง วิธีที่ 2 มีข้อดีที่มีมาตรฐานในการล้างถุงเพราะสามารถตั้งโปรแกรมของเครื่องเขย่าให้ได้ความแรงและเวลาที่ต้องการได้ แต่พบว่ามีความยุ่งยากในการควบคุมปริมาณน้ำเพื่อปรับระดับเข้าและออกให้คงที่ วิธีที 3 เป็นวิธีที่สะดวกและมีความแปรปรวนน้อยที่สุด น่าจะเป็นวิธีที่ใช้เป็นมาตรฐานในการล้างถุง

3.6. การอบถุง (drying) หลังจากล้างถุงจนแน่ใจว่าสะอาดแล้ว ให้นำถุงไปอบโดยใช้อุณหภูมิ 60° ซ นาน 48 ชั่วโมง แล้วจึงชั่งน้ำหนักที่เหลือ (ทรงศักดิ์ และยุทธชัย, 2542)

3.7. สัตว์ทดลองและการให้อาหาร (animal and feeding) เมธา (2529) รายงานว่าสัตว์ทดลองที่ใช้ควรเป็นชนิดเดียวกันกับที่ต้องการศึกษา เช่นหากต้องการศึกษาการสลายตัวของโภชนะในโคนม ก็ควรใช้โคนมสำหรับศึกษา เพราะการย่อยได้และอัตราการไหลผ่านของอาหารในสัตว์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน สำหรับอิทธิพลของอาหารที่ให้สัตว์ทดลองย่อมมีผลต่อการ

สลายตัว ดังนั้นสิ่งที่สำคัญคืออาหารที่ให้สัตว์ทดลองควรเป็นอาหารที่มีความคล้ายคลึงหรือเป็นชนิดเดียวกับอาหารที่ต้องการทดสอบ

4. วิธีวัดปริมาณแก๊ส (gas production technique) เป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมันเพื่อให้สามารถทำนายการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และค่าพลังงานในอาหารได้ ต่อมาได้มีการดัดแปลงให้สามารถวัดอัตราการย่อยสลายของอาหารได้ด้วย วิธีการนี้เป็นวิธีที่สามารถประเมินการย่อยได้ใกล้เคียงกับการใช้สัตว์ทดลองมากที่สุด การศึกษาตามวิธีการนี้อาศัยความรู้จากการหมักย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในของเหลวในกระเพาะรูเมน ผลจากการหมักย่อยอาหารจะทำให้เกิดแก๊ซขึ้น ซึ่งได้มีการพัฒนาวิธีการและการคำนวณเพื่อใช้ทำนายคุณค่าทางอาหารได้ แก๊ซที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยส่วนใหญ่ คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นแก๊สที่เกิดจากการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตให้เป็นกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และ กรดบิวทีริก จากรายงานของ Menke and Steingass (1988) กล่าวว่า ส่วนของโภชนะอื่น เช่น โปรตีน และ ไขมัน เมื่อถูกหมักจะได้ปริมาณแก๊ซน้อยกว่าคาร์โบไฮเดรต

การประเมินคุณค่าทางอาหารโดยวิธีวัดปริมาณแก๊สทำได้โดยการชั่งตัวอย่างอาหารแห้งที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ประมาณ 230 มิลลิกรัมใส่หลอดแก้ว (glass syringe) สอดแกนตันที่ทาวาสลีนแล้วเข้ากับหลอดแก้ว แล้วนำหลอดที่ใส่ตัวอย่างอาหารไปแช่บ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส (ใกล้เคียงกับสภาพภายในกระเพาะรูเมน) แล้วเติมสารละลายของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่เก็บจากกระเพาะโคที่เจาะกระเพาะไว้แล้ว ซึ่งได้เติมบัฟเฟอร์ แร่ธาตุและสารละลายต่าง ๆ แล้วในปริมาณ 30 มิลลิลิตรเข้าไป ผสมกับตัวอย่างอาหาร แล้วนำไปบ่มต่อที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส จากนั้นอ่านค่าแก๊สที่เกิดขึ้นในหลอดแก้ว แล้วนำค่าแก๊สเมื่อบ่มครบ 24 ชั่วโมง มาหาค่าแก๊สสุทธิที่ 24 ชั่วโมง โดยสมการดังนี้

$$GP\ (ml / 200\ mgDM, 24h) = \frac{(V_{24} - V_0 - GP_0) \times 200 \times (Fh + Fc) / 2}{W}$$

เมื่อ V_0 = ปริมาตรส่วนผสมทั้งหมดที่อ่านได้ก่อนนำหลอดตัวอย่างที่ผสมของเหลวจากกระเพาะรูเมนไปแช่บ่ม

V_{24} = ค่าที่อ่านได้เมื่อแช่บ่มส่วนผสมของตัวอย่างครบ 24 ชั่งโมง

GP_0 = ค่าเฉลี่ยของแก๊สที่เกิดในหลอด blank ที่ไม่ได้ใส่ตัวอย่างอาหารที่ต้องศึกษาที่ 24 ชั่วโมง

Fh = ค่าแก๊สมาตรฐานของหญ้าแห้ง / ($GPh - GP_0$)

Fc = ค่าแก๊สมาตรฐานของอาหารข้น / ($GPh - GP_0$)

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นมิลลิกรัมวัตถุแห้ง

เมื่อนำค่าที่ได้มาแทนค่าในสมการรีเกรซชั่นเพื่อคำนวณหาการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (IVOMD, %) พลังงานเมแทบอไลซ์ และพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (ME และ NEL , MJ / kgDM) ตามวิธีการของ Menke and Steingass (1988) ดังนี้

IVOMD = $15.38 + 0.8453GP + 0.0595P + 0.0675XA$ ($R^2 = .91$)

ME = $2.20 + 0.1357GP + 0.0057XP + 0.0002859XL^2$ ($R^2 = .94$)

NEL = $0.54 + 0.0959GP + 0.0038XP + 0.001733XL^2$ ($R^2 = .93$)

เมื่อ IVOMD = อินทรีย์วัตถุย่อยได้ (%)

ME = พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy) (MJ/kgDM)

NEL = พลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (net energy for lactation) (MJ/kgDM)

GP = ค่าแก๊ซที่ 24 ชั่วโมงหลังจากปรับแล้ว (ml)

XP = Crude protein (g/kgDM)

XL = Crude fat (g/kgDM)

5. วิธีการหาการย่อยได้โดยวิธี *in vitro* true digestibility (IVTD) การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะโดยวิธีนี้ได้ปรับปรุงและพัฒนามาจากวิธีการ 2 ขั้นตอนของ Tilley and Terry (1963) โดย Wilman and Adesogan (2000) ซึ่งเป็นการหาค่าการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ การทดลองด้วยวิธีนี้จะช่วยลดค่าใช้จ่ายและแรงงานในการปฏิบัติการได้ (Adesogan, 2005) มีขั้นตอนการทำโดยการเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระพาะรูเมน (rumen fluid) ของโคที่ผ่าตัดเจาะกระเพาะรูเมนแล้ว ซึ่งเป็นโคที่ได้รับอาหารชนิดเดียวกับอาหารที่ใช้ในการทดลอง เป็นเวลา 14 วันก่อนทำการเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมน (Robinson *et al.*, 1999)

ถุงที่ใช้ในการทดลองใช้ถุงโพลีเอสเตอร์ (ANKOM F57) ขนาด 5 x 5.5 เซนติเมตร มีขนาดรูถุง (pore size) 25 ไมโครเมตร โดยชั่งตัวอย่างอาหารที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร จำนวน 0.5 กรัม ใส่ลงถุงแล้วปิดปากถุงด้วยเครื่องทำความร้อน นำถุงอาหารใส่ลงในโถแก้วแล้วเติมสารละลายบัฟเฟอร์ A และ B นำมาผสมกับของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่ผ่านการปั่น โดยทุกขั้นตอนมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดเวลา จากนั้นนำโถแก้วเข้าแช่บ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส ในเครื่องแช่บ่ม ANKOM Daisy^{II} เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำถุงออกมาล้างด้วยน้ำจนสะอาด แล้วนำถุงเข้าอบในตู้อบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (Adesogan, 2005 ; Robinson *et al.*, 1999 ; Wilman and Adesogan, 2000) จากนั้นนำมาหาค่าการย่อยได้ด้วยวิธี IVTD จากสูตร

$$\%IVTD = 100 - \frac{(w3 - (w1 \times w4)) \times 100}{w2}$$

โดย w1 = น้ำหนักถุงเปล่า w2 = น้ำหนักอาหารทดลอง w3 = น้ำหนักถุงพร้อมอาหารทดลอง
w4 = น้ำหนัก blank (น้ำหนัก blank หลังการแช่บ่ม / น้ำหนัก blank)

Adesogan (2005) ได้ศึกษาผลของการใช้ถุงชนิดต่างกันกับเครื่องแช่บ่ม ANKOM Daisy[II] โดยเปรียบเทียบค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ คือ หญ้าไรย์แห้งและข้าวโพดหมัก โดยใช้ถุงแอนคอม (ANKOM F57) ซึ่งเป็นถุงโพลีเอสเทอร์ ที่มีขนาดรูถุง 25 ไมโครเมตร ขนาดถุง 5.5 x 5 เซนติเมตร และถุงดาครอน ที่มีขนาดรูถุง 50 ไมโครเมตร ขนาดถุง 5.2 x 4.5 เซนติเมตร และศึกษาผลของการชั่งน้ำหนักถุงโดยบันทึกน้ำหนักถุงและไม่บันทึกน้ำหนักถุง ผลการทดลองพบว่า ชนิดของถุงที่ต่างกันทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของอาหารทดลองแตกต่างกัน โดยถุงดาครอน ซึ่งมีขนาดรูถุงใหญ่กว่าถุงแอนคอม มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของอาหารสูงกว่าถุงแอนคอม ($P<0.001$) และการชั่งน้ำหนักถุงมีผลต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของอาหารทดลอง โดยถุงที่ชั่งจะมีค่าการย่อยได้ดีกว่าถุงที่ไม่ได้ชั่งน้ำหนัก ($P<0.001$) ดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 11 ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งจากการใช้ถุงแอนคอมและถุงดาครอน (g/kg)

อาหาร	น้ำหนัก[I]	ชนิดถุง	
		ถุงแอนคอม	ถุงดาครอน
หญ้าไรย์สด	-	822	844
	+	910	934
หญ้าไรย์แห้ง	-	730	725
	+	848	876
ข้าวโพดหมัก	-	778	833
	+	883	924

[I] น้ำหนัก - หมายถึงถุงที่ไม่ถูกชั่ง, + หมายถึงถุงที่ถูกชั่ง

ที่มา : ดัดแปลงจาก Adesogan (2005)

นอกจากนี้ Adesogan (2005) ยังได้เปรียบเทียบการย่อยได้ของวัตถุแห้งจากถุงแอนคอมและถุงเอชเค (HK) ซึ่งเป็นถุงที่ทำจากใยโพลีเอสเทอร์ มีขนาดรูถุง 30 ไมโครเมตร ขนาดถุง 5.5 x 4.5 เซนติเมตร พบว่าค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของอาหารจากถุงเอชเค มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในอาหารสูงกว่าถุงแอนคอม ($P<0.001$) และจากการเปรียบเทียบค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในอาหารโดยใช้เครื่องแช่บ่ม ANKOM Daisy^{II} กับการใช้วิธีการ 2 ขั้นตอนของ Tilley and Terry (1963) พบว่าวิธีการ 2 ขั้นตอนของ Tilley and Terry (1963) มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในอาหารสูงกว่าวิธีการทดลองด้วยเครื่องแช่บ่ม ANKOM Daisy^{II} ($P<0.001$) ดังแสดงในตารางที่ 12

ตาราง 12 ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในอาหารจากการใช้ถุงแอนคอมและถุงเอชเค (g/kg) และค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในอาหารจากการใช้เครื่องแช่บ่ม ANKOM Daisy^{II} เปรียบเทียบวิธีการ 2 ขั้นตอนของ Tilley and Terry (1963) (g/kg)

อาหาร	ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (g/kg)			
	ชนิดถุง		วิธีการ	
	ถุงแอนคอม	ถุงเอชเค	เครื่อง ANKOM Daisy^{II}	วิธีการของ Tilley and Terry (1963)
หญ้าไรย์หมัก	614	750	682	789
ข้าวโพดหมัก	629	668	648	755
หญ้าเบอร์มิวดา	558	634	596	709
หญ้าแพงโกล่า	432	544	488	695
หญ้าอัลฟาฟ่า	582	655	618	680
หญ้าฟลอโรนาสตาร์	413	455	434	585
หญ้าบาเฮีย	334	395	365	483

ที่มา : ดัดแปลงจาก Adesogan (2005)