บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ข้าวโพดหวาน

ข้าวโพดหวานเป็นพืชที่มีศักยภาพสูงทั้งเพื่อการบริโภคสดและเพื่อการส่งออกทั้งในรูปฝักสด ฝักแช่แข็ง และแปรรูปบรรจุกระป๋อง ซึ่งมีการขยายตัวในการเพาะปลูกเพิ่มขึ้นทุกปี ข้าวโพดหวานปลูกกันมากในแถบภาคตะวันตกได้แก่ พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม เพชรบุรี สมุทรสาคร และทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยได้แก่ นครราชสีมา บุรีรัมย์ และ มหาสารคาม อายุเมื่อเก็บเกี่ยวฝักสดอยู่ระหว่าง 65-80 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่ใช้ปลูก โดยทั่วไปนิยมปลูกในช่วงฤดูฝน แต่สามารถปลูกได้ตลอดปีถ้ามีแหล่งน้ำและดินที่อุดมสมบูรณ์ (วลัยกานต์, 2542) จากรายงานของวีระศักดิ์ (2550) พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดหวานในปี พ.ศ. 2540 ทั้งสิ้น 191,000 ไร่ กระจายไปตามภาคต่างๆ โดยในปี พ.ศ. 2544 พ.ศ. 2546 และ พ.ศ. 2549 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดหวานเพิ่มมากขึ้นเป็น 350,000 400,000 และ 445,000 ไร่ ตามลำดับ ซึ่งในระยะเวลาที่ผ่านมาผลผลิตข้าวโพดหวานในภาคเหนือเพิ่มขึ้นกว่า 2 เท่าตัวทุกปี ทำให้ในปัจจุบันแหล่งปลูกข้าวโพดหวานที่สำคัญของไทยอยู่ที่ภาคเหนือ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้พันธุ์ดี และมีการจัดการระบบการเขตกรรมที่ดีขึ้น จึงทำให้เกษตรกรหันมาปลูกข้าวโพดหวานมากขึ้น (นิรนาม, 2549ก.)

วีระศักดิ์ (2550) รายงานว่า ในปี พ.ศ. 2544 ข้าวโพดหวานที่ปลูกมักนิยมนำไปรับประทานในรูปของฝักสดถึง 294,500 ตันจากปริมาณผลผลิตทั้งหมด 467,500 ตัน (ตาราง 2) ในปี พ.ศ. 2549 พบว่าข้าวโพดหวานที่ปลูกได้มีแนวโน้มถูกส่งเข้าสู่โรงงานแปรรูปมากขึ้นเป็น 300,000 ตัน แสดงให้เห็นว่ามีความต้องการข้าวโพดหวานของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับ นิรนาม (2549ข.) กล่าวว่ารูปแบบการบริโภคข้าวโพดหวานในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะการบริโภคฝักสด ซึ่งในแต่ละปีก็มีความต้องการค่อนข้างสูง และอีกรูปแบบหนึ่งคือการบริโภคในลักษณะข้าวโพดหวานแช่แข็งหรือแปรรูปโดยการบรรจุกระป๋องหรือภาชนะอื่นๆที่ปิดสนิทในรูปของ Whole kernel corn, corn-on-the-cob หรือ Cream style corn ซึ่งได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นโดยตลอด และตลาดก็มีปริมาณความต้องการผลผลิตเพิ่มขึ้นทุกปี

ตาราง 1 พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดหวานที่ปลูกในประเทศไทยปี พ.ศ. 2540-49

ภาค	พื้นที่ปลูก (ไร่)			
	2540	2544	2546	2549
เหนือ	30,000	80,000	95,000	135,000
ตะวันตก	72,000	85,000	95,000	120,000
กลาง	8,000	80,000	95,000	100,000
อีสาน	54,000	60,000	70,000	100,000
ใต้	14,000	25,000	25,000	25,000
ตะวันออก	13,000	20,000	20,000	20,000
รวมทั้งประเทศ	191,000	350,000	400,000	445,000

ที่มา: ดัดแปลงจาก วีระศักดิ์ (2550)

ตาราง 2 ผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในประเทศไทยปี พ.ศ. 2544-49

ภาค	2544	2545	2546	2549
พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	350,000	375,000	400,000	500,000
ผลผลิต (ตัน)	467,500	468,700	500,000	600,000
เข้าสู่โรงงานแปรรูป (ตัน)	140,000	160,000	200,000	300,000
เข้าสู่การบริโภคสด (ตัน)	294,500	300,000	300,000	300,000

ที่มา: ดัดแปลงจาก วีระศักดิ์ (2550)

ในปี พ.ศ. 2550 ประเทศไทยติดอันดับที่ 4 ของโลกในฐานะผู้ส่งออกข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องทำให้มีเงินตราเข้าสู่ประเทศมากกว่า 2,500 ล้านบาท ดังตาราง 3 โดยมีประเทศสหรัฐอเมริกาผลิตได้มากที่สุด 140,452 ตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 4,000 ล้านบาท (วีระศักดิ์, 2550)

ตาราง 3 ผู้ผลิตข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องรายใหญ่ของโลก

ประเทศ	ตัน	มูลค่า (ล้านบาท)
สหรัฐอเมริกา	140,452	4,794
ฮังการี	127,096	4,761
ฝรั่งเศส	105,774	6,358
ไทย	95,806	2,696
แคนาดา	29,196	925
อื่นๆ	58,418	59.3
รวม	556,754	21,896

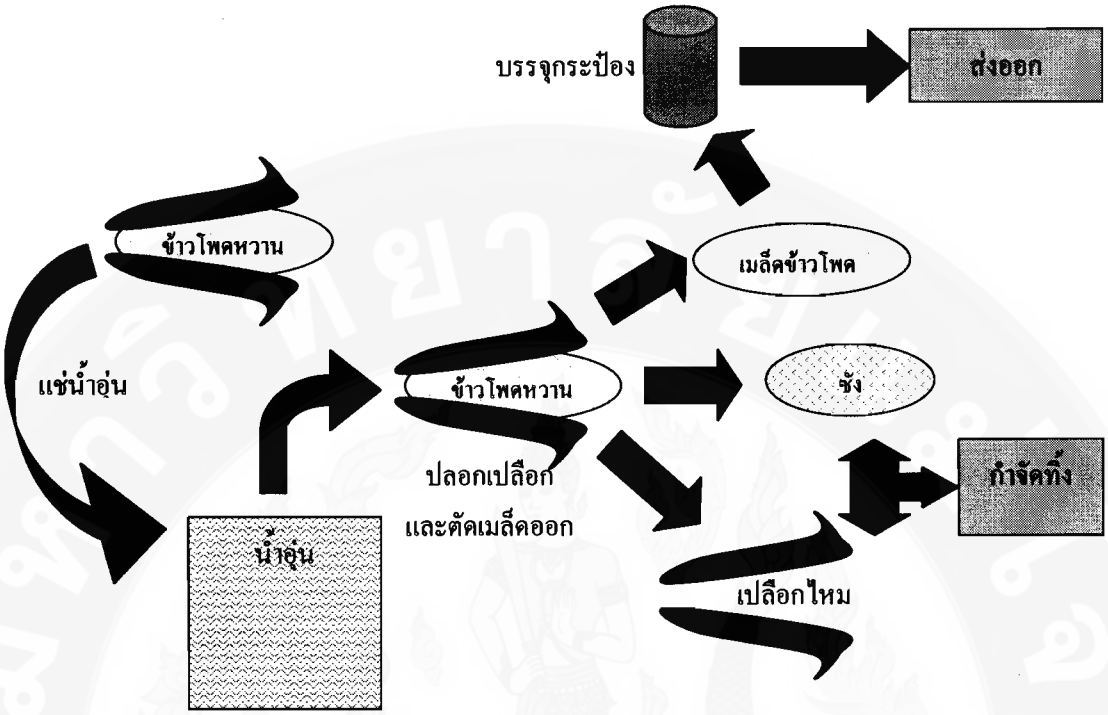
ที่มา: ดัดแปลงจาก วีระศักดิ์ (2550)

ในกระบวนการแปรรูปข้าวโพดหวานทั้งฝักที่ถูกส่งเข้าโรงงานมีส่วนที่เหลือทิ้ง ได้แก่ เปลือก ไหม และซังเป็นจำนวนมาก ซังข้าวโพดหวานที่เหลือทิ้งนี้จะมีส่วนของเมล็ดหลงเหลืออยู่ทำให้มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีโปรตีนเพียง 1.94 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (จินดา และคณะ, 2541) โดยราเชนทร์ และเอกภพ (2537) รายงานว่า ข้าวโพดหวานที่ส่งเข้าโรงงานมีสัดส่วนของเนื้อเมล็ด เปลือก ไหม และซัง เท่ากับ 34.2 33.7 และ 32.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คิดเป็นส่วนเปลือกไหมรวมทั้งส่วนของซังประมาณ 65.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าวโพดสดที่เข้าโรงงาน เมื่อประเมินจากปริมาณความต้องการข้าวโพดหวานของโรงงานปี 2544 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 140,000 ตัน (ตาราง 2) จำนวนเศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปข้าวโพดหวานจะมีปริมาณสูงถึง 73,727 ตัน/ปี ซึ่งเป็นภาระของโรงงานอย่างมากในการกำจัด ดังนั้นทางโรงงานจึงระบายเศษเหลือเหล่านี้ออกไปโดยให้เกษตรกรนำไปใช้เลี้ยงโคกระบือ ดังเช่นในเขตพื้นที่อำเภอสันป่าตอง อำเภอแม่วาง และอำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ปัจจุบันเศษเหลือจากการผลิตข้าวโพดหวานจึงเป็นแหล่งอาหารหยาบของโคนมของเกษตรกร และมีการซื้อขายกันอย่างเป็นระบบ

คุณค่าทางอาหารของเศษเหลือจากข้าวโพด

เปลือกข้าวโพดฝักอ่อนมีน้ำหรือความชื้นอยู่ประมาณ 86.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาหมักร่วมกับรำข้าว 20 เปอร์เซ็นต์ ได้พืชหมักที่มีคุณภาพ มีวัตถุแห้ง 28.9 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 16.2 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 14.8 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย NDF 40.2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ เมื่อทดลองในแกะสูง 70-84 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า TDN 85.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อให้แกะกินเป็นอาหารเดี่ยว พบว่าสามารถกินได้คิดเป็นวัตถุแห้ง 2.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และมีค่าสมดุลไนโตรเจนเป็นบวก 5.4 กรัมต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดหวานกับเปลือกไหมข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า เปลือกข้าวโพดหวานมีวัตถุแห้ง เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF สูงกว่า แต่มีโปรตีนต่ำกว่า ซึ่งเปลือกไหมข้าวโพดฝักอ่อนมีค่าวัตถุแห้ง เยื่อใย NDF เยื่อใย ADF สูงกว่า และโปรตีนเท่ากับ 13.6 55.1 26.8 และ 10.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะข้าวโพดฝักอ่อนมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นกว่าจึงมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่า (จินดา, 2539)

บุญเสริม (2539) รายงานว่า เปลือกและซังข้าวโพดหวานที่ได้จากโรงงานมีความชื้นสูง มีค่าวัตถุแห้งค่อนข้างต่ำประมาณ 18-21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมในการทำเป็นพืชอาหารหมักคุณภาพดี (มีค่าประมาณ 25-35 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นในการทำพืชหมักจึงควรใช้วัสดุอื่นที่สามารถดูดความชื้นได้ เช่น มันเส้น รำ ข้าวโพด หรือปลายข้าว สอดคล้องกับรายงานของ สตางค์ (2543) รายงานว่า เปลือกและซังข้าวโพดหวานจัดเป็นเศษเหลือจากโรงงาน ซึ่งมีความฉ่ำน้ำมาก เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตต้องนำฝักข้าวโพดหวานมาแช่ในน้ำอุ่นก่อนเพื่อให้เปลือกและไหมคลายตัว ทำให้การแยกส่วนเปลือกและไหมออกจากฝักทำได้ง่ายขึ้น (ดังแสดงในภาพ 1) นอกจากนี้พบว่าจะมีเนื้อเมล็ดบางส่วนติดมาด้วย ส่วนเปลือกปนซังข้าวโพดหวานนั้นประกอบด้วยส่วนของเปลือกข้าวโพดและซังข้าวโพดโดยประมาณเท่ากับ 55 และซัง 45 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแต่ละส่วนประกอบพบว่า มีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกัน โดยเปลือกข้าวโพดหวานจะมีค่าวัตถุแห้งและโปรตีนต่ำที่สุด ดังแสดงในตาราง 4



ภาพ 1 กระบวนการผลิตข้าวโพดหวานแปรรูปบรรจุกระป๋อง
ที่มา: ดัดแปลงจาก สตางค์ (2543)

ตาราง 4 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดหวาน ซังข้าวโพดหวาน และเปลือกปนซังข้าวโพดหวาน (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)

วัตถุดิบ	%	%DM				
	DM	OM	CP	EE	NDF	ADF
เปลือกข้าวโพดหวาน	17.79	96.13	5.41	1.51	77.48	38.73
ซังข้าวโพดหวาน	24.24	97.52	6.11	4.44	68.50	33.48
เปลือกปนซังข้าวโพดหวาน	19.75	96.03	6.86	3.21	70.89	35.61

ที่มา: สตางค์ (2543)

จินดา และคณะ (2541) รายงานว่า ซังข้าวโพดหวานจากโรงงานมีวัตถุแห้ง โปรตีน และเยื่อใยส่วน ADF เท่ากับ 27.50 8.01 และ 28.20 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Jaster *et al.* (1983) ที่รายงานว่า เศษเหลือของข้าวโพดหวาน (Sweet corn residue) มีวัตถุแห้ง 23 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 8.8 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย (CF) 27 เปอร์เซ็นต์

Baxter *et al.* (1980) ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมัก และข้าวสาลีหมัก พบว่าข้าวโพดหมักมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 34.1 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 5) ในขณะที่ข้าวสาลีหมักมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์โปรตีน และเยื่อใย ADF สูงที่สุดเท่ากับ 10.3 และ 42.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ตาราง 5 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมักและข้าวสาลีหมัก

	วัตถุแห้ง	% วัตถุแห้ง	
		โปรตีน	เยื่อใย ADF
ข้าวโพดหมัก	34.1	9.3	30.5
ข้าวสาลีหมัก	25.1	10.3	42.5

ที่มา: ดัดแปลงจาก Baxter *et al.* (1980)

Mustafa *et al.* (2004) กล่าวว่า เศษข้าวโพดหวานหมักมีองค์ประกอบทางเคมีปานกลาง แต่มีปริมาณแป้งน้อยกว่าเศษข้าวโพดหวานที่ยังไม่ได้หมัก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแป้งไปใช้ในกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ แป้งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดแลคติค ขณะมีการผลิตกรดแลคติค สภาพความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งมีส่วนช่วยให้พืชหมักสามารถคงสภาพอยู่ได้เป็นเวลานาน นอกจากนี้การหมักยังช่วยให้พืชหมักมีโปรตีนสูงขึ้นอีกด้วย ดังแสดงในตารางที่ 6

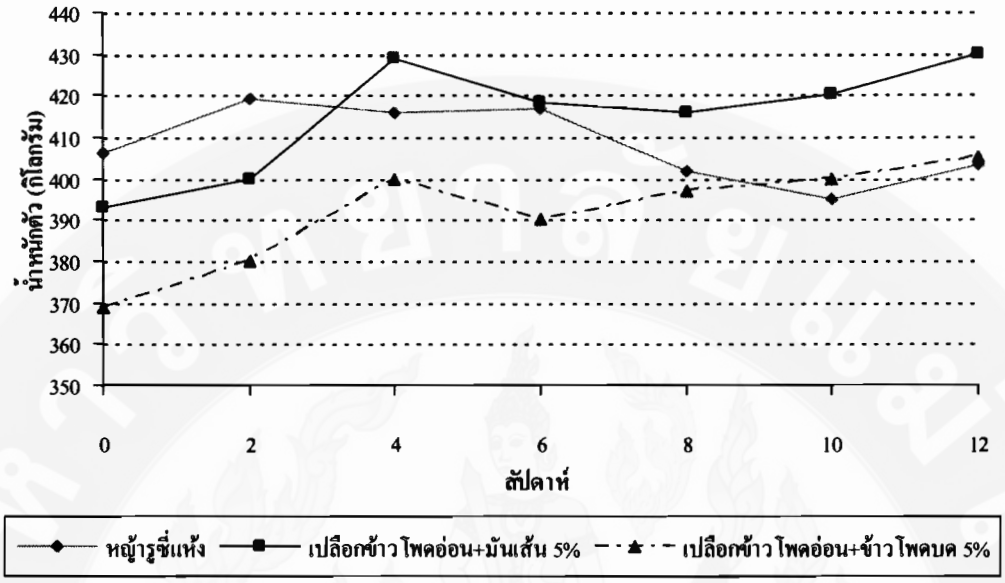
ตาราง 6 องค์ประกอบทางเคมีของเศษเหลือของข้าวโพดหวานจากโรงงานอาหารกระป๋อง

เปอร์เซ็นต์	เศษเหลือของข้าวโพดหวาน	เศษเหลือของข้าวโพดหวานหมัก
วัตถุแห้ง	24.3	23.9
เยื่อใย NDF	57.1	58.2
เยื่อใย ADF	30.1	28.3
โปรตีน	8.6	9.6
แป้ง	10.8	5.5

ที่มา: ดัดแปลงจาก Mustafa *et al.* (2004)

การใช้เศษเหลือจากข้าวโพดเลี้ยงโค

เพ็ญศรี และคณะ (2532) รายงาน จากการใช้เศษเหลือจากข้าวโพดฝักอ่อนหมักร่วมกับมันเส้น 5 เปอร์เซ็นต์เลี้ยงโครีดนมในช่วงฤดูแล้ง พบว่า มีผลช่วยเพิ่มน้ำหนักโคสูงกว่าในกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเศษเหลือจากข้าวโพดหมักร่วมกับเมล็ดข้าวโพด 5 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยหญ้ารูซี่แห้ง โดยโคที่ได้รับเศษเหลือจากข้าวโพดฝักอ่อนหมักร่วมกับมันเส้น 5 เปอร์เซ็นต์มีน้ำหนักสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 12 ของการทดลองเท่ากับ 430 กิโลกรัม ในขณะที่โคที่ได้รับหญ้ารูซี่หมักมีน้ำหนักต่ำที่สุดเท่ากับ 405 กิโลกรัม ดังแสดงในภาพ 2



ภาพ 2 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโคตลอดการทดลอง
ที่มา: ดัดแปลงจากเพ็ญศรี และคณะ (2532)

จินดา และคณะ (2541) รายงาน จากการทดลองใช้ซังข้าวโพดหวานเป็นอาหารหยาบเลี้ยงโครีดนม เปรียบเทียบกับการใช้หญ้าสดผสมเปลือกข้าวโพดหวาน (1:1) พบว่า ให้ผลไม่แตกต่างกันในแง่การผลิตน้ำนม ส่วนประกอบของน้ำนม และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิต ซึ่งสรุปได้ว่าสามารถใช้ซังข้าวโพดหวานเป็นอาหารหยาบเลี้ยงแม่โครีดนมในช่วงฤดูแล้งได้ โดยต้นทุนค่าอาหารในการผลิตน้ำนมมีค่าต่ำกว่าการใช้หญ้าสดผสมเปลือกข้าวโพดหวาน สอดคล้องกับ วลัยกานต์ (2542) รายงานว่า ซังข้าวโพดหวานที่เหลือทิ้งจากการทำซุบข้าวโพดบรรจุกระป๋องสามารถนำมาใช้เป็นอาหารหยาบเลี้ยงโครีดนมในช่วงฤดูแล้งได้ แต่ซังข้าวโพดเหล่านี้มีความชื้นสูงจึงอาจทำให้เกิดเชื้อราได้ง่าย ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์ ดังนั้นการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์จึงควรใช้ข้าวโพดที่สดและใหม่ จากรายงานของ Depies and Armentano (1995) พบว่าการใช้ซังข้าวโพดหวานในสูตรอาหาร มีผลให้โคสามารถให้ผลผลิตน้ำนมได้พอๆ กับการให้ถั่วอัลฟาฟ่าและข้าวสาลีเป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยพบว่าโคให้ผลผลิตน้ำนมที่ใกล้เคียงกันทั้งทางด้านปริมาณน้ำนม ไขมันนม และโปรตีนในนม ดังแสดงในตาราง 7 นอกจากนี้ยังมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids ; VFA) ในกระเพาะรูเมนที่ใกล้เคียงกันอีกด้วย โดยมีค่ากรดอะซิติก กรดโปรปีโอนิก และกรดบิวทีริกที่ใกล้เคียงกัน และโคทดลองที่กินซังข้าวโพดมีค่ากรดอะซิติกสูงที่สุด แต่มีค่ากรดบิวทีริกต่ำที่สุด ส่วนโคทดลองที่กินข้าวสาลีมีค่ากรดโปรปีโอนิกสูงที่สุด ดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 7 ผลของถั่วอัลฟาฟ่า ซังข้าวโพด และข้าวสาลีต่อการให้ผลผลิตน้ำนมของโค

	ถั่วอัลฟาฟ่า	ซังข้าวโพด	ข้าวสาลี
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	30.2	30.3	30.3
ไขมันนม			
กิโลกรัม/วัน	1.03	1.01	1.02
เปอร์เซ็นต์	3.46	3.37	3.40
ไขมันนม			
กิโลกรัม/วัน	0.95	0.99	0.99
เปอร์เซ็นต์	3.21	3.31	3.30

ที่มา: ดัดแปลงจาก Depies and Armentano (1995)

ตาราง 8 ผลของถั่วอัลฟาฟ่า ซังข้าวโพด และข้าวสาลีต่อปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะ-รูเมน

	ถั่วอัลฟาฟ่า	ซังข้าวโพด	ข้าวสาลี
ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย, mol/100mol			
กรดอะซิติก	66.5	67.5	65.9
กรดโปรปิโอนิก	19.4	19.6	20.6
กรดบิวทีริก	9.4	8.8	9.2

ที่มา: ดัดแปลงจาก Depies and Armentano (1995)

โคทดลองที่กินข้าวโพดหมักมีค่าการกินได้ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และเยื่อใย ADF และ ปริมาณผลผลิตน้ำนมสูงกว่าโคทดลองที่กินข้าวโพดหมักเสริมด้วยข้าวสาลีหมัก ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เท่ากับ 1.97 71.0 62.7 64.4 และ 13.9 ตามลำดับ (Baxter *et al,* 1980) ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 ค่าการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะ และปริมาณผลผลิตน้ำนม

	ข้าวโพดหมัก	ข้าวโพดหมักเสริมข้าวสาลีหมัก
การกินได้ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว)	1.97	1.24
การย่อยได้ของโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)		
วัตถุแห้ง	71.0	59.5
โปรตีน	62.7	54.7
เยื่อใย ADF	64.4	54.7
ปริมาณผลผลิตน้ำนม (กิโลกรัม)	13.9	13.5

ที่มา: ดัดแปลงจาก Baxter *et al.* (1980)

Dhiman and Satter (1997) กล่าวว่าการเสริมข้าวโพดหมักลงในอัลฟัลฟาหมัก 1:3 ส่วนในโคนม มีผลทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิต ปริมาณน้ำนม และเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมสูงที่สุด นอกจากนี้ยังมีผลลดปริมาณ Somatic cell ในน้ำนมลงอีกด้วย ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิต ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม

	อัลฟัลฟ่าหมัก	อัลฟัลฟ่าหมัก + ข้าวโพดหมัก 1:3	อัลฟัลฟ่าหมัก + ข้าวโพดหมัก 2 :3
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	31.1	32.4	31.4
เปอร์เซ็นต์ไขมันนม	3.53	3.67	3.65
เปอร์เซ็นต์โปรตีนนม	3.08	3.15	3.19
Somatic cell count (1,000/ml)	204	180	197

ที่มา: ดัดแปลงจาก Dhiman and Satter (1997)

การนำเปลือกและซังข้าวโพดหวานมาใช้มักจะมีปัญหาเนื่องจากมีความชื้นสูง ทำให้ปริมาณวัตถุแห้งไม่เหมาะสมที่จะเป็นพืชหมักคุณภาพดี การเสริมวัสดุดูดซับก็สามารถทำให้ได้พืชหมักที่มีคุณภาพได้ จากรายงานของบุญล้อม และคณะ (2543) ซึ่งทำการหมักเปลือกและซังข้าวโพดหวานร่วมกับรำ พบว่าได้พืชหมักที่มีคุณภาพดี มีสีเหลืองอมเขียว กลิ่นหอมคล้ายผักดอง มีรสเปรี้ยว เนื้อแน่น ไม่เละเปื่อยยุ่ย หรือเป็นเมือก มีค่า pH ประมาณ 4 มีกลิ่นหอมของกรดแลคติก มีวัตถุแห้งประมาณ 28.34 เปอร์เซ็นต์ และมีโภชนะต่างๆ คิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ 92.85 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน(CP) 10.91 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน(EE) 11.7 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 7.2 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย NDF 57.95 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย ADF 28.87 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน(ADL) 5.4 เปอร์เซ็นต์ และมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (NFC) ประมาณ 12.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 11)

ตาราง 11 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดหวาน ซังข้าวโพดหวาน และเปลือกปนซังข้าวโพดหวาน (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง (DM)	อินทรียวัตถุ (OM)	โปรตีน (CP)	ไขมัน (EE)	เยื่อใย		คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (NFE)
					NDF	ADF	
เปลือกข้าวโพดหวาน	17.79	96.13	5.41	1.51	77.48	38.73	11.73
ซังข้าวโพดหวาน	24.24	97.52	6.11	4.44	68.50	33.48	18.47
เปลือกปนซัง	19.75	96.03	6.86	3.21	70.89	35.64	15.07
เปลือกปนซังหมัก	21.98	96.90	6.27	2.28	77.32	33.90	11.03
เปลือกปนซังหมักกับรำ	28.34	92.85	10.91	11.71	57.95	28.87	12.28

ที่มา: ดัดแปลงจาก บุญล้อม และคณะ (2543)

เมื่อศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักในโค พบว่าเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักร่วมกับรำ มีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ค่อนข้างสูง (ดังตาราง 12 และตาราง 13) การย่อยได้ของโภชนะส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 56-63 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะ

การย่อยได้ของไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายมีค่าเท่ากับ 84.7 และ 70.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (TDN) มีค่า 71.3 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานสุทธิสำหรับการให้นม (Net Energy for Lactation; NEL) เท่ากับ 1.60 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ค่าพลังงานมีค่าสูงกว่าอาหารหยาบทั่วไป เนื่องจากมีรำซึ่งเป็นอาหารข้นเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยในระดับสูงถึง 14 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด หรือ 44.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

ตาราง 12 ค่าการย่อยได้ ค่าพลังงาน และสมดุลไนโตรเจนของเปลือกข้าวโพดหมักร่วมกับรำ 4 เปอร์เซ็นต์ในโค

โภชนะ	การย่อยได้ (เปอร์เซ็นต์)	โภชนะ	การย่อยได้
วัตถุแห้ง	58.50	ลิกนิน-เซสลูโลส (ADF)	51.30
อินทรียวัตถุ	63.45	คาร์โบไฮเดรต (NFC)	70.68
โปรตีน	56.26	ยอดโภชนะที่ย่อยได้ (TDN.%)	71.31
ไขมัน	84.68	พลังงานที่ย่อยได้ (DE, Mcal/KgDM)	3.05
ผนังเซลล์	58.97	สมดุลไนโตรเจน (N-balance, กรัม/วัน)	-0.53

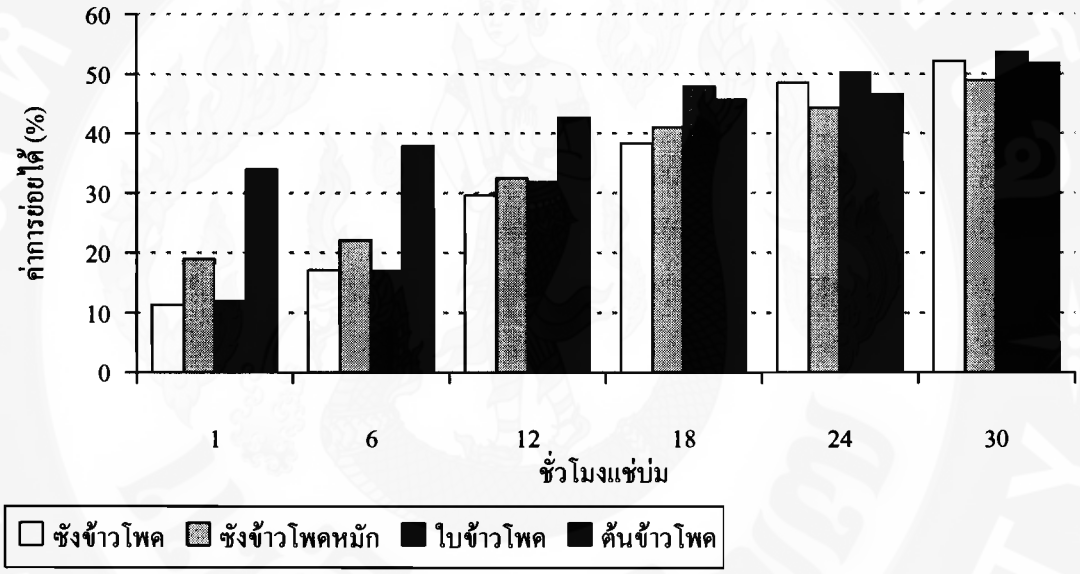
ที่มา: ดัดแปลงจาก บุญล้อม และคณะ (2543)

ตาราง 13 ค่าพลังงาน TDN และ DE จากการทดลองกับโคและค่าพลังงาน DE ME และ NEL จากการคำนวณ

ค่าพลังงาน	ทดลองกับโค	คำนวณจาก		ค่าเฉลี่ย
		TDN	DE	
TDN (เปอร์เซ็นต์)	71.31	-	-	-
DE (Mcal/KgDM)	3.05	3.14	-	3.10
ME(Mcal/KgDM)	-	2.73	2.63	2.69
NEL(Mcal/KgDM)	-	1.63	1.27	1.60

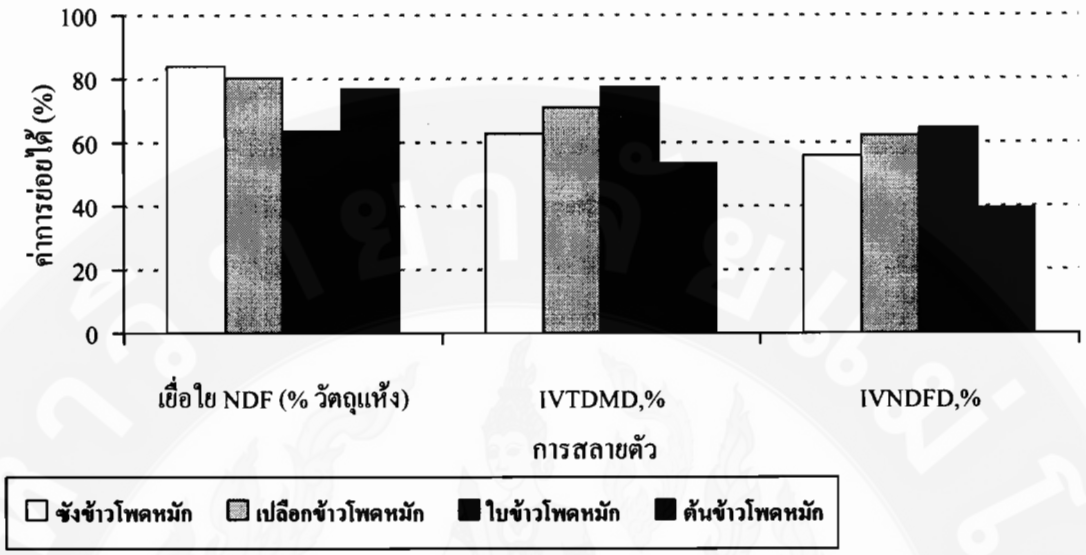
ที่มา: ดัดแปลงจาก บุญล้อม และคณะ (2543)

เมื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าการย่อยได้ของส่วนประกอบของต้นข้าวโพด จากรายงานของ Lopez-Guisa *et al.* (1991) พบว่า ในชั่วโมงที่ 18-30 ใบข้าวโพดมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งเร็วกว่าต้นข้าวโพด ดังแสดงในภาพ 3 เนื่องจากใบข้าวโพดมีโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตที่สามารถย่อยได้สูงกว่า ประกอบกับการที่ต้นข้าวโพดมีขนาดใหญ่ จึงทำให้สามารถย่อยได้ช้ากว่าใบข้าวโพด แต่ในช่วงแรกใบข้าวโพดจะมีการย่อยได้ต่ำกว่าต้นข้าวโพด เนื่องจากใบข้าวโพดมีสารเคลือบใบอยู่ ในขณะที่ซังข้าวโพดหมักมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงกว่าซังข้าวโพดธรรมดา ซึ่งเป็นผลมาจากการหมักซังข้าวโพด



ภาพ 3 ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของเศษเหลือจากข้าวโพด
ที่มา: ดัดแปลงจาก Lopez-Guisa *et al.* (1991)

Thomas *et al.* (2001) ศึกษาค่าสลายตัวของโภชนะในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดหมักสายพันธุ์ NX3018 ได้แก่ ซังข้าวโพดหมัก เปลือกข้าวโพดหมัก ใบข้าวโพดหมัก และต้นข้าวโพดหมักด้วยวิธี *in vitro* พบว่า ซังข้าวโพดมีค่าเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของเยื่อใย NDF สูงที่สุดเท่ากับ 84.0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใบข้าวโพดมีค่าการสลายตัวของวัตถุแห้ง (IVTDMD) และการสลายตัวของเยื่อใย NDF (IVNDFD) สูงที่สุดเท่ากับ 77.4 และ 64.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากใบข้าวโพดมีปริมาณเยื่อใยที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายมากกว่าซัง เปลือก และต้นข้าวโพด ดังแสดงในภาพ 4



ภาพ 4 ค่าการสลายตัวของเศษเหลือจากข้าวโพดสายพันธุ์ NX3018 โดยวิธี *In vitro*
ที่มา: ดัดแปลงจาก Thomas *et al.* (2001)

Jaster *et al.* (1983) ได้นำเศษเหลือของข้าวโพดหวานมาทำเป็นพืชหมัก และทดลองเลี้ยงโคสาวเปรียบเทียบกับการใช้ข้าวโพดหมัก (Corn silage) พบว่า ข้าวโพดหมักมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า (69.7 เปรียบเทียบ 59.1) ทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า (790 เทียบกับ 280 กรัม/วัน) และมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารดีกว่าด้วย เมื่อให้โคได้รับเศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมักกับข้าวโพดหมักอย่างละครึ่ง พบว่าค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าสูงขึ้น (68.1 เปอร์เซ็นต์) จากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารพบว่า เศษเหลือของข้าวโพดหมักมีวัตถุแห้ง 21 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 10.8 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 7.1 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย NDF 59.4 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย ADF 37.4 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้ง ตามลำดับ และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 3.9

อาหารผสมเสร็จ

อาหารผสมเสร็จ หรือ TMR ย่อมาจาก Total Mixed Ration หรือ Complete Ration (CR) คือ อาหารผสมเสร็จที่ผลิตจากการนำอาหารหยาบและอาหารข้นมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยต้องคำนวณสัดส่วนของอาหารทั้ง 2 ชนิดจากน้ำหนักแห้ง ให้ได้ปริมาณโภชนะตามความต้องการของโค แล้วนำไปเลี้ยงโคแทนการเลี้ยงแบบเดิมที่แยกการให้อาหารหยาบและอาหารข้นออกจากกัน (กองอาหารสัตว์, 2549)

ลักษณะสำคัญของอาหารผสมเสร็จ

การย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะเกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนเป็นส่วนใหญ่ โดยอาศัยการบีบตัวของกระเพาะรูเมนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนอาหารให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย ดังนั้นการทำสูตรอาหารผสมเสร็จจึงจำเป็นต้องลดขนาดของอาหารหยาบลง เพื่อให้สามารถผสมเข้ากันได้ดีกับอาหารข้นและเป็นการลดความฟ่ามของอาหาร ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้ และลดการเลือกกินอาหารของสัตว์ลง แต่การลดขนาดของอาหารหยาบจะมีผลต่อการเคี้ยวเอื้อง และทำให้การหมุนเวียนของน้ำลายลดน้อยลง ซึ่งมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนด้วย อาหารผสมเสร็จ ที่ดีจึงควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. มีอาหารหยาบและอาหารข้นในสัดส่วนที่เหมาะสม ควรมีระดับพลังงานและโปรตีนครบตามความต้องการของสัตว์ในระยะต่างๆ ของการเจริญเติบโต โดยคำนวณจากน้ำหนักแห้ง ตามอายุและผลผลิตของโค

2. อาหารหยาบและอาหารข้นต้องมีคุณภาพดี และมีระดับโปรตีนไหลผ่าน 30-35% ของโปรตีนทั้งหมดในอาหาร มี NDS ไม่เกิน 35% โดยเฉพาะอาหารหยาบถ้ามีคุณภาพต่ำจะไม่ช่วยให้ผสมเสร็จใช้ประโยชน์ได้สูงสุด

3. ขนาดความยาวของอาหารหยาบไม่สั้นจนเกินไป ความยาวที่แนะนำให้ใช้อยู่ระหว่าง 3-5 ซม. หรือยาวกว่านี้ และมีเยื่อใย ADF ประมาณ 20-25% หรือ NDF 30-35% จึงจะทำให้การย่อยได้ในกระเพาะรูเมนมีประสิทธิภาพอย่างเต็มที่ และสามารถรักษาความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะให้คงที่ได้

4. การกระจายตัวของอาหารหยาบ และอาหารข้นควรสม่ำเสมอทั่วถึง

5. สภาพอาหารต้องไม่มีรา หรือมอดในอาหาร และควรมีความน่ากินสูง

บทบาทของอาหารผสมเสร็จ

เมธา (2533) กล่าวว่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอาหารในกระเพาะรูเมนขึ้นอยู่กับการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมน โดยขั้นตอนการเคี้ยวเอื้องทำให้มีการคลุกเคล้าของน้ำลายกับอาหารที่ออกมาในปาก เมื่อเกิดการกลืนอาหารน้ำลายซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างจะเป็นสารที่ช่วยในการปรับ หรือควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนได้ดัง แผนภูมิ

Rumination ⟶ Saliva production ⟶ pH value

ดังนั้นการมีอาหารหยาบระดับหนึ่งในกระเพาะรูเมนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อทำให้การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนเกิดขึ้นอย่างเหมาะสมขึ้น อย่างน้อยควรมีอาหารหยาบ 40 เปอร์เซ็นต์ของอาหารทั้งหมด หรือ 20 เปอร์เซ็นต์ของเยื่อใยหยาบในอาหารทั้งหมด ซึ่ง 70 เปอร์เซ็นต์จะต้องเป็นเยื่อใยที่โครงสร้างของพืช (Structured fiber) ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงเมื่อในอาหารหยาบมีระดับของอาหารข้นสูง 35-50 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร การที่ค่าความเป็นกรด-ด่างลดต่ำลงเนื่องจากระดับของอาหารข้นสูงจะทำให้แบคทีเรียที่ย่อยแป้ง (Amylolytic bacteria) และ แบคทีเรียที่ใช้กรด (Acid tolerant bacteria) เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส (Cellulolytic bacteria) จะลดต่ำลง ซึ่งมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) และ อะไมเลส (Amylase) ในกระเพาะรูเมน

เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างในของเหลวในกระเพาะรูเมนมีความสำคัญต่อขบวนการย่อยอาหารของโค การควบคุมให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนคงที่ จะสามารถเพิ่มค่าการย่อยได้ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมควรในกระเพาะรูเมนอยู่ระหว่าง 6.0-6.5 ช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างนี้จะมีผลโดยตรงมาจากการกินอาหารของโค ถ้าโคได้กินอาหารแบบแยกกันระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะเปลี่ยนแปลงไปตามอาหารที่ให้ตลอดเวลา เมื่อให้โคกินอาหารข้นซึ่งเป็นอาหารที่มีพลังงานที่ย่อยได้สูง จะมีผลทำให้สภาพในกระเพาะรูเมนเป็นกรด ถ้าโคกินอาหารข้นมากๆ โอกาสที่กระเพาะรูเมนจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำลง หากค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5 มีผลให้ประสิทธิภาพใช้อาหารลดลง ในโคนมพบว่าไขมันในน้ำนมจะต่ำลง และโคจะแสดงอาการป่วย แต่เมื่อโคได้กินหญ้าหรืออาหารหยาบค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะสูงขึ้น เนื่องจากโคจะมีการเคี้ยวเอื้องทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำลายที่มีคุณสมบัติเป็นด่างซึ่งไหลกลับเข้ากระเพาะรูเมน น้ำลายยังช่วยปรับสภาพในกระเพาะรูเมนให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ดังนั้นการให้อาหารหยาบและอาหารข้นพร้อมๆ กันในรูปอาหารอาหารผสมเสร็จ จึงเป็นวิธีหนึ่งในการควบคุมระดับค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนให้คงที่ได้ดีกว่าการให้อาหารแยกกัน (กองอาหารสัตว์, 2547)

สัดส่วนระหว่างอาหารหยาบต่ออาหารข้นในอาหารผสมเสร็จ

สัดส่วนระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น คุณภาพอาหารหยาบและระดับความยาวของอาหารหยาบในอาหารผสมเสร็จเป็นส่วนกระตุ้นให้มีการขยอกอาหารกลับออกมาเคี้ยวใหม่และกระตุ้นการหลั่งของน้ำลาย เพื่อรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งมีผลทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น และมีผลให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงขึ้น (Owens *et al.*, 1997) ด้านปริมาณอาหารข้นในอาหารผสมเสร็จพบว่าโคที่ได้รับอาหารข้นสูงกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ในอาหารผสมเสร็จ จะมีแบคทีเรียที่ใช้เซลลูโลสในกระเพาะรูเมนต่ำลง (Nocek, 1997) เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตจากอาหารข้นสลายตัวอย่างรวดเร็วเกินกว่าที่จุลินทรีย์จะเปลี่ยนเป็นกรดโปรปีโอนิกได้ทัน ทำให้มีการสะสมของกรดแลคติกในกระเพาะรูเมนสูงขึ้น (Dato and Allen, 1995) นอกจากนี้สัดส่วนระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้นยังขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ด้วย ซึ่ง NRC (1988) ได้แนะนำสัดส่วนอาหารหยาบบางชนิดที่นำมาผสมในสูตรอาหารผสมเสร็จดังแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 แหล่งอาหารหยาบ และสัดส่วนที่ใช้ในสูตรอาหารผสมเสร็จ

ชนิดของอาหารหยาบ	สัดส่วนที่ใช้
หญ้าหมัก	30-35
หญ้าสด	35-50
ฟางข้าว	20-30
ชานอ้อย	20-30
ซังข้าวโพด	20-25
ต้นข้าวโพดหมัก	35-50
เปลือกสับปะรด	40-50

ที่มา: ดัดแปลงจาก NRC (1988)

ฉลอง (2546) รายงานว่า ลักษณะของอาหารผสมเสร็จที่ดี จะต้องมีระดับพลังงานและโปรตีนครบตามความต้องการของโคนม และตามระยะการให้นม รวมทั้งปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ อาหารผสมเสร็จ ควรมีระดับโปรตีนไหลผ่าน 30-50 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดในอาหาร มีระดับคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (Non fiber carbohydrate; NFC) ไม่เกิน 30-35 เปอร์เซ็นต์ มีเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (NDF) ไม่ต่ำกว่า 30-35 เปอร์เซ็นต์ และควรมีเยื่อใยที่ไม่ละลายในกรด (ADF) ไม่ต่ำกว่า 20-25 เปอร์เซ็นต์

Owens *et al.* (1997) รายงานว่า อาหารโคขุนในรูปอาหารผสมเสร็จควรมีระดับอาหารหยาบต่ำที่สุด 30 เปอร์เซ็นต์ และระดับอาหารข้นไม่สูงกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง อย่างไรก็ตามในการประกอบสูตรอาหารผสมเสร็จ สมคิด และบุญล้อม (2539) รายงานว่า ไม่ควรคำนึงถึงเยื่อใยหรือองค์ประกอบผนังเซลล์พืช (NDF หรือ ADF) ในส่วนของปริมาณอย่างเดียว แต่ควรคำนึงถึงขนาดของชิ้นอาหารหยาบด้วย เพราะมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นให้เกิดการบีบตัวของกระเพาะส่วนหน้า ทำให้สัตว์ขยอกอาหารออกมาเคี้ยวเอื้องและมีการขับน้ำลายออกมา ทำให้กระเพาะรูเมนมีสภาพความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมและคงที่

การใช้อาหารผสมเสร็จเลี้ยงโค

Phillips and Rind (2001) รายงานว่า การให้อาหารผสมเสร็จมีผลช่วยเพิ่มความน่ากินของอาหาร ทำให้โคกินอาหารได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้โคมีผลผลิตที่ดีขึ้น เนื่องจากอาหารผสมเสร็จมีสัดส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบที่สมดุลกัน และมีคุณค่าทางอาหารที่เพียงพอต่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิต โดยเฉพาะในแม่โคที่ให้นมสูงควรมีการจัดการอาหารให้ดี เนื่องจากแม่โคที่ให้นมสูงมีความต้องการอาหารข้นมาก จึงควรมีการจัดสัดส่วนให้เหมาะสมกับอาหารหยาบ เพื่อไม่ให้เกิดผลเสียต่อโค สอดคล้องกับรายงานของกองอาหารสัตว์ (2549) กล่าวว่า ถ้าให้โคกินอาหารข้นซึ่งมีพลังงานที่ย่อยได้สูง สภาพในกระเพาะรูเมนจะมีความเป็นกรดต่ำลง ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนต่ำกว่า 5 โคจะมีประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง สำหรับโคนมไขมันในน้ำนมจะต่ำ และโคจะแสดงอาการป่วยมีกรดในกระเพาะสูง เมื่อโคได้กินหญ้าหรืออาหารหยาบความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะสูงขึ้น เนื่องจากโคมีการเคี้ยวเอื้อง จึงทำให้มีน้ำลายซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างไหลกลับเข้ากระเพาะรูเมน จะช่วยปรับสภาพในรูเมนให้ความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ดังนั้น การให้อาหารหยาบ และอาหารข้นพร้อมๆ กันในรูปของอาหารผสมเสร็จจึงเป็นวิธีหนึ่งจะสามารถควบคุมระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนให้คงที่ได้ดีกว่าการให้อาหารแยกกัน

ประเสริฐ และคณะ (2542) รายงานผลจากการศึกษาเปรียบเทียบผลการใช้อาหารผสมเสร็จและอาหารแยกส่วนเลี้ยงโครีดนม โดยให้หญ้ารูซี่แห้งเป็นแหล่งอาหารหยาบและให้อาหารข้นมีโปรตีน 21 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15) ผลการทดลองพบว่า ในกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมเสร็จมีผลผลิตน้ำนม และส่วนประกอบน้ำนมเพิ่มขึ้นดังตาราง 16

ตาราง 15 ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลองโดยการวิเคราะห์ (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)

ส่วนประกอบ	อาหารผสมเสร็จ	อาหารข้น	อาหารหยาบ
วัตถุแห้ง	91.05	89.69	90.21
โปรตีน	12.76	22.02	6.10
ไขมัน	3.53	2.58	1.15
เยื่อใย	18.53	8.90	32.41
เถ้า	9.40	6.23	6.37
เยื่อใย NDF	55.78	60.27	53.97
เยื่อใย ADF	27.37	-	42.27
แคลเซียม	1.02	0.31	0.46
ฟอสฟอรัส	0.19	0.55	0.12

ที่มา: ดัดแปลงจากประเสริฐ และคณะ (2542)

ตาราง 16 ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร ผลผลิตและส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนมจากการทดลองใช้อาหารผสมเสร็จเลี้ยงโค

	อาหารปกติ	อาหารผสมเสร็จ
ปริมาณอาหารทั้งหมดที่กินได้, เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว	2.92	3.10
ปริมาณโปรตีนที่ได้รับ, กิโลกรัม/ตัว/วัน	1.43	1.58
ปริมาณน้ำนมทั้งหมด, กิโลกรัม/ตัว/วัน	7.56	8.04
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารทั้งหมด	1.53	1.44
องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม, เปอร์เซ็นต์		
ไขมันนม	4.06	4.48
โปรตีนนม	3.78	3.98
น้ำตาลแลคโตส	3.84	3.88
ของแข็งทั้งหมดในนม (TS)	12.06	12.72
ของแข็งไม่รวมไขมัน (SNF)	7.97	8.37

ที่มา: ดัดแปลงจากประเสริฐ และคณะ (2542)

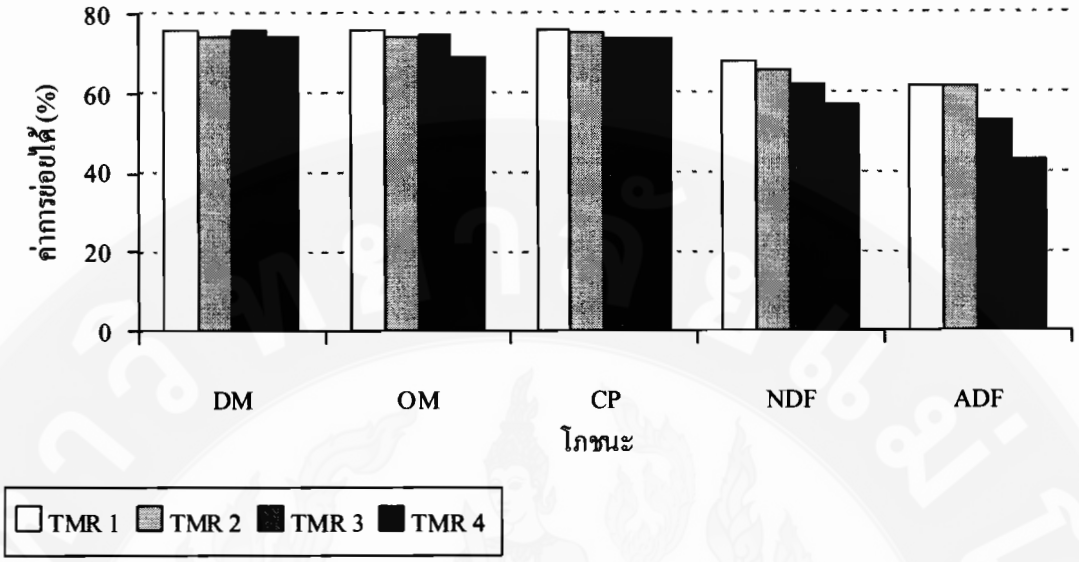
Soriano *et al.* (2001) พบว่า การให้อาหารผสมเสร็จทั้งมื้อเช้าและมื้อเย็นมีผลเพิ่มปริมาณการกินอาหารมากกว่าในกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมเสร็จเฉพาะในมื้อเช้าหรือมื้อเย็น เนื่องจากการคลุกอาหารข้นเข้ากับอาหารหยาบทำให้อาหารมีความน่ากินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำนมและส่วนประกอบของน้ำนมเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย (ตาราง 17)

ตาราง 17 ผลของวิธีการให้อาหารต่อปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม

	ให้อาหารผสมเสร็จมื้อเช้า	ให้อาหารผสมเสร็จมื้อเย็น	ให้อาหารผสมเสร็จทั้งมื้อเช้าและมื้อเย็น
ปริมาณอาหารที่กินเข้าไป, กิโลกรัม/วัน	17.5	20.3	26.6
ปริมาณน้ำนมรวม, กิโลกรัม/วัน	28.2	27.6	29.1
องค์ประกอบของน้ำนม, เปอร์เซ็นต์			
ไขมันนม	3.42	3.46	3.54
โปรตีนนม	3.20	3.22	3.28
ของแข็งไม่รวมไขมัน (SNF)	8.67	8.68	8.77

ที่มา: ดัดแปลงจาก Soriano *et al.* (2001)

ภูริพงศ์ (2549) ศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะในอาหารผสมเสร็จที่มีเปลือกสับปะรดหมักและฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบในโคนมโดยวิธีใช้สารบ่งชี้ โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มตามอาหารทดลองได้แก่ เปลือกสับปะรดหมัก (TMR 1) เปลือกสับปะรดหมักและฟางข้าวในอัตราส่วน 50:50 (TMR 2) เปลือกสับปะรดหมักและฟางข้าวในอัตราส่วน 40:10 (TMR 3) และเปลือกสับปะรดหมักและฟางข้าวในอัตราส่วน 35:15 (TMR 4) พบว่าอาหารผสมเสร็จมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและโปรตีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ภาพ 5) โดยอาหารผสมเสร็จทุกสูตรมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีนค่อนข้างสูง แต่ค่าการย่อยได้ของเยื่อใย NDF และ ADF มีค่าค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะอาหารผสมเสร็จที่มีสัดส่วนของฟางข้าวเพิ่มขึ้น



ภาพ 5 ค่าการย่อยได้ของโภชนะในอาหารผสมเสร็จที่มีเปลือกสับปะรดหมักและฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยวิธีใช้สารบ่งชี้

ที่มา: ดัดแปลงจากภูริพงศ์ (2549)

การใช้ข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารผสมเสร็จเลี้ยงโค

การใช้ข้าวโพดหมักในอาหารผสมเสร็จจะทำให้อาหารมีความน่ากินสูง โดยโคจะใช้เวลาในการกินน้อยกว่าการใช้หญ้าจัมโบ้หมัก หรือหญ้ารูซี่ผสมหญ้ากินนีหมัก ทำให้โคกินอาหารแห้งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวได้มากกว่า (3.19 เทียบกับ 3.0 และ 3.1 % น้ำหนักตัวตามลำดับ) การให้อาหารผสมเสร็จจะช่วยลดต้นทุนค่าอาหารข้นได้ โดยเฉพาะถ้าอาหารหยาบมีคุณภาพดี และมีความน่ากินสูง เพราะช่วยให้ประหยัดอาหารข้นได้มากขึ้น (สมคิด และคณะ, 2535) นอกจากนี้ตัวสัตว์ยังได้รับโภชนะครบถ้วน และมีสัดส่วนสม่ำเสมอตามความต้องการของสัตว์ ส่งผลให้สัตว์มีการเจริญเติบโตดีขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Baxter *et al.* (1995) ที่กล่าวว่า ข้าวโพดหมักจัดเป็นอาหารหยาบที่มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่นๆ และมีค่าโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดสูง การหมักข้าวโพดจะทำให้มีค่า pH ต่ำทำให้มีรสเปรี้ยว เมื่อโคกินข้าวโพดหมักอย่างเดียวจะทำให้การกินอาหารได้ลดลง และส่งผลให้ผลผลิตลดลง นอกจากนี้ข้าวโพดหมักยังมีโปรตีน และแร่ธาตุบางตัวที่จำเป็นสำหรับโครีดนมอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้นการนำข้าวโพดหมักมาใช้ในรูปอาหารผสมเสร็จจะเป็นการแก้ไขจุดอ่อนทางโภชนะการของข้าวโพดหมักได้

Nocek (1997) รายงานว่า โคที่กินอาหารผสมเสร็จจะกินอาหารคิดเป็นวัตถุแห้งได้ใกล้เคียงกับโคที่กินอาหารข้นและอาหารหยาบแยกกัน สอดคล้องกับรายงานของ Waldo *et al.* (1997) ซึ่งทำการศึกษาการใช้อาหารผสมเสร็จเลี้ยงโคสาว โดยใช้ข้าวโพดหมักเปรียบเทียบกับการถั่วอัลฟาฟ่าเป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่า ปริมาณการกินวัตถุแห้งของโคทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน แต่โคที่ได้รับข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบจะมีน้ำหนักเพิ่มต่อวันสูงกว่าคือ 898 เทียบกับ 870 กรัม/วัน นอกจากนี้การใช้ข้าวโพดหมักในสูตรอาหารผสมเสร็จมีผลช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนมและไขมันนม (ตาราง 18) โดยในกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารผสมเสร็จจะมีปริมาณน้ำนมและไขมันนมสูงกว่าในกลุ่มที่ได้รับอาหารปกติ (Bal *et al.*, 1997)

ตาราง 18 ผลข้าวโพดหมักในสูตรอาหารผสมเสร็จต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม

	กลุ่มควบคุม	ข้าวโพดหมัก
ปริมาณน้ำนม, กิโลกรัม/วัน	32.4	33.4
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนม	30.5	30.5
ไขมันนม, เปอร์เซ็นต์	3.43	3.60
โปรตีนนม, เปอร์เซ็นต์	3.50	3.49

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bal *et al.*(1997)

Hibbs and Conrad (1978) กล่าวว่า ซังข้าวโพดมีคุณค่าทางอาหารเพียงพอที่จะสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบเลี้ยงโคได้ ทั้งยังมีราคาถูกเนื่องจากเป็นเศษเหลือจากโรงงานแปรรูปข้าวโพดซึ่งทางโรงงานต้องกำจัดทิ้ง แต่ซังข้าวโพดจะมีค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ค่อนข้างต่ำจึงควรที่จะมีการเสริมแหล่งโปรตีนลงในสูตรอาหารผสมเสร็จ เพื่อช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารของซังข้าวโพด เช่น ปลาป่น ยูเรีย เป็นต้น สอดคล้องกับรายงานของ Emery *et al.* (1964) พบว่าสามารถใช้ซังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารผสมเสร็จได้ เนื่องจากเมื่อสัตว์กินแล้วมีค่าการกินได้ ปริมาณน้ำนม ไขมันนม น้ำตาลแลคโตส และโปรตีนนมที่ดีมีค่าเท่ากับ 7.8 41.9 2.40 4.89 และ 3.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้กินหญ้าแห้ง โดยมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยจึงสามารถนำมาใช้ทดแทนได้ ซึ่งจะไม่ส่งผลเสียต่อปริมาณการให้ผลผลิตของโค ดังแสดงในตาราง 19

ตาราง 19 ค่าการกินได้ ปริมาณน้ำนม ไขมันนม น้ำตาลแลคโตส และโปรตีนนมในโคที่กินหญ้าแห้ง และซังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบ

	หญ้าแห้ง	ซังข้าวโพด
ค่าการกินได้ (กิโลกรัม)	8.1	7.8
ปริมาณน้ำนม (กิดลกรัม)	43.3	41.9
ไขมันนม (เปอร์เซ็นต์)	2.28	2.40
น้ำตาลแลคโตส (เปอร์เซ็นต์)	4.95	4.89
โปรตีนนม (เปอร์เซ็นต์)	3.83	3.85

ที่มา: ดัดแปลงจาก Emery *et al.* (1964)

กรุง และคณะ (2547) ศึกษาผลของสัดส่วนซังข้าวโพด:ฟางข้าว:อาหารข้นในระดับต่างๆ ในอาหารผสมเสร็จ ดังนี้ 40:0:60 33:7:60 27:13:60 และ 20:20:60 พบว่าปริมาณการกินได้ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุลดลงตามสัดส่วนของฟางข้าวที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม สอดคล้องกับฉลอง และคณะ (2547) รายงานว่าสามารถใช้ซังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบได้ในสัดส่วนถึง 40 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ กระบวนการเคี้ยวเอื้อง และสมรรถนะในการให้ผลผลิตของโคนม การให้อาหารผสมเสร็จทำให้ปริมาณการกินได้ทั้งหมด มีค่าสูงกว่าการให้อาหารแบบแยกประเภท

ไพบูลย์ และคณะ (2539) รายงานจากการทดลองให้อาหารผสมเสร็จที่มีซังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบในโคเนื้อ พบว่าการให้อาหารผสมเสร็จสามารถเพิ่มปริมาณการกินได้ และมีแนวโน้นในการให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารหยาบและอาหารข้นแยกกันเหมือนกับการเลี้ยงทั่วไป และเทอดศักดิ์ (2541) รายงานจากศึกษาการใช้ฟางข้าวและซังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยคำนวณสูตรอาหารให้มีโภชนะใกล้เคียงกัน (ตาราง 20) และวิธีการให้อาหารผสมเสร็จ 3 วิธีคือ การให้อาหารผสมเสร็จแบบผง แบบอัดเม็ด และแบบอัดเม็ดร่วมกับฟางข้าว 1 กิโลกรัม/ตัว/วัน พบว่า ชนิดของอาหารหยาบที่ใช้ในอาหารผสมเสร็จไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่วิธีการให้อาหารแบบอัดเม็ดร่วมกับฟางข้าวจะทำให้โคกินอาหารมากขึ้น รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ไขมันนมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตาราง 21)

ตาราง 20 ตัวอย่างสูตรอาหารผสมเสร็จที่มีฟางข้าว และซังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบ

วัตถุดิบ	สูตรฟางข้าว	สูตรซังข้าวโพด
ฟางข้าว	24.51	0.00
ซังข้าวโพด	0.00	25.85
มันสัน	34.34	35.30
ปลายข้าว	17.14	14.04
ปลาป่น	5.92	5.92
กากถั่วเหลือง	2.17	3.00
กากเมล็ดทานตะวัน	9.70	9.68
กากน้ำตาล	3.92	3.91
ยูเรีย	1.57	1.52
ปูนขาว	0.23	0.27
เกลือ	0.46	0.45
รวม	100.00	100.00
ส่วนประกอบทางเคมี		
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	16.00	16.00
ME (Mcal/kgDM)	2.71	2.71
เยื่อใย NDF (เปอร์เซ็นต์)	30.05	34.49
เยื่อใย ADF (เปอร์เซ็นต์)	19.76	15.50

ที่มา: เทอดศักดิ์ (2541)

ตาราง 21 ปริมาณการกินได้ และการให้ผลผลิตของโคนมที่ได้รับอาหารผสมเสร็จที่มีฟางข้าวและซังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบในรูปแบบต่างๆ

ข้อมูลที่วัด	ซังข้าวโพด			ฟางข้าว		
	ผง	อัดเม็ด	อัดเม็ด+ฟาง	ผง	อัดเม็ด	อัดเม็ด+ฟาง
ปริมาณการกินได้ กก./วัน	14.8	14.6	15.5	14.3	12.9	15.1
ปริมาณน้ำนม กก./วัน	11.6	11.8	12.1	11.5	11.8	11.8
องค์ประกอบของน้ำนม						
ไขมัน	3.2	3.2	3.6	3.2	3.2	3.6
โปรตีน	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6
แลคโตส	5.0	4.9	5.0	5.0	5.0	5.1
SNF	9.4	9.3	9.3	9.3	9.4	9.3
pH	6.5	6.3	6.8	6.4	6.1	6.4

ที่มา: ดัดแปลงจาก เทอดศักดิ์ (2541)

ภัทยา และคณะ (2548) รายงานจากการใช้อาหารผสมเสร็จที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในระดับต่างๆ คือ 12 14 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ ฟรีเซี่ยน ที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 421.3±44.3 กิโลกรัม โดยโคได้รับอาหารผสมเสร็จที่มีซังข้าวโพดร่วมกับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบต่ออาหารข้น 40:60 (ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารผสมเสร็จดังตาราง 22) จากการทดลองพบว่าระดับโปรตีนที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้โคนมได้รับโปรตีนและอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดในของเหลวจากกระเพาะรูเมน และทำให้ผลผลิตน้ำนม และปริมาณโปรตีนนมเพิ่มสูงขึ้น ($P>0.05$) โดยแนะนำว่าควรใช้สูตรอาหารผสมเสร็จที่มีระดับโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโคที่ให้ผลผลิตน้ำนม 10-15 กิโลกรัม/ตัว/วัน

ตาราง 22 ตัวอย่างสูตรอาหารผสมเสร็จที่มีฟางข้าวและซังข้าวโพดหวานเป็นแหล่งอาหารหยาบ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหารผสมเสร็จ			
	12	14	16	18
ฟางข้าว	20.0	20.0	20.0	20.0
ซังข้าวโพด	20.0	20.0	20.0	20.0
กากน้ำตาล	4.7	4.7	4.7	4.7
ปลายข้าว	5.5	5.0	4.5	5.0
ข้าวโพดป่น	2.8	2.5	2.2	2.0
กากถั่วเหลือง	9.0	13.0	17.0	21.0
มันเส้น	22.0	20.0	18.0	16.0
กากปาล์ม	5.5	5.0	4.5	4.0
เกลือ	0.2	0.2	0.2	-
ปูนขาว	0.4	0.4	0.4	-
เมล็ดฝ้าย	0.8	7.5	6.5	6.0
ยูเรีย	0.9	0.9	0.9	-
Mineral/Vitamin	0.4	0.4	0.4	0.4
Dicalcium phosphate	0.4	0.4	0.4	0.4
ซัลเฟอร์	0.2	0.2	0.2	0.2
ส่วนประกอบทางเคมีจากการวิเคราะห์	(เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)			
โปรตีนรวม	11.2	13.9	15.7	17.8
เยื่อใย NDF	53.9	50.4	50.7	49.7
เถ้า	8.0	8.1	8.3	8.6
ไขมัน	3.2	2.8	2.9	3.2

ที่มา: ดัดแปลงจาก ภัทยา และคณะ (2548)

การย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ระบบการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องแตกต่างจากสัตว์ปีกและสุกรมาก ระบบทางเดินอาหารของโครวมทั้งหมดยาวประมาณ 180 ฟุต การทำงานของปาก ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่คล้ายคลึงกับในสุกร แต่แตกต่างกันที่กระเพาะอาหาร โดยกระเพาะอาหารของโคสามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วนคือ กระเพาะผ้าขี้ริ้ว (Rumen) กระเพาะรังผึ้ง (Reticulum) กระเพาะสามสิบกลีบ (Omasum) และกระเพาะแท้ (Abomasum) โดยกระเพาะอาหาร 3 ส่วนแรกทำหน้าที่คล้ายกระเพาะพักของสัตว์ปีก แต่แตกต่างกันที่กระเพาะทั้ง 3 มีความสำคัญในการย่อยอาหารหยาบ ส่วนกระเพาะแท้ทำหน้าที่ทุกอย่างคล้ายกับสัตว์กระเพาะเดี่ยว (ศรีสกุล และสิทธิ, 2539)

กระเพาะรูเมน และเรติคูลัมจัดเป็นกระเพาะส่วนแรกที่รองรับอาหารที่กินเข้าไปในร่างกาย การย่อยอาหารในบริเวณนี้ถูกกระทำโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ต่างๆ ที่อาศัยอยู่ภายในได้แก่ แบคทีเรีย (Bacteria) โปรโตซัว (Protozoa) และ เชื้อรา (Fungi) โดยไม่มีเอนไซม์ที่ผลิตจากสัตว์เข้ามาย่อยอาหารเหล่านี้ เนื่องจากว่าเนื้อเยื่อของกระเพาะส่วนนี้ไม่มีต่อมสำหรับผลิตเอนไซม์ และอาหารที่ย่อยแล้วในบริเวณนี้ส่วนหนึ่งเป็นประโยชน์กับสัตว์เคี้ยวเอื้อง และอีกส่วนหนึ่งถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารของจุลินทรีย์ ทำให้ประชากรจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์มีคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะในส่วนของโปรตีนที่มีคุณภาพดี จึงทำให้โปรตีนจากจุลินทรีย์เหล่านี้เมื่อผ่านไปถึงกระเพาะอะโบมาซัม ที่ทำหน้าที่เหมือนกระเพาะแท้ของสัตว์กระเพาะเดี่ยว โปรตีนจากจุลินทรีย์จะถูกย่อยเป็นอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องต่อไป (เทอดชัย, 2548)

โดยทั่วไปแล้วการหมักย่อยของของอาหารในกระเพาะรูเมน จะเกี่ยวข้องกับขบวนการใหญ่ๆ 2 ขบวนการด้วยกันคือ

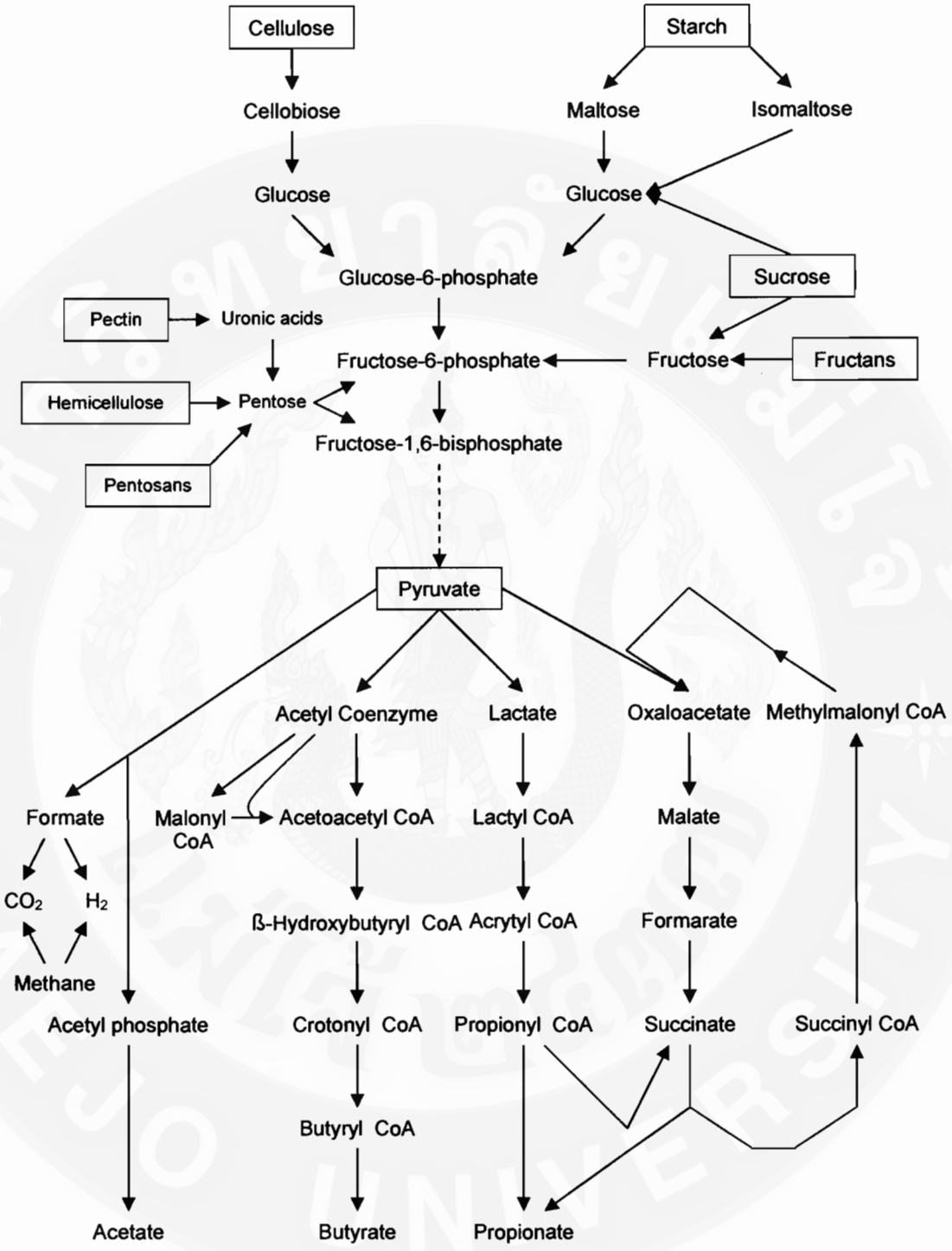
1. การสลายตัวของส่วนประกอบของอาหารโดยจุลินทรีย์ ได้แก่ อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนเป็นหลัก

2. ขบวนการสังเคราะห์ให้เป็นสารโมเลกุลใหญ่ (Macro-molecule) ของตัวจุลินทรีย์ โดยโมเลกุลใหญ่เหล่านี้ได้แก่ โปรตีน (Nucleic acids) และกรดไขมัน (Fatty acid) ชนิดต่างๆ (สกล, 2546)

การสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

คาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญมากต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง ในพืชแต่ละชนิดจะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับพืชและปัจจัยอื่นๆ การแบ่งชนิดของคาร์โบไฮเดรตในสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (Structural carbohydrate) ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และแพคติน (Pectin) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตส่วนนี้ไม่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์จากตัวสัตว์ แต่สามารถย่อยได้โดยจุลินทรีย์ และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (Non-structural carbohydrate) ได้แก่ แป้งและน้ำตาล เมื่ออาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเข้าสู่กระเพาะรูเมนจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในขั้นแรกจะได้น้ำตาลเชิงซ้อน (Polysaccharide) จากนั้นถูกย่อยในขั้นตอนสุดท้ายได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดียว (Monosaccharide) และถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวท (Pyruvate) (เมธา, 2533)

การย่อยคาร์โบไฮเดรตทุกชนิดนั้นผลสุดท้ายจะได้กลูโคส (Glucose) (ภาพ 6) แต่กลูโคสนั้นจะปรากฏอยู่เพียงชั่วคราว เนื่องจากถูกจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นไพรูเวท ที่พร้อมจะเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid: VFA) จากนั้นจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะสังเคราะห์ก๊าซมีเทน (Methane) จากกรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายที่ผลิตขึ้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่กิน โดยทั่วไปถ้าโคกินหญ้าอย่างเดียวจะผลิตกรดอะซิติกมากที่สุด คือ 65 เปอร์เซ็นต์ โปรปิโอนิก 20 เปอร์เซ็นต์ บิวทีริก 12 เปอร์เซ็นต์ และอื่นๆ เช่น วาลีริก (Valeric) ไอโซวาลีริก (Isovaleric) และ ไอโซบิวทีริก (Isobutyric) อีก 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมน และคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเมื่อผ่านไปยังลำไส้เล็ก คาร์โบไฮเดรตประเภทแป้งจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากลำไส้เล็กและตับอ่อนได้เป็นกลูโคส จากนั้นกลูโคสถูกดูดซึมและนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยตรง ส่วนคาร์โบไฮเดรตประเภทเยื่อใยไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์จากลำไส้เล็ก จึงผ่านเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ และการย่อยคาร์โบไฮเดรตในลำไส้ใหญ่เกิดจากการย่อยโดยจุลินทรีย์เหมือนในกระเพาะรูเมนผลผลิตที่ได้คือกรดไขมันระเหยง่ายและโปรตีนในตัวของจุลินทรีย์ (McDonald *et al.*, 1995)



ภาพ 6 การหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

ที่มา: ดัดแปลงจาก McDonald *et al.* (1995)

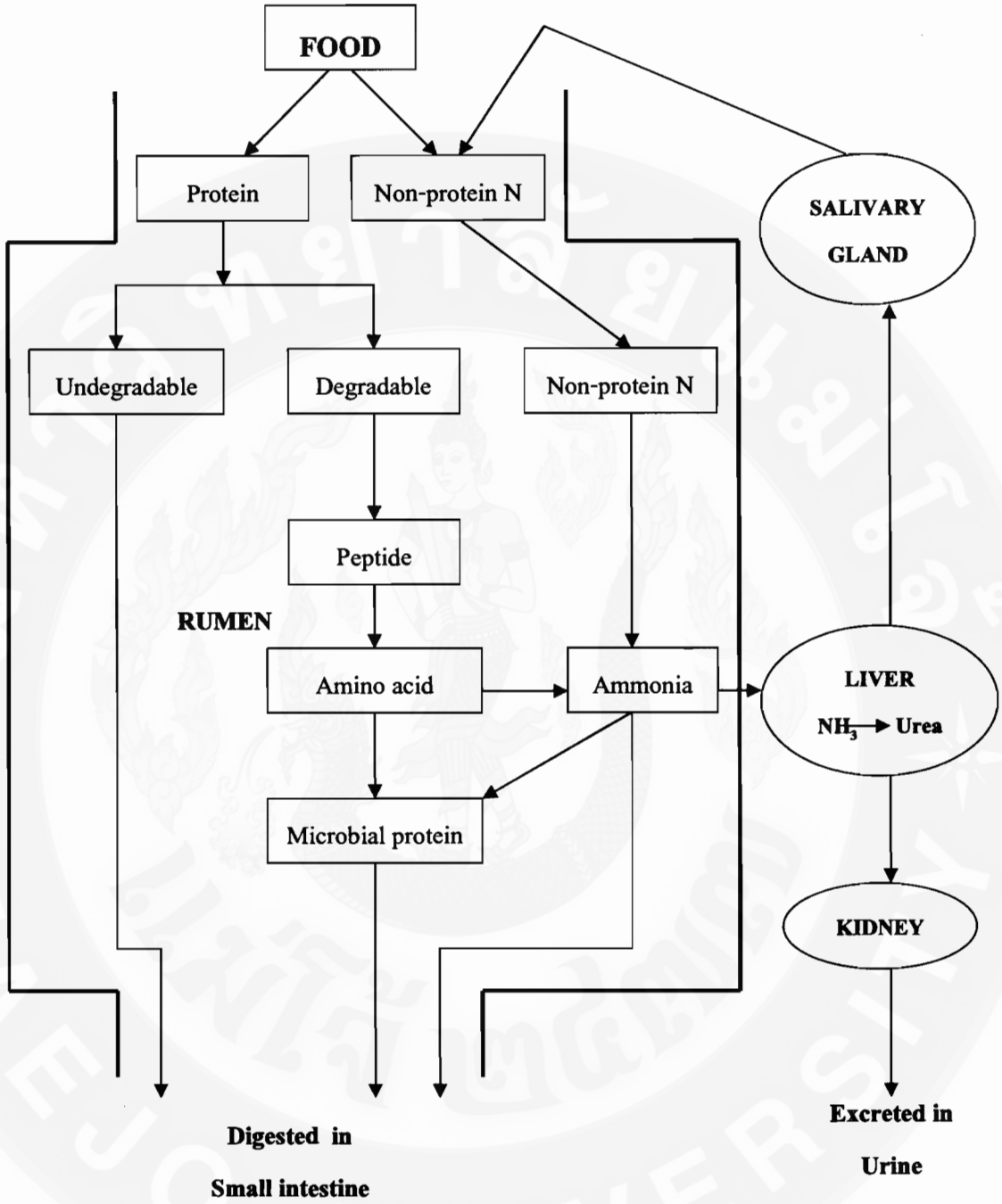
การสลายตัวของโปรตีนในกระเพาะรูเมน

โปรตีนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ โปรตีนแท้ (True protien) และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (Non-protein nitrogen ; NPN) ในกระเพาะรูเมนมีแบคทีเรียที่ใช้โปรตีนที่จะไฮโดรไลซ์โปรตีนที่กินเข้าไปให้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน และมีการหมัก (Fermentation) ต่อได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และเกิดแอมโมเนีย รวมทั้งพวกกรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty acid) โดยกระบวนการดีอะมิเนชั่น (Deamination) และกรดอะมิโนอาจถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันระเหยง่ายสภาพที่ปกติ นอกจากนี้กรดอะมิโนจะถูกแบคทีเรียใช้สำหรับการสังเคราะห์เป็นตัวแบคทีเรียเอง อย่างไรก็ตามแบคทีเรียก็สามารถนำแอมโมเนียที่ได้จากการหมัก และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนที่ละลายอยู่ในกระเพาะรูเมนไปใช้ได้โดยใช้ร่วมกับคาร์โบไฮเดรตเพื่อสร้างเป็นโปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Microbial protein) ขึ้นมา ซึ่งเมื่อโปรตีนเหล่านี้ผ่านเข้าสู่ลำไส้เล็กจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ในลำไส้ได้เป็นกรดอะมิโน และดูดซึมต่อไปเช่นเดียวกับสัตว์กระเพาะเดี่ยว

การเกิดกระบวนการหมักของโปรตีนสามารถทำให้เกิดทั้งข้อดีและข้อเสียต่อสัตว์ดังนี้

1. กรณีมีโปรตีนคุณภาพต่ำและไม่เพียงพอต่อตัวสัตว์ จุลินทรีย์จะเข้าสังเคราะห์กรดอะมิโนสำหรับสร้างโปรตีนของตัวจุลินทรีย์เองซึ่งมีคุณภาพดี แล้วจึงถูกย่อยต่อในตัวสัตว์ถือเป็นการได้เปรียบ

2. กรณีที่กินอาหารโปรตีนคุณภาพสูงและมีจำนวนมากเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียผ่านทางยูเรีย สัตว์จะได้รับประโยชน์จากกรดอะมิโนโปรตีนของจุลินทรีย์น้อยกว่าได้รับจากอาหารโดยตรง (เทอดชัย, 2548) ดังภาพ 7



ภาพ 7 การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในสัตว์กระเพาะรวม

ที่มา: McDonald *et al.* (1995)

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน และยูเรียในเลือด

แหล่งของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนส่วนใหญ่ได้มาจากการย่อยสลายของโปรตีนและขบวนการดีอะมิเนชั่นของกรดอะมิโนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แหล่งอื่นจองแอมโมเนีย ได้แก่ ยูเรียที่หมุนเวียนกลับเข้าสู่ทางเดินอาหารจากน้ำลายและเลือด แต่ก็มีจำนวนน้อย ดังนั้นจึงมีการเสริมสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนลงในอาหาร เพื่อใช้เป็นแหล่งของยูเรียเพิ่มเติม ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนควรจะไม่ต่ำกว่า 5 mg/100 ml การเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียให้สูงขึ้นจะไม่มีผลทำให้จุลินทรีย์สังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้น ปกติความเข้มข้นของแอมโมเนียจะไม่คงที่ โดยจะมีค่าสูงสุดภายหลังจากสัตว์กินอาหารหนึ่งหรือสองชั่วโมง หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดต่ำลง การที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียให้มีค่าเฉลี่ย 5 mg/100 ml ตามที่ต้องการ ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียจะต้องอยู่ระหว่าง 3-8 mg/100 ml การสังเคราะห์โปรตีนจึงจะได้ผลดี (Satter and Roffer, 1981)

โดยปกติแล้วแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อตัวสัตว์ จึงต้องมีการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นสารที่เป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนีย ได้แก่ ยูเรีย (Urea) ที่บริเวณตับ สัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีความสามารถในการหมุนเวียนไนโตรเจนที่มีอยู่ในร่างกายกลับเข้าสู่กระเพาะรูเทน ทำให้มีแหล่งของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจากที่ได้รับจากอาหาร ปริมาณของไนโตรเจนที่หมุนเวียนกลับเข้ามาจะอยู่ที่ระหว่าง 13-15 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับ แหล่งที่มาของไนโตรเจนเหล่านี้ ได้แก่

1. ยูเรียจากกระแสเลือดที่ผ่านเข้ามาในกระเพาะรูเมน เป็นแหล่งไนโตรเจนที่ใหญ่ที่สุดของไนโตรเจนทั้งหมดที่หมุนเวียนกลับเข้ามา โดยอาจมีค่าสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่หมุนเวียนกลับเข้ามาทั้งหมด ยูเรียที่ผ่ายเข้ามาโดยวิธีนี้จะถูกเอนไซม์ยูรีเอส (Urease) จากแบคทีเรียที่อยู่ในกระเพาะรูเมนให้เป็นแอมโมเนีย และจุลินทรีย์สมารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยถายใต้สภาวะที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียภายในกระเพาะรูเมนต่ำ การสลายยูเรียจากเลือดก็จะเพิ่มขึ้น พร้อมกับทำให้ยูเรียที่เข้ามาจากเลือดเพิ่มขึ้นด้วย (Haupt, 1959)

2. ยูเรียจากน้ำลาย ในน้ำลายของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมียูเรียเป็นส่วนประกอบอยู่สูงถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ ปริมาณยูเรียในน้ำลายจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของยูเรียที่มีในเลือด และการที่สัตว์จะได้รับยูเรียจากน้ำลายก็ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์กินเข้าไป ถ้าสัตว์กินอาหารหยาบแห้ง จะมีการผลิตน้ำลายออกมาเป็นจำนวนมากคลุกเคล้ากับอาหารเพื่อให้กลืนอาหารได้สะดวก ทำให้ได้รับยูเรียเป็นจำนวนมาก

3. ไนโตรเจนจากเนื้อเยื่อบางส่วยของร่างกายที่สลายตัว (Endrogenous nitrogen) นอกจากไนโตรเจนที่หมุนเวียนกลับเข้ามาในรูปน้ำลาย และแพร่โดยตรงเข้าสู่ทางเดินอาหารแล้ว ยังมีไนโตรเจนอีกส่วนหนึ่งที่เป็นเนื้อเยื่อบางส่วนของร่างกายที่สลายตัว และเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร เนื้อเยื่อเหล่านี้ได้แก่ เยื่อบุผิว (Epithelium) ภายในปาก เนื้อเยื่อผนังกระเพาะรูเมน และจากส่วนอื่นๆ ที่เข้าไปในทางเดินอาหาร ปริมาณไนโตรเจนจากแหล่งนี้น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับยูเรียจากเลือดและน้ำลาย

กรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน

เมธา (2533) กล่าวว่า คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทั้งหมดโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย เช่น กรดอะซิติก กรดโปรปิโอนิก กรดบิวทีริก และกรดวาลีริก ซึ่งกรดวาลีริกมีปริมาณน้อยที่สุดในกระเพาะรูเมน ในระหว่างการหมักจะมีสารตัวกลางเกิดขึ้น (Intermediate products) คือ กรดซัคซินิก (Succinic acid) และกรดแลคติก (Lactic acid) เกิดขึ้นด้วย นอกจากนี้จะมีการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน กรดไขมันระเหยง่ายจะถูกใช้เป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญของร่างกายโค โดยกรดอะซิติกถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานหลัก และใช้ในการผลิตไขมันนม ส่วนกรดโปรปิโอนิกถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลในน้ำนม และไขมันในร่างกายหรือไขมันในซาก กรดบิวทีริกก็สามารถถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานได้เช่นกัน ภายในกระเพาะรูเมนการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น และสัดส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายจะไม่คงที่เสมอไปขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร และระยะเวลาภายหลังจากการกินอาหาร ความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดโปรปิโอนิก และกรดบิวทีริก มีค่าเท่ากับ 62 22 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ วิโรจน์ (2546) กล่าวว่าในอาหารปกติโดยทั่วไปจะมีสัดส่วนของกรดอะซิติก 65 เปอร์เซ็นต์ กรดโปรปิโอนิก 20 เปอร์เซ็นต์ และกรดบิวทีริก 15 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการให้อาหารและสัดส่วนของอาหาร ถ้าให้อาหารที่มีแหล่งคาร์โบไฮเดรตย่อยง่ายมาก และมีปริมาณเยื่อใยน้อย จะมีผลให้มีการผลิตกรดอะซิติกน้อยลง แต่การผลิตกรดโปรปิโอนิกจะเพิ่มขึ้น (เทอดชัย, 2548 และ Hungate, 1966 อ้างโดยเมธา, 2533)

Ishler *et al.* (1996) รายงานว่า สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน โดยพบว่าปริมาณกรดอะซิติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณสัดส่วนอาหารหยาบมากขึ้น และหากมีสัดส่วนของอาหารข้นมากขึ้น ปริมาณกรดอะซิตกจะลดลง แต่ปริมาณกรดโปรปิโอนิกและกรดบิวทีริกจะเพิ่มสูงขึ้น (ตาราง 23)

ตาราง 23 สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่มีผลต่อกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน

สัดส่วนของอาหารหยาบ	สัดส่วนของกรดไขมันระเหยง่าย (เปอร์เซ็นต์)		
ต่ออาหารข้น	กรดอะซิติก	กรดโปรปีโอนิก	กรดบิวทีริก
100 : 00	71.1	16.0	7.9
75 : 25	68.2	18.1	8.0
50 : 50	65.3	18.4	10.4
40 : 60	59.8	25.9	10.2
20 : 80	53.6	30.6	10.7

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ishler *et al.* (1996)

พนัส (2537) รายงานจากการศึกษาการใช้ประโยชน์ของอาหารผสมเสร็จอัดแท่ง คือ หญ้าแห้งและอาหารข้น ฟาง+กระถินแท่งและอาหารข้น และอาหารผสมเสร็จอัดแท่ง เลี้ยงโคนม ลูกผสมเพศผู้ที่ได้รับการเจาะกระเพาะรูเมน 3 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 310 กิโลกรัม โดยแผนการทดลองแบบ 3×3 ลาตินสแควร์ เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่ 0 1 2 3 4 5 6 8 และ 12 ชั่วโมงหลังจากการให้อาหาร และเก็บตัวอย่างเลือดที่ 0 3 6 9 และ 12 ชั่วโมงหลังจากการกินอาหาร พบว่าโคทดลองมีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเท่ากับ 8.19 7.36 และ 8.17 กิโลกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณแอมเนีย-ไนโตรเจน ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในของเหลวจากกระเพาะรูเมน และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในเลือดแตกต่างกันเล็กน้อย โดยทุกกลุ่มทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างในของเหลวจากกระเพาะรูเมนต่ำที่สุดในชั่วโมงที่ 8 หลังจากการกินอาหาร และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะรูเมนมีค่าสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 4 หลังจากการกินอาหาร

ระบบนิเวศวิทยาภายในกระเพาะรูเมน

ภายในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่มากมายหลายชนิด ในแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป จุลินทรีย์บางชนิดก็มีความคล้ายคลึงกันบ้างในบางส่วน แต่จำนวนประชากรและชนิดของจุลินทรีย์จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับ (เทอดชัย, 2548) โดยประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน จะถูก

ควบคุมโดยความสมดุลของระบบนิเวศวิทยาภายในกระเพาะรูเมนเอง เนื่องจากสภาวะภายในกระเพาะรูเมนมีลักษณะเฉพาะตัวหลายอย่าง และแตกต่างไปจากระบบการหมักในสภาพไร้ออกซิเจนอื่นๆ ส่วนที่สำคัญของสภาวะในกระเพาะรูเมนคือ สามารถรักษาระดับของอุณหภูมิได้และถูกควบคุมโดยขบวนการ Homeothermic metabolism ของตัวสัตว์เอง นอกจากนี้แล้วยังมีความแปรปรวนของระดับน้ำและอาหารภายไปในกระเพาะรูเมน การหมักอาหารจะเป็นการผลิตกรดไขมันระเหยได้ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จะอยู่ในช่วง 6-7 และมีอุณหภูมิอยู่ที่ 39 องศาเซลเซียส ซึ่งค่อนข้างจะคงที่ (Van Soest, 1985)

เมธา (2533) รายงานว่า โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะเข้าย่อยสลายหรือใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใยได้อย่างเต็มที่และมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. จำเป็นต้องมีประชากรจุลินทรีย์อยู่อย่างเพียงพอและคงที่
2. จำเป็นที่จุลินทรีย์จะต้องเกาะยึดติดกับผิวอาหารเยื่อใยเป็นเวลาที่เหมาะสม
3. ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารจะต้องเหมาะสมต่อการเข้าย่อยสลาย และการใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์
4. จำเป็นต้องมีอัตราการย่อยสลาย (Rate of degradation) ผลการย่อยสลายสุดท้าย (Extent of degradation) และอัตราการย่อยสลายจากอนุภาคใหญ่เป็นอนุภาคเล็กในอัตราความเร็วสูง รวมทั้งขนาดความจุของกระเพาะรูเมนด้วย

จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะสร้างโปรตีนเพื่อขยายจำนวนเซลล์ โดยใช้ไนโตรเจนที่เข้ามากับอาหารในกระเพาะรูเมน ดังนั้นสารประกอบใดๆ ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ จุลินทรีย์สามารถนำมาสังเคราะห์เป็นโปรตีนได้ โดยสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนและโปรตีนจะต้องแตกตัวเป็นก๊าซแอมโมเนียเสียก่อน จุลินทรีย์จึงนำไปใช้ประโยชน์โดยสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนเพื่อสร้างเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ และเมื่ออาหารเคลื่อนไปยังกระเพาะแท้ จุลินทรีย์ที่ติดไปกับอาหารจะถูกย่อยโดยน้ำย่อยจากตัวสัตว์ สัตว์จึงได้รับกรดอะมิโนจากเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้ว กรดอะมิโนที่ได้มีทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็น จะมีชนิดใดมากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และชนิดของวัตถุดิบอาหารที่สัตว์ได้รับ นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังช่วยสังเคราะห์ไวตามินต่างๆ เช่น ไวตามินบีรวม และไวตามินเค เป็นต้น

การแบ่งแยกชนิดของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน

จุลินทรีย์ที่พบในกระเพาะรูเมนมีอยู่ 2 ชนิด คือ แบคทีเรีย (Bacteria) และโปรโตซัวประเภทมีขนรอบตัว (Ciliated protozoa) ในบางครั้งอาจพบเชื้อรา และยีสต์ (Yeast) ปะปนกันบ้าง หรือโปรโตซัวพวกที่มีพู่ หรือขนด้านใดด้านหนึ่งของเซลล์ (Flagellated protozoa) ที่พบในสัตว์เคี้ยวเอื้องอายุน้อยในบางครั้ง และเนื่องจากสภาพในกระเพาะรูเมนเป็นสภาพไม่มีอากาศ (Anerobic) จึงทำให้จุลินทรีย์เกือบทั้งหมดเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobes) จึงสามารถกำหนดลักษณะเฉพาะของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้ดังต่อไปนี้

1. เป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในที่ที่ไม่มีออกซิเจนได้
2. ให้ผลผลิตชนิดเดียวกับผลผลิตที่พบในกระเพาะรูเมน
3. หากเป็นแบคทีเรียจะต้องมีอย่างน้อย 1 ล้านเซลล์/น้ำหนัก 1 กรัม (เทอดชัย, 2548)

แบคทีเรีย

แบ่งแยกชนิดของแบคทีเรียภายในกระเพาะรูเมน สามารถแบ่งแยกตามชนิดของอาหารและผลผลิตของแบคทีเรียเป็นหลัก และได้แบ่งประเภทของแบคทีเรีย ดังนี้

1. แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส (Cellulolytic bacteria) เป็นแบคทีเรียชนิดที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ย่อยเซลลูโลสได้ นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียชนิดนี้อาจจะย่อยเซลโลไบโอสได้อีกด้วย การย่อยเซลลูโลสโดยแบคทีเรียประเภทนี้อย่างเดียวจะย่อยได้ช้า แต่ถ้ามีแบคทีเรียหลายชนิดรวมกันจะสามารถย่อยเซลลูโลสได้เร็วกว่า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากโครงสร้างของพืชประกอบด้วยการรวมตัวของคาร์โบไฮเดรตที่ซับซ้อน เอนไซม์จากแบคทีเรียชนิดใดชนิดหนึ่งอาจจะมีผลตรงจุดใดจุดหนึ่งเท่านั้น การที่มีเอนไซม์จากแบคทีเรียที่ต่างชนิดกันแต่อยู่ในประเภทเดียวกัน อาจมีผลในด้านการเข้าย่อยในจุดต่างๆ ร่วมกันได้

2. แบคทีเรียที่ย่อยเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose digesting bacteria) เฮมิ-เซลลูโลสแตกต่างจากเซลลูโลสตรงที่มีแพนโทส (Pentose) และกรดยูโรนิก (Uronic acids) เป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง นอกเหนือจากการมีเฮกโซสน้ำตาลที่มีคาร์บอก 6 ตัว (Hexose) เป็นส่วนประกอบ แบคทีเรียที่สามารถย่อยเซลลูโลสได้จะสามารถย่อยเฮมิเซลลูโลสได้ด้วย แต่มีแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถย่อยเฮมิเซลลูโลสแต่ไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้

3. แบคทีเรียที่ย่อยแป้ง (Amylolytic bacteria หรือ Starch digesting bacteria) หมายถึง แบคทีเรียที่สามารถย่อยเซลลูโลสบางชนิดสามารถย่อยแป้งได้

4. แบคทีเรียที่ย่อยน้ำตาล (Utilizing sugar bacteria) เป็นแบคทีเรียที่สามารถย่อยโพลีเซคคาไรด์ (Polysaccaride) ได้ สามารถย่อยโมโนเซคคาไรด์ (Monosacharide) หรือไดเซคคาไรด์ (Disacharide) ได้อีกด้วย อาหารของแบคทีเรียประเภทนี้ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีมากในพืชที่อายุน้อย และน้ำตาลจากเซลล์แบคทีเรียบางชนิดที่ตายแล้ว หากน้ำตาลมีอยู่น้อยและการหมักคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ในกระเพาะรูเมนเกิดขึ้นเร็วและต่อเนื่องกัน จะทำให้เกิดการขาดน้ำตาลและมีผลทำให้แบคทีเรียประเภทนี้ลดจำนวนลงได้

5. แบคทีเรียที่ใช้กรด (Utilyzing acids bacteria) ตามปกติจะมีแบคทีเรียชนิดนี้ เช่น แบคทีเรียที่ใช้กรดแลคติกอยู่น้อยในกระเพาะรูเมน นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียประเภทนี้ที่ใช้กรดชนิดอื่นๆ เป็นอาหารได้อีก เช่น กรดซักซิเนต (Succinate acid) กรดมาลิก (Malic acid) กรดฟูมาลิก (Fumaric acid) และ กรดออกซาลิก (Oxalic acid)

6. แบคทีเรียที่ย่อยโปรตีน (Proteolytic bacteria) แบคทีเรียประเภทนี้จะใช้กรดอะมิโนเป็นแหล่งพลังงานโดยตรง

7. แบคทีเรียที่ผลิตแอมโมเนีย (Ammonia producing bacteria)

8. แบคทีเรียที่สังเคราะห์มีเทน (Methane producing bacteria)

9. แบคทีเรียย่อยไขมัน (Lipolytic bacteria) มีแบคทีเรียหลายชนิดที่สามารถใช้กลีเซอรอล (Glycerol) และสามารถไฮโดรไลซ์กลีเซอรอลจากโมเลกุลของไขมันได้

10. แบคทีเรียที่สังเคราะห์ไวตามิน (Vitamin-synthesizing organism) เช่น ไวตามินบีต่างๆ

โปรโตซัว

ส่วนใหญ่ที่พบเป็นชนิด Ciliated protozoa ที่มีขน (Cilia) รอบลำตัว และมีโปรโตซัวบางส่วนจำนวนน้อยมากที่เป็นชนิด Flagellated protozoa ที่มี Flagella อยู่ที่หาง การจำแนกชนิดของโปรโตซัวยึดถือรูปร่างลักษณะเป็นสำคัญ เนื่องจากมีขนาดใหญ่มองเห็นได้ชัด ทำให้แบ่งแยกลักษณะเซลล์ได้ง่าย โดยแบ่งออกเป็น 2 Sub-class ด้วยกัน ได้แก่

1. Sub-class : Holotrichia มีขนาดใหญ่สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างรวดเร็ว มีขนอยู่รอบลำตัว

2. Sub-class : Spirotrichia ; Order : Entodinimorpha หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Oligotricha มีพู่หรือปุยของ Cilia อยู่ด้านหน้าของลำตัว

เชื้อรา

โดยทั่วไปเชื้อราที่สามารถอยู่ได้ในสภาพไร้ออกซิเจน การจัดจำแนกชนิดของเชื้อราชนิดนี้ยังไม่ชัดเจน แต่พบว่าเกี่ยวข้องกับเชื้อราประเภทที่อยู่ในน้ำ (Aquatic phycomycetes) วงจรชีวิตของเชื้อราพวกนี้แบ่งได้เป็น 2 ระยะด้วยกัน คือ

1. ระยะที่เชื้อราเคลื่อนไหวได้ (Motile flagellated zoospore) โดยมีส่วนหางทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่

2. ระยะหยุดการเคลื่อนไหว (Non-motile vegetative หรือ Reproductive phase; Sporangium) และเริ่มมีการเจริญเติบโตของตัวเชื้อราเอง โดยมี Rhizoid ที่ทำหน้าที่คล้ายกับรากของต้นไม้ เจาะ แทง เข้าไปในเนื้อเยื่อของพืชที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไป และสามารถนำเอาคาร์บอนจากพืชเหล่านี้มาใช้เป็นอาหารได้

ผลของอาหารต่อจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน

การจัดสัดส่วนระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบให้เหมาะสมจะส่งผลให้เกิดกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาหารหยาบช่วยกระตุ้นการเคี้ยวเอื้อง เกิดการขับน้ำลาย ซึ่งมีหน้าที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะรูเมนให้เหมาะสม ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เป็นกรดจนเกินไป ส่วนอาหารข้นเป็นแหล่งของแอมโมเนียซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ (Hoover and Stoke, 1991)

Franzolin and Dehority (1996) ศึกษาระดับของอาหารข้นต่อปริมาณของโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน โดยให้อาหารทดลองชนิดต่างๆ คือ กลุ่มที่ 1 ให้หญ้าแห้งอย่างเดียว กลุ่มที่ 2 เสริมด้วยอาหารข้น 50 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ 3 เสริมด้วยอาหารข้น 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่าระดับอาหารข้นที่เพิ่มขึ้นมีผลเพิ่มปริมาณของโปรโตซัวภายในกระเพาะรูเมน โดยเฉพาะ *Entodinium* และ *Epidinium* ดังแสดงในตาราง 24

ตาราง 24 ผลของระดับอาหารข้นต่อปริมาณของโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน

	หญ้าแห้งอย่างเดียว	อาหารข้น 50 เปอร์เซ็นต์	อาหารข้น 75 เปอร์เซ็นต์
Entodinium	3.19	5.71	7.35
Diplodiniinae	0.09	0.07	0.02
Epidinium	0.31	0.60	0.62
Isotricha	0.02	0.04	0.04
รวมทั้งหมด	3.61	6.42	8.03

ที่มา: ดัดแปลงจาก Franzolin and Dehority (1996)

Jones *et al.* (1998) ได้ทำการทดลองผลของระดับเปปไทด์ต่อการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยใช้เปปไทด์ 3 ระดับ คือ 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับเปปไทด์มีผลทำให้การย่อยอาหารประเภทเยื่อใย ค่า pH ภายในกระเพาะรูเมน ปริมาณของแบคทีเรียที่ใช้เซลลูเลสและปริมาณกรดอะซิติกในกระเพาะรูเมนลดลง แต่มีผลเพิ่มปริมาณกรดโปรปีโอนิกและปริมาณของโปรตีนจุลินทรีย์ สอดคล้องกับรายงานของ Miron *et al.* (2001) รายงานว่า อาหารประเภทเยื่อใยมีผลเพิ่มปริมาณของแบคทีเรียที่ใช้เซลลูโลส นอกจากนี้ยังกล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนดังนี้

1. ปัจจัยของตัวแบคทีเรียเอง
    1.1 อายุ
    1.2 ชนิดของแบคทีเรีย
    1.3 สัดส่วนของแบคทีเรียแต่ละชนิด
2. ชนิดของอาหารที่โคกินเข้าไป
3. สิ่งแวดล้อมในกระเพาะรูเมน
    3.1 อุณหภูมิในกระเพาะรูเมน
    3.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน
    3.3 ชนิดของอิออนบวก และลบในกระเพาะรูเมน
    3.4 ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้

การหาการย่อยได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การประเมินคุณค่าทางอาหารสามารถตรวจสอบได้หลายวิธีแต่ที่นิยมกันโดยทั่วไป คือ วิธีการวิเคราะห์อาหารแบบประมาณ (Proximate analysis) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะในอาหารข้น เพราะสามารถบอกองค์ประกอบทางเคมีของอาหารได้ดีระดับหนึ่ง แต่ยังมีจุดอ่อนในเรื่องการวิเคราะห์เยื่อใย ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการวิเคราะห์เยื่อใยขึ้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาหารหยาบ เรียกว่า Detergent method ซึ่งเป็นวิธีการปริมาณส่วนประกอบของผนังเซลล์โดยเฉพาะการหาค่าปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น ซึ่งมีความสำคัญในการเปรียบเทียบคุณภาพพืชอาหารสัตว์ นอกจากนี้ยังมีวิธีการวิเคราะห์หาแร่ธาตุต่าง ๆ ในอาหารสัตว์ที่มีความจำเป็นต้องทราบ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิธีการวิเคราะห์พลังงาน โดย Bomb calorimeter อย่างไรก็ตามข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ยังไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ประเมินคุณภาพอาหารสัตว์ เพราะข้อมูลเหล่านี้ไม่สามารถบอกถึงได้ว่าโภชนะต่าง ๆ ที่มีอยู่ในอาหารจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากหรือน้อยเพียงใด ในการประเมินคุณภาพอาหารสัตว์จึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลด้านการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในอาหารด้วย เมื่อนำ ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกัน จึงจะสามารถบอกคุณภาพของอาหารสัตว์ได้อย่างสมบูรณ์ (บุญล้อม, 2541)

โดยทั่วไปการวัดการย่อยได้สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การทดลองกับตัวสัตว์ (*In vivo* method) และการทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือนอกตัวสัตว์ (*In vitro* method)

การหาการย่อยได้โดยการทดลองกับตัวสัตว์

ทรงศักดิ์ และยุทธชัย (2542) กล่าวว่า การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารสัตว์สามารถบ่งบอกถึงเปอร์เซ็นต์ของโภชนะที่มีอยู่ในอาหารชนิดนั้น แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าโภชนะที่มีอยู่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างแท้จริงในตัวสัตว์ เนื่องจากอาหารที่กินเข้าไปไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด และจะมีโภชนะบางส่วนที่สูญเสียไปในระหว่างกระบวนการย่อย การดูดซึม และการเปลี่ยนแปลงของอาหารภายในร่างกาย ดังนั้นการประเมินคุณภาพอาหารจึงนิยมทำโดยวิธีการวัดการย่อยได้ของอาหารซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีการชั่งน้ำหนักทั้งหมด (Total collection method หรือ Conventional method) โดยให้สัตว์กินอาหารทดลอง ชั่งน้ำหนักของอาหารที่สัตว์กินเข้าไปและชั่งน้ำหนักมูลที่

ถ่ายออกมา เก็บตัวอย่างปัสสาวะทั้งหมด และสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของโภชนะ และคำนวณหาค่าการย่อยได้ต่อไป ด้วยสมการดังนี้

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

การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะโดยการใช้สัตว์ทดลองจำเป็นต้องคัดเลือกสัตว์ที่มีความสม่ำเสมอกันทั้งในด้านอายุ น้ำหนักตัว และพันธุกรรม เพื่อไม่ให้เกิดความแปรปรวนจากตัวสัตว์ และเพื่อให้อาหารทดลองเข้าไปแทนที่อาหารเดิมในระบบทางเดินอาหาร สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องถ้าเป็นอาหารปกติใช้เวลา 7-10 วัน ถ้าเป็นอาหารแปลกใหม่จะต้องใช้เวลา 14-21 วัน และช่วงที่วัดปริมาณอาหารที่สัตว์กินจริงและมูลสัตว์ที่ถ่ายออกมาทั้งหมด (ถ้าให้อาหารระดับคงที่) ใช้เวลาประมาณ 7 วัน (บุญล้อม, 2541)

2. วิธีการใช้ตัวบ่งชี้ (Indicator หรือ Marker) เป็นวิธีการทางอ้อม เพราะไม่ต้องเก็บตัวอย่างมูลทั้งหมดของสัตว์ที่ขับถ่ายออกมาโดยใช้สารบ่งชี้ร่วมกับอาหารทดลองให้สัตว์กิน เพื่อแสดงถึงปริมาณอาหารที่เคลื่อนที่ผ่านทางเดินอาหารในส่วนต่าง ๆ สารบ่งชี้ที่ใช้ในการศึกษาควรมีคุณสมบัติดังนี้

ก. ต้องไม่มีการย่อยหรือดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร

ข. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้คุณหรือให้โทษ เมื่อเข้าไปอยู่ในระบบทางเดินอาหาร

ค. ผ่านไปในระบบทางเดินอาหารในอัตราความเร็วเดียวกับอาหารทดลอง

ง. สามารถนำมาวิเคราะห์ทางเคมีได้ง่าย

จ. มีการกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงในอาหารทดลอง (สำหรับตัวบ่งชี้ภายนอก)

ฉ. ผสมในอาหารที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารได้เป็นอย่างดี (สำหรับตัวบ่งชี้ภายใน) โดยทั่วไปสามารถแบ่งสารบ่งชี้ เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือตัวบ่งชี้ภายใน และตัวบ่งชี้ภายนอก

2.1 การใช้ตัวบ่งชี้ภายใน (Internal Indicator) สารที่ใช้เป็นสารที่กระจายอยู่ทั่วไปในอาหาร เช่น ลิกนิน (Lignin) หรือเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble Ash ; AIA) ต้องทำการวิเคราะห์หา AIA ในอาหารทดลองและต้องทราบปริมาณการกินได้ของสัตว์ที่แน่นอน โดยการสุ่ม

ตัวอย่างมูลจากสัตว์ทดลองเป็นรายตัว หลาย ๆ วันติดต่อกัน นำมูลที่ได้ในแต่ละวันมาผสมกัน แล้วสุ่มมาประมาณ 500 กรัมนำมาอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสจนแห้งจากนั้นนำมาวิเคราะห์หา AIA หรือโภชนะที่เหลืออยู่ในมูลเพื่อหาการย่อยได้ของโภชนะตามสูตรต่อไปนี้

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

2.2 การใช้ตัวบ่งชี้ภายนอก (External Indicator) เป็นการใช้สารเคมีที่เติมเข้าไปในอาหารทดลอง ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้คือ โครมิคออกไซด์ (Cr_2O_3) ทำการผสมตัวชี้บ่งชนิดที่ต้องการในอาหารที่ใช้ทดลอง เช่น ผสมโครมิคออกไซด์ลงในอาหารให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ แล้ววิเคราะห์หาปริมาตรของโครมิคออกไซด์ที่มีในอาหารผสมกับมูลที่ถ่ายออกมาในมูลเพื่อนำมาคำนวณหา เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ ตามสูตรดังต่อไปนี้ (ทรงศักดิ์ และยุทธชัย, 2542)

$$\text{\% การย่อยได้} = \frac{\dfrac{\text{วัตถุแห้งในอาหาร}}{Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}} - \dfrac{\text{วัตถุแห้งในมูล}}{Cr_2O_3 \text{ ในมูล}}}{\dfrac{\text{วัตถุแห้งในอาหาร}}{Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}}} \times 100$$

การหาการย่อยได้โดยการทดลองในห้องปฏิบัติการ

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

1. วิธีการ 2 ขั้นตอน ของ Tilley and Terry (2- stage *in vitro* method) วิธีนี้ได้รับความนิยมมานาน แต่ภายหลังเมื่อมีการพัฒนาวิธีอื่นที่สามารถให้ข้อมูลได้มากกว่าและมีความแม่นยำสูงกว่า วิธีนี้จึงได้รับความนิยมลดลง ทำได้โดยนำอาหารที่บดแล้วประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติมของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่ผสมกับสารละลายและบัฟเฟอร์ไว้แล้วจำนวน

50 มิลลิลิตร เพื่อรักษา pH ให้อยู่ในสภาพใกล้เคียงกับกระเพาะรูเมนจริง แล้วนำไปแช่บ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ภายใต้สภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic) จากนั้น ทำการฆ่าแบคทีเรียโดยใช้กรดเกลือ แล้วย่อยต่อด้วยเอนไซม์เปปซิน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง กรองส่วนที่เหลือซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ถูกย่อย แล้วนำไปอบให้แห้ง เพื่อคำนวณหาค่าวัตถุแห้ง จากนั้นนำไปเผาจะทราบค่าอินทรียวัตถุ นำค่าที่ได้นี้ไปหักออกจากส่วนที่มีในอาหารตั้งแต่เริ่มต้น จะทราบค่าวัตถุแห้งที่ย่อยได้ (Digestible dry matter; DDM) และอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ (Digestible organic matter) แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโภชนะทั้งสองต่อไป (Dry matter digestibility; DMD และ Organic matter digestibility; OMD)

2. วิธีการเอนไซม์เปปซิน- เซลลูเลส (Pepsin-Cellulase technique) ทำโดยใช้เอนไซม์ที่สกัดจากจุลินทรีย์มาบ่มกับตัวอย่าง วิธีนี้มีข้อดีคือสามารถทำได้รวดเร็ว ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาทั้งคุณภาพของเอนไซม์และวิธีการวิเคราะห์ทำให้ได้ค่าที่แม่นยำขึ้น สะดวกสำหรับห้องปฏิบัติการที่ไม่มีสัตว์เจาะกระเพาะ มีวิธีการดังนี้ นำตัวอย่างอาหารมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วบดให้มีขนาด 1 มิลลิเมตร ผสมให้วัตถุดิบเข้ากันดี ชั่งอาหาร 300 มิลลิกรัมใส่ใน Glass filter crucible เติม Pepsin-hydrochloric acid solution ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จำนวน 30 มิลลิลิตร นำไป บ่ม ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และหลังจากบ่มไป 5 ชั่วโมง ให้คนสารใน Crucible นำไปแช่ใน Water bath ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที แล้วดูดสารละลายออกด้วยปั๊ม และล้างกากด้วยน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เติม Cellulase buffer solution ที่มีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จำนวน 30 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และหลังจากบ่มไป 5 ชั่วโมง คนสารใน Crucible เมื่อบ่มครบ 24 ชั่วโมง ดูดสารละลายออก และล้างกากด้วยน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นำกากที่ไม่ย่อยไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่เพื่อหาค่าวัตถุแห้งในกาก และนำกากไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เพื่อหาค่าอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในกาก และนำไปวิเคราะห์หาโปรตีนรวม และโปรตีนแท้ คำนวณหาการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนรวม และโปรตีนแห้ง จากสมการ (De Boever *et al.*, 1986)

$$\text{Digestibility (\%)} = \left(\frac{(W_O - W_T)}{W_O} \right) \times 100$$

เมื่อ W_O = ปริมาณโภชนะในอาหารก่อนหมักย่อย

W_T = ปริมาณโภชนะในกากอาหารหลังจากการหมักย่อย

เมื่อนำค่าการหมักย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (Organic matter digestibility; OMD) ที่ได้และไขมัน (Ether extract; EE) ไปคำนวณเป็นค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ (Metabilizable energy; ME) และค่าพลังงานสุทธิเพื่อใช้ในการให้นม (Net energy for lactation; NEI)โดยใช้สมการที่ De Boever *et al.*(1986) ได้เสนอไว้ดังนี้

$$ME\ (MJ / kg\ DM) = 0.150 \times OMD + 0.214 \times EE - 0.99 \quad [R^2 = 0.96]$$

$$NEL(MJ / kg\ DM) = 0.112 \times OME + 0.159 \times EE + 2.37 \quad [R^2 = 0.96]$$

3. วิธีใช้ถุงไนลอน (Nylon bag technique) หรือ *In sacco* ได้รับการพัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษ และได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เพราะให้ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการย่อยสลายของอาหารซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์มากการทดลองด้วยวิธีนี้จะต้องใช้สัตว์ทดลองอย่างน้อย 3 ตัว ซึ่งสัตว์ทุกตัวได้รับการผ่าตัดเจาะกระเพาะและใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหาร (Fistula) แล้ว ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างอาหารทดลอง โดยนำอาหารมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ใช้ถุงไนลอนขนาด 7 × 15 เซนติเมตร ที่มีขนาดรูของถุง 40 ไมโครเมตร ชั่งตัวอย่างอาหาร 3 กรัม ใส่ลงในถุงไนลอนที่ทราบน้ำหนักคงที่ แล้วผูกถุงเข้ากับสายยาง จากนั้นนำไปหย่อนเพื่อหมักแช่ในกระเพาะรูเมน เป็นระยะเวลา 4 8 12 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง สำหรับตัวอย่างที่เป็นอาหารหยาบ และ 2 4 8 16 24 36 และ 48 ชั่วโมง สำหรับตัวอย่างที่เป็นอาหารข้น ตัวอย่างอาหารที่หมักย่อย 0 ชั่วโมง ให้นำถุงที่ใส่ตัวอย่างอาหารไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำถุงทั้งหมดออกมาล้างด้วยน้ำเปล่าจนน้ำใส แล้วนำถุงไปอบในตู้ที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างอาหารที่ได้นี้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณวัตถุแห้ง นำตัวอย่างอาหารไปเผาที่ อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณอินทรียวัตถุ แล้วทำการคำนวณหาปริมาณโภชนะที่สูญหายจากสูตร (อำพล, 2544)

$$\text{โภชนะที่สูญหาย (Disappearance) (\%)} = \left(\frac{(W_O - W_T)}{W_O} \right) \times 100$$

เมื่อ W_O = ปริมาณโภชนะในอาหารก่อนหมักย่อย

W_T = ปริมาณโภชนะในกากอาหารหลังจากการหมักย่อย

นำค่าการสูญหาย (Disappearance) ของโภชนะต่าง ๆ เข้าโปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY เพื่อคำนวณหาค่าการย่อยสลายของโภชนะต่าง ๆ ได้จากสมการที่เสนอโดย Ørskov and McDonald (1979) คือ

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

เมื่อ P = ค่าการย่อยสลายได้ที่ช่วงเวลาต่างกัน (%)

a = ส่วนที่ละลายได้ทันที (%)

b = ส่วนที่ละลายไม่ได้แต่สามารถเกิดขบวนการหมักย่อยได้ (%)

e = log ฐาน 10

c = อัตราการย่อยสลายได้ของ b (h^{-1})

t = ช่วงระยะเวลาในการหมักบ่ม

4. วิธีวัดปริมาณแก๊ส (Gas production technique) เป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมันเพื่อให้สามารถทำนายการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และค่าพลังงานในอาหารได้ ต่อมาได้มีการดัดแปลงให้สามารถวัดอัตราการย่อยสลายของอาหารได้ด้วย วิธีการนี้เป็นวิธีที่สามารถประเมินการย่อยได้ใกล้เคียงกับการใช้สัตว์ทดลองมากที่สุด (Pell and Schofield , 1993) โดยอาศัยความรู้จากการหมักย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์จากของเหลวในกระเพาะรูเมนจะทำให้เกิดแก๊สขึ้น ซึ่งได้มีการพัฒนาวิธีการและการคำนวณเพื่อใช้ทำนายคุณค่าทางอาหารได้ ก๊าซเกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตให้เป็นกรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty acid)ได้แก่ อะซิติก โปรปีโอนิก และบิวทีริก (Beuvink and Spoelstra, 1992) ส่วนของโภชนะอื่น เช่น โปรตีน และ ไขมัน เมื่อถูกหมักจะได้ปริมาณก๊าซน้อยกว่าคาร์โบไฮเดรต (Menke and Steingass, 1988)

การประเมินคุณค่าทางอาหารโดยวิธีวัดปริมาณก๊าซทำได้โดยการชั่งตัวอย่างแห้งที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ประมาณ 230 มิลลิกรัมใส่หลอดแก้ว (Glass syringe) สอดแกนตันที่ทาวาสลีนแล้วเข้ากับหลอดแก้ว แล้วนำหลอดที่ใส่ตัวอย่างไปแช่บ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส (ใกล้เคียงกับสภาพภายในกระเพาะรูเมน) แล้วเติมสารละลายของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่เก็บจากกระเพาะโคที่เจาะกระเพาะ ไว้แล้ว ซึ่งได้เติมบัฟเฟอร์ แร่ธาตุและสารละลายต่าง ๆ แล้ว ปริมาณ 30 มิลลิลิตร เข้าไป ผสมกับตัวอย่าง นำไปบ่มต่อที่อุณหภูมิ 39

องศาเซลเซียส อ่านค่าแก๊สที่เกิดขึ้นในหลอดแก้ว แล้วนำค่าก๊าซเมื่อบ่มครบ 24 ชั่วโมง มาหาค่าก๊าซสุทธิ ที่ 24 ชั่วโมง โดยสมการดังนี้

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

เมื่อ V_0 = ปริมาตรส่วนผสมทั้งหมดที่อ่านได้ก่อนนำหลอดตัวอย่างที่ผสมของเหลวจากกระเพาะรูเมนไปแช่บ่ม

V_{24} = ค่าที่อ่านได้เมื่อแช่บ่มส่วนผสมของตัวอย่างครบ 24 ชั่งโมง

GP_0 = ค่าเฉลี่ยของก๊าซที่เกิดในหลอด blank ที่ไม่ได้ใส่ตัวอย่างอาหารที่ต้องศึกษาที่ 24 ชั่วโมง

Fh = ค่าก๊าซมาตรฐานของหญ้าแห้ง / ($GPh - GP_0$)

Fc = ค่าก๊าซมาตรฐานของอาหารข้น / ($GPh - GP_0$)

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นมิลลิกรัมวัตถุแห้ง

นำค่าที่ได้มาแทนค่าในสมการรีเกรซชั่นเพื่อคำนวณหาการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (IVOMD, %) พลังงานที่ใช้ประโยชน์ และพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (ME และ NEL, MJ / kgDM) ดังนี้ (Menke and Steingass, 1988)

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

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

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

เมื่อ IVOMD = อินทรียวัตถุย่อยได้ (%)

ME = พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable Energy) (MJ/kgDM)

NEL = พลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (Net Energy for Lactation) (MJ/kgDM)

GP = ค่าก๊าซที่ 24 ชั่วโมงหลังจากปรับแล้ว (ml)

XP = Crude protein (g/kgDM)

XL = Crude fat (g/kgDM)