

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

พฤกษศาสตร์ของสับปะรด

สับปะรด (pineapple) ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ananas comosus*(L) Merr. จัดอยู่ในวงศ์ Bromeliaceae ซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจำพวกไม้เนื้ออ่อนที่มีอายุหลายปี สับปะรดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง จัดเป็นพืชดั้งเดิมในแถบร้อนและกึ่งร้อนของทวีปอเมริกา พืชในวงศ์นี้ประมาณ 1,400 ชนิด มีสับปะรดชนิดเดียวที่มีคุณค่าในการใช้เป็นอาหารได้ สับปะรดบางชนิดปลูกเป็นการค้าเพื่อใช้ประโยชน์จากเส้นใยในใบ และใช้เป็นไม้ประดับ ดอก ใบ ที่สวยงาม แปลกตา สับปะรดสามารถจำแนกออกจากพืชสกุลอื่นได้โดยดูจาก ลักษณะของผลที่เป็นผลรวม ซึ่งเกิดจากผลย่อยหลายผลเจริญมาเชื่อมต่อกันจนดูเป็นผล ๆ ผลเดี่ยว (จารุพันธ์, 2526)

เทมบัตติ และคณะ (2534) รายงานว่าสามารถจำแนกสับปะรดที่ปลูกในประเทศไทยได้ 3 กลุ่ม คือ

1. กลุ่ม smooth cayenne ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวีย นางแล และลักกะตา แหล่งปลูกที่สำคัญคือ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และเพชรบุรีมีพื้นที่ปลูกประมาณร้อยละ 57-60 ของพื้นที่ในบริเวณจังหวัด ชลบุรี ระยอง และลำปาง ซึ่งเป็นกลุ่มการปลูกสับปะรดเพื่อส่งโรงงานเป็นหลัก

2. กลุ่ม queen ได้แก่ พันธุ์สวี ภูเก็ท ตราคีทอง สิงคโปร์ ปัตตาเวีย และปัตตานีกลุ่มนี้จะ เป็นสับปะรดที่ใช้รับประทานผลสด ปลูกมากในพื้นที่จังหวัดชุมพร

3. กลุ่ม spanish ได้แก่ พันธุ์อินทรีขีดแดงและ อินทรีขีดขาว มีรสเปรี้ยว ปลูกมากที่อำเภอ บางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา

สถานการณ์การผลิตสับปะรด ของโลกและประเทศไทย

สถานการณ์ การผลิตสับปะรดของโลกในปีเพาะปลูก 2547/2548 แสดงไว้ในตาราง 1 พบว่า ทั่วโลกมีเนื้อที่เก็บเกี่ยวสับปะรดรวม เท่ากับ 5,208,000 ไร่ และมีผลผลิตรวมเท่ากับ 15,584,000 ตัน และประเทศที่มีผลผลิตสับปะรดมากที่สุดได้แก่ ประเทศไทย ฟิลิปปินส์ จีน บราซิล อินเดีย และไนจีเรีย

การปลูกสับปะรดในประเทศไทยในปีเพาะปลูก 2547/2548 จากรายงานของ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2548) ได้รายงานว่ามีพื้นที่ปลูกสับปะรดประมาณ 552,302 ไร่ ผลผลิต 1.997

ถั่วลิสง ผลผลิตต่อไร่ 3,616 กิโลกรัม แหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญของประเทศไทยอยู่ในภาคกลาง ถั่วลิสง 540,474 ไร่ รองลงมา ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ ภาคใต้มีเนื้อที่ เพาะปลูก 53,063, 25,942 และ 15,823 ไร่ ตามลำดับ ภาคกลางมีผลผลิตสับปะรดมากที่สุด รองลงมา ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ โดยมีผลผลิต 1,803,849, 222,432, 95,395 และ 67,517 ตามลำดับ (ตาราง 2) จังหวัดที่มีเนื้อที่เพาะปลูกสับปะรดมากที่สุดได้แก่ จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ และเพชรบุรี คิดเป็นพื้นที่เพาะปลูกมากกว่าร้อยละประมาณ 60 ของพื้นที่ เพาะปลูกทั้งประเทศ รองลงมาจังหวัดชลบุรี ระยอง (ตาราง 3) จังหวัดที่ได้รับการจัดให้เป็นเขต เกษตรเศรษฐกิจ สำหรับปลูกสับปะรดส่งโรงงานได้แก่ ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ราชบุรี กาญจนบุรี อุทัยธานี ชลบุรี ระยอง ตราด ลำปาง หนองคาย และนครพนม

ตาราง 1 เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของสับปะรด ของประเทศผู้ผลิตสับปะรดที่สำคัญและรวมทั้งโลก ในปีเพาะปลูก 2547/2548

ประเทศ	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.)
ไทย	552,000	1,997,000	3,616
ฟิลิปปินส์	288,000	1,650,000	5,729
จีน	409,000	1,475,000	3,606
บราซิล	342,000	1,436,000	4,199
อินเดีย	563,000	1,300,000	2,309
ไนจีเรีย	725,000	889,000	1,226
ออสเตรเลีย	109,000	725,000	6,651
เม็กซิโก	112,000	721,000	6,438
อินโดนีเซีย	531,000	700,000	1,318
เคนยา	84,000	600,000	7,143
อื่นๆ	1,611,000	4,091,000	2,539
รวมทั้งโลก	5,208,000	15,584,000	2,926

ที่มา : ดัดแปลงจาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2548)

ตาราง 2 เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตสับปรดเฉลี่ยต่อไร่ของประเทศไทยในปี
เพาะปลูก 2547/48-2548/49

ปีเพาะปลูก /ภาค	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)		ผลผลิต (ตัน)		ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.)	
	2547/48	2548/49	2547/48	2548/49	2547/48	2548/49
ภาคเหนือ	47,325	53,063	179,919	222,432	3,802	4,192
ตะวันออกเฉียงเหนือ	29,504	25,942	107,270	95,495	3,636	3,681
ภาคกลาง	459,828	504,474	1,632,215	1,803,849	3,550	3,576
ภาคใต้	15,645	15,823	74,423	67,517	4,750	4,267
รวมทั้งประเทศ	552,302	599,302	1,993,827	2,189,293	3,610	3,653

ที่มา : ดัดแปลงจาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2549)

ตาราง 3 เนื้อที่เพาะปลูก และผลผลิตสับปรด 10 จังหวัดของประเทศไทยที่มีการปลูกมาก
ในปีเพาะปลูก 2548/49

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)
ประจวบคีรีขันธ์	280,790	834,227
ระยอง	58,681	326,501
ชลบุรี	30,614	202,665
เพชรบุรี	33,560	104,036
ราชบุรี	32,070	95,280
พิจิตร	18,490	86,903
กาญจนบุรี	32,040	85,803
อุทัยธานี	20,450	82,209
ชุมพร	15,823	67,517
ตราด	16,075	54,864

ที่มา : ดัดแปลงจาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2549)

ปริมาณเปลือกสับปะรด ผลพลอยได้จากโรงงานสับปะรดกระป๋อง

เศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง เปลือกสับปะรดหรือกากสับปะรด (pineapple waste) หมายถึง เศษวัสดุเหลือใช้ของสับปะรดที่ได้จากการผลิตสับปะรดบรรจุกระป๋องจากโรงงาน ประกอบด้วย เปลือกนอก จุก แกนกลาง เศษเนื้อ ส่วนปลายยอด และส่วนโคนล่างของสับปะรดรวมกันคิดเป็นร้อยละ 70-75 ของน้ำหนักผล หากประมาณว่าสับปะรดหนึ่งผลมีน้ำหนักประมาณ 1,754.4 กรัม/ผล ให้ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 3,870 กิโลกรัม สับปะรดหนึ่งผลเมื่อเข้าแปรรูปในโรงงาน จะมีเศษเหลือใช้จากการทำสับปะรดกระป๋องประมาณ 1,228.1 กรัม/ผล ในพื้นที่ 1 ไร่ จะได้เปลือกสับปะรดเฉลี่ย 2,700.55 กิโลกรัม (สมบัติ และคณะ, 2534)

Devendra (1978) ประมาณว่าในอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องโรงงานใช้ชิ้นส่วนจากสับปะรดเพียง 40 – 50 เปอร์เซ็นต์ และจะมีเศษเหลือสับปะรด ได้แก่ เปลือกนอก ปลายยอด โคนล่าง เนื้อที่เชื่อมออก แกนในและเนื้อที่คั้นน้ำออกแล้ว เมื่อคิดเป็นสัดส่วนเศษเหลือทั้งหมดประมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ (Muller, 1978) เมื่อคำนวณปริมาณผลผลิตสับปะรดที่แปรรูปในโรงงานสับปะรดกระป๋อง ในประเทศไทยประมาณว่าจะมีเปลือกสับปะรดที่เหลือทิ้งจากโรงงานมากกว่าปีละ 5 แสนตัน (พรทวี, 2545)

สำหรับประเทศไทยเมื่อแยกพื้นที่เพาะปลูกจำแนกตามรายภาคพบว่า ภาคเหนือ มีแหล่งผลิตที่สำคัญ คือ จังหวัดลำปาง พิจิตร โลก และอุทัยธานี โดยจะเก็บเกี่ยวมากระหว่างเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แหล่งผลิตที่สำคัญ คือ หนองคาย และนครพนม เก็บเกี่ยวมากระหว่างเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ภาคกลาง แหล่งผลิตที่สำคัญ คือ ประจวบคีรีขันธ์ ระยอง กาญจนบุรี เพชรบุรี เก็บเกี่ยวมากที่สุดระหว่างเดือนเมษายน-มิถุนายน และรองลงมาในช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม สำหรับภาคใต้ แหล่งผลิตที่สำคัญ คือ ชุมพร โดยจะเก็บเกี่ยวมาในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548)

ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหาร

เศษเหลือของสับปะรดจากโรงงานจะมีส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยทั่วไป เปลือกสับปะรดจะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ เช่น เปลือกด้านข้าง ส่วนหัว ส่วนล่าง ใต้อแกนกลาง) และเศษเนื้อ อาจจะมีส่วนใดส่วนหนึ่งเล็กน้อยแล้วแต่โรงงาน ซึ่งจะทำให้ส่วนประกอบทางเคมีจากเศษเหลือของสับปะรดหรือเปลือกสับปะรดมีค่าแตกต่างกันไปด้วย โดยทั่วไปเปลือกสับปะรดสดจากโรงงานทำสับปะรดกระป๋องจะมีปริมาณน้ำอยู่สูง มีวัตถุแห้ง

ประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 3.2-3.4 (Perez and Hsu, 1973; ฐิริพงศ์ และคณะ, 2548) มีขดโคชนะย่อยได้ (TDN) 65-74 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ และวิตามินอีต่ำ น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นพวกซูโครส (70%) กลูโคส (20%) และฟรุคโตส (10%) ได้แสดงผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีแยกตามส่วนต่างๆ (ตาราง 4 และ 5)

ตาราง 4 ส่วนประกอบทางเคมีแยกวิเคราะห์ตามส่วนต่าง ๆ ของสับปะรด (% วัตถุแห้ง)

ส่วนประกอบ	สัดส่วน	โปรตีน	ไนโตรเจน			ปริมาณ	
เปลือก	ทั้งหมด	รวม	ไขมัน	เยื่อใย	ฟรีเอ็ก	น้ำตาล	
สับปะรด					แทรก	ทั้งหมด	
เปลือก	56	6.4	0.02	16.7	71.88	4.1	42
ส่วนหัว	17	7.2	0.82	25.4	62.88	3.7	38
ส่วนโคน	15	7.0	0.84	22.3	65.49	4.2	40
แกนใน	5	7.1	0.96	19.7	64.49	2.3	73
เสียดกแต่ง	2	6.8	0.19	18.2	73.49	2.6	74
กาก	5	7.8	0.20	21.9	64.70	2.4	63

ที่มา : Muller (1978)

ตาราง 5 เปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมี ของเปลือกสับปะรดและผลพลอยได้ (% วัตถุแห้ง)

ชนิดพืช	วัตถุแห้ง	โปรตีน	NDF	ADF	แหล่งที่มา
เปลือกสับปะรด	10.83	6.00	57.32	27.54	จินดา และคณะ(2542)
เปลือกสับปะรด	10.37	8.25	74.55	38.78	ฐิริพงศ์ และคณะ(2548)
เปลือกสับปะรด	8.75	6.99	72.09	39.36	พีรวัจน์ และคณะ(2548)
ลูกสับปะรด	19.26	7.50	50.57	25.87	จินดา และคณะ(2542)
ลูกสับปะรด	20.16	10.19	56.38	31.58	ปรัชญา และคณะ(2544)
ใบสับปะรด	18.91	6.59	39.44	24.25	ปรัชญา และคณะ(2541)
ต้นและใบสับปะรด	16.67	6.30	53.90	30.80	ปรัชญา และคณะ(2542)

การใช้เปลือกสับปะรดเลี้ยงสัตว์

ในอดีตเปลือกสับปะรดจัดเป็นภาระและเป็นปัญหาอย่างมากของโรงงานแปรรูปสับปะรด เนื่องจากมีปริมาณมากและเน่าเสียได้ง่าย ซึ่งเป็นมลพิษกับสิ่งแวดล้อม แต่เมื่อมีการนำเปลือกสับปะรดไปเลี้ยงโค ปัญหาดังกล่าวหมดไปและยังเป็นรายได้ส่วนหนึ่งของโรงงาน โดยจะมีคนกลางรับเหมาซื้อเปลือกสับปะรดจากโรงงานและบรรทุกไปจำหน่ายให้กับผู้เลี้ยงโคเนื้อและโคนมที่ฟาร์ม โดยคิดค่าใช้จ่ายตามระยะทางและฤดูกาลของผลผลิต ซึ่งเป็นที่นิยมกันมาก โดยเฉพาะเกษตรกรผู้เลี้ยงโคในเขตจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดเพชรบุรี และจังหวัดใกล้เคียง

ปรารธนา (2529) รายงานว่า ส่วนเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปสับปะรด คือ เปลือกและแกนกลาง มีความชื้นสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าโภชนะย่อยได้สูงประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ (%วัตถุแห้ง) การใช้เปลือกสับปะรดในสภาพสดเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกวิธีหนึ่ง ถ้ามีปริมาณเปลือกสับปะรดอยู่เป็นจำนวนมากและสามารถหาได้ตลอดทั้งปี จะใช้เป็นอาหารเสริมหญ้า หรือฟางข้าวที่ให้เป็นอาหารหลักหรือจะใช้เปลือกสับปะรดอย่างเดียวแทนหญ้าก็ได้ การให้โคกินเปลือกสับปะรดอย่างเดียวยากรายงานของ จินดา (2531) ทำการศึกษาในการขุนโคนมเพศผู้ด้วยเปลือกสับปะรดสดเฉลี่ย 38 กก./ตัว/วัน หรือ 3.23 กก./ตัว/วัน ของวัตถุแห้ง (เปลือกสับปะรดมีวัตถุแห้ง 8.5%) เสริมด้วยอาหารข้น 2 กก./ตัว/วัน พบว่าโคมีน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย 0.91 กก./ตัว/วัน และไม่พบว่าโคมีปัญหาทางสุขภาพ สอดคล้องกับพานิช (2527) กล่าวว่า เปลือกสับปะรดใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ทุกชนิด โดยใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ทั้ง ชนิดหมัก สดและแห้ง ในโคเนื้อใช้กากสับปะรด ได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ในไก่ไข่ใช้รำสับปะรด หรือกากสับปะรดแห้งแล้วบดให้มีขนาดเล็กลงได้ในระดับ 5-10 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าใช้เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ปริมาณไข่ลดลง

นอกจากนี้ พิชญรัตน์ และ บุญตา (2537) รายงานว่า สามารถใช้กากสับปะรดแห้งบดเป็นส่วนประกอบของสูตรอาหารเลี้ยงสุกรรุ่น ถึงสุกรระยะขุนได้ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารโดยไม่ทำให้ยัตราการเจริญเติบโตอ่อนแอ ประสิทธิภาพการใช้อาหารและคุณภาพซากแตกต่างจากการเลี้ยงด้วยอาหารปกติแต่ต้องปรับระดับโปรตีน ให้เพียงพอกับความต้องการของสุกร

ในต่างประเทศ เช่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์และสหรัฐอเมริกา การนำเปลือกสับปะรดไปใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคเนื้อ โคนม และแกะ สามารถใช้ได้ทั้งในสภาพสด หมักและแห้ง Udin (1978) รายงานว่าในประเทศมาเลเซีย ใช้เปลือกสับปะรดขุนโคเพื่อการค้า โดยใช้กากสับปะรด 78 เปอร์เซ็นต์ มูลไก่ 10 เปอร์เซ็นต์ กากปาล์ม 3 เปอร์เซ็นต์ กากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลือง 2 เปอร์เซ็นต์ และสารเคมีที่ใช้เสริมอาหารสัตว์อีก 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้อาหารมีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ และมีโภชนะย่อยได้ 70 เปอร์เซ็นต์ มีการเสริมเกลือแร่และวิตามิน พบว่า

เปอร์เซ็นต์ซากที่ได้จากการขุนโคเท่ากับ 54-56 เปอร์เซ็นต์ และในประเทศฟิลิปปินส์ Perez and Hsu, (1973) รายงานว่า ได้มีการเลี้ยงโคขุนเพื่อการค้าโดยใช้เปลือกสับประรดเป็นแหล่งอาหาร หยิบมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ได้วันมีการใช้เปลือกสับประรด 70 เปอร์เซ็นต์ ข้าวโพด 10.8 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลือง 18 เปอร์เซ็นต์ และยูเรีย 1.2 เปอร์เซ็นต์ ใช้ขุนโคนมพันธุ์ผสมขาว-ดำ พบว่าสามารถเพิ่มน้ำหนักตัวได้ดี สอดคล้องกับรายงานของ McDowell (1972) ในประเทศ เปอร์โตริโก พบว่าสามารถใช้เปลือกสับประรดเลี้ยงโคนมเป็นระยะเวลาถึง 8 เดือนในแต่ละปี โดยให้กินเปลือกสับประรดอย่างเต็มที่ร่วมกับอาหารเสริมมีโปรตีน 24 เปอร์เซ็นต์ โคนมสามารถให้นมในระดับน่าพอใจ

การใช้เปลือกสับประรดเลี้ยงโค

Otagaki *et al.* (1961) รายงานว่ากากสับประรดแห้งสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยิบสำหรับโคขุนได้ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ และโคมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยวันละ 0.99 กิโลกรัม แต่กากสับประรดไม่เหมาะใช้เป็นแหล่งอาหารหยิบเพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีวัตถุแห้งต่ำและมีความเป็นกรดสูง pH ประมาณ 3.2 – 3.5 และ Raghavan *et al.* (1978) รายงานว่ากากสับประรดแห้งสามารถใช้ทดแทนแหล่งอาหารพลังงานได้ เช่น ข้าว ข้าวโพด และกากถั่วเหลือง แต่เปลือกสับประรดมีโปรตีนต่ำและมีเยื่อใยค่อนข้างสูง สอดคล้องกับ Senick *et al.* (1978) แนะนำว่า การใช้กากสับประรดแห้งเป็นอาหารสัตว์ ควรให้สัตว์ได้รับโปรตีนจากแหล่งอาหารอื่นด้วยเพื่อให้ได้โภชนาการที่ครบถ้วน จากรายงานของ Idris (1981) ทดลองใช้กากสับประรดอัดแห้งในอาหารโคขุน 2 ระดับ ที่ 30 และ 55 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้กากปาล์มเป็นแหล่งโปรตีน พบว่าโคขุนทั้ง 2 กลุ่มมีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ประสิทธิภาพการใช้อาหารโคขุนกลุ่มที่ได้รับกากสับประรดอัดแห้งที่ระดับ 55 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงสุด

ชวนิศดากร (2523) รายงานผลการทดลองใช้เปลือกสับประรดแห้งเป็นส่วนประกอบในอาหารขุน ในระดับ 73.5 เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับการใช้มันเส้นซึ่งผสมในอัตราเดียวกัน โดยใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลือง 20 เปอร์เซ็นต์ และ ยูเรีย 1.5 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารซึ่งมีโปรตีน 15 เปอร์เซ็นต์ นำไปเลี้ยงแกะที่ให้หญ้าสดตัวละ 0.5 กิโลกรัม และใช้เวลาทดลอง 8 สัปดาห์ ปรากฏว่าแกะกินอาหารขุ่นที่มีเปลือกสับประรดแห้งผสมเป็นวัตถุดิบหลักมีอัตราการเจริญเติบโตได้ดี เท่ากับการใช้มันเส้น นอกจากนี้ ยังได้รายงานการใช้เปลือกสับประรดแห้งเป็นอาหารสำหรับโคให้นมซึ่งใช้เปลือกสับประรดแห้งแทนข้าวโพดเลี้ยงโคนม โดยใช้กากเมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดยางพาราเป็นแหล่งอาหารโปรตีน ส่วนผสมมีกากสับประรดแห้ง 18 เปอร์เซ็นต์ มันเส้น 20 เปอร์เซ็นต์ กากเมล็ดฝ้าย 40 เปอร์เซ็นต์ และกากเมล็ดยางพารา 10 เปอร์เซ็นต์ ผลปรากฏว่าโคที่กินอาหารใช้

เปลือกสับปะรดแห้งแทนข้าวโพด ให้ปริมาณน้ำนม และเปอร์เซ็นต์ไขมันในนมไม่แตกต่างจากโคนมกลุ่มที่กินอาหารใช้ข้าวโพดในสูตรอาหาร

จินดา และคณะ (2528ก) เปรียบเทียบการใช้ฟางข้าว เปลือกสับปะรดสด (มีโปรตีน 6.44 %วัตถุแห้ง) และเปลือกสับปะรดสดผสมรำละเอียด 3:1 โดยน้ำหนัก และอาหารมีโปรตีน 9.34 เปอร์เซ็นต์ ในวัตถุแห้ง เป็นอาหารเสริมในฤดูแล้ง ใช้เลี้ยงโคนมพันธุ์ผสมเพศผู้ น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 169 กก. ซึ่งเลี้ยงด้วยฟางข้าวเป็นอาหารหลักใช้เวลาทดลอง 142 วัน ผลปรากฏว่า การให้อาหารเสริมทั้ง 3 ชนิด สามารถเพิ่มน้ำหนักโคได้ตลอดการทดลอง การเสริมด้วยเปลือกสับปะรดสด ผสมรำละเอียด (3:1 โดย น้ำหนัก) โคจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ 0.69 กิโลกรัม/ตัว/วัน และจินดา และคณะ (2528ข) ทดลองใช้เปลือกสับปะรดในสูตรอาหารชั้น ระดับ 0, 45, 65, 75 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงโคนมลูกผสม อายุ 1 ปี โดยให้ฟางข้าวและอาหารอย่างเต็มที่ ในการทดลอง 100 วัน พบว่าการเจริญเติบโตของโคมีอัตราลดลงเมื่อสัดส่วนของเปลือกสับปะรดในอาหารเพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.75, 0.66, 0.56 และ 0.43 กก./ตัว/วัน ตามลำดับ โดยสรุปว่าสามารถใช้เปลือกสับปะรดในสูตรอาหาร 45 เปอร์เซ็นต์

จินดา และคณะ (2531) ศึกษาการนำเปลือกสับปะรดมาเลี้ยงโคนมพันธุ์ผสมเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 239 กิโลกรัม จำนวน 32 ตัว ในคอกขังรวม จนมีน้ำหนักส่งตลาดได้ คือ ระหว่าง 350-450 กิโลกรัม โดยใช้เปลือกสับปะรดสด ร่วมกับข่อยหั่นและเสริมอาหารชั้นมีโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 3 กิโลกรัม/ตัว/วัน อาหารชั้นเสริมประกอบด้วย มูลไก่ ไบโกระถินแห้งและยูเรีย เป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหาร ปรากฏว่า โคมีชีวิตก่อนฆ่ามีน้ำหนักเฉลี่ย 354 กิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์ซาก 54.00 และน้ำหนักโคมีชีวิตก่อนฆ่าเฉลี่ย 424.00 กิโลกรัม และมีเปอร์เซ็นต์ซาก 53.75 เปอร์เซ็นต์ เนื้อส่วนต่างๆ เฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันในโคทั้ง 2 กลุ่ม และจินดา และคณะ (2532) ได้รายงานการใช้เปลือกสับปะรดสดเป็นอาหารหยาบหลักแทนหญ้าเลี้ยงโคนมพันธุ์ผสมเพศผู้ตอนน้ำหนัก 192 -364 กิโลกรัม ร่วมกับอาหารชั้นที่มีแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารชั้นต่างกัน 3 ชนิด คือ ไบโกระถินแห้ง 30 เปอร์เซ็นต์ ไบโกระถินแห้งและมูลไก่แห้งอย่างละ 15 เปอร์เซ็นต์ และมูลไก่ 30 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารมีโปรตีนหยาบ 15-20 เปอร์เซ็นต์ เสริมให้ประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว สามารถทำให้โคเพศผู้ตอนมีอัตราการเจริญเติบโตได้วันละ 0.60 0.51 และ 0.52 กิโลกรัม/ตัว ตามลำดับและมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร เท่ากับ 6.45, 7.61 และ 7.04 กิโลกรัม ตามลำดับ วีระพล (2534) ศึกษาผลของการใช้ฟางข้าว ข่อยหั่น และเปลือกสับปะรดหมักยูเรีย เป็นอาหารหยาบสำหรับโคสาวในฤดูแล้ง จากการทดลอง 90 วัน พบว่ากลุ่มโคที่เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรดหมัก มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด เท่ากับ 610 กรัม/วัน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารสูงสุด เท่ากับ 9.05 กิโลกรัม และมีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุด

ปรัชญา และคณะ (2535) ได้รายงานการขุนโคพันธุ์ลูกผสม บราห์มันเพศผู้ตอนน้ำหนัก 220 กิโลกรัม ใช้เปลือกสับประรดสดเป็นอาหารหลัก มีอาหารชั้น 3 สูตร ซึ่งใช้แหล่งพลังงานต่างกัน คือ มันเส้น ข้าวโพดบดและปลายข้าว อาหารชั้นมีโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์เสริมให้ในปริมาณที่เท่ากันประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวทุกสูตร พบว่าโคจะมีอัตราการเจริญเติบโต 0.51 0.57 และ 0.59 กิโลกรัม ตามลำดับ มีปริมาณอาหารที่กินได้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเท่ากับ 1.78, 1.76 และ 1.75 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเท่ากับ 9.52, 8.70 และ 8.37 ตามลำดับ

O'Donovan *et al.* (1972) รายงานว่าเศษสับประรด ไม่ควรใช้เป็นอาหารเดี่ยวๆ ไม่ว่าในรูปใด เนื่องจากมีความชื้นสูง โปรตีน แร่ธาตุ บางชนิดต่ำ แต่ถ้าหมักสับประรด ร่วมกับฟางข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ในอัตรา 75:10:5:10:1.5 ตามลำดับ หมักไว้ 8 สัปดาห์ จะได้พืชหมักที่มีวัตถุแห้ง 27.6 เปอร์เซ็นต์ ยอดโภชนะย่อยได้ 19.4 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม 5.4 เปอร์เซ็นต์ นำไปเลี้ยงโคสาวในอัตราวันละ 16-18 กก.เสริมด้วยอาหารชั้น 1 กก./วัน เป็นเวลา 52 วัน พบว่าโคมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยวันละ 0.65 กก. สอดคล้องกับรายงานของ สมคิด และคณะ (2535) รายงานว่า การนำเปลือกสับประรดเลี้ยงโคจะทำให้โคกินได้น้อยเนื่องจากมีความน่ากินต่ำ แต่ความน่ากินจะเพิ่มขึ้นเมื่อกองหมักทิ้งไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่งประมาณ 2-3 วัน โดยทั่วไปเปลือกสับประรดมีวัตถุแห้งต่ำมากประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่ไม่เหมาะสมสำหรับการหมัก จึงต้องเติมวัสดุบางชนิดเพื่อเพิ่มวัตถุแห้ง เช่น หญ้าแห้งหรือฟางข้าวสับเพื่อปรับให้วัตถุแห้งอยู่ที่ระดับ 28-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสภาพการหมักที่ดีและเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารโดยเฉพาะโปรตีน และพลังงาน ควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นแหล่งอาหาร โปรตีนราคาถูก และหาง่าย เช่น มูลไก่ หรือยูเรีย การใช้มันเส้นแทนหญ้าแห้งในสัดส่วนเปลือกสับประรด 80 และมันเส้น 20 โดยน้ำหนัก จะสามารถแก้ปัญหาคุณค่าทางอาหารต่ำ และความฟามของอาหารหมักได้และหมักไว้ประมาณ 30 วัน จึงนำออกมาใช้ได้ เมื่อนำเปลือกสับประรดหมักกับมันเส้นไปใช้เป็นอาหารเสริมให้กับโคนมรุ่นพันธุ์ผสมขาวดำ ที่เลี้ยงด้วยอาหารต่างๆร่วมกับอาหารชั้นมีโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์พบว่าโคนมรุ่นทุกกลุ่มที่เลี้ยงด้วยฟางปรุงแต่งหญ้าสด และฟางปรุงแต่งเสริมเปลือกสับประรดหมัก จะมีอัตราการเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่ต่างกัน

วิระพล (2539) ศึกษาผลของการใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย เปลือกสับประรดและหญ้าขน เลี้ยงโคกำลังให้นมในฤดูแล้ง โดยให้อาหารหยาบอย่างเต็มที่ และให้อาหารชั้น ตามปริมาณการให้น้ำนม ในอัตราส่วนน้ำนมต่ออาหารชั้น 2:1 จากการทดลอง 160 วันพบว่า กลุ่มโคที่เลี้ยงด้วยหญ้าขนและกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเปลือกสับประรด มีแนวโน้มการให้ปริมาณน้ำนมสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวหมักยูเรีย และเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่กลุ่มที่เลี้ยงด้วยเปลือกสับประรด มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนมสูงสุด รองลงมาคือกลุ่มที่เลี้ยงด้วยหญ้า

ชน และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวหมักบูเรีย มีเท่ากับ 1.54, 1.65, และ 1.89 ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

Uchida *et al.* (1981) รายงานว่า อัตราการย่อยได้ของกากสับประดแห้ง และกากสับประดอัดแห้ง เป็นแหล่งอาหารหยาบเพียงอย่างเดียว ในแกะที่ได้รับการเจาะกระเพาะ มีอัตราการย่อยได้ของวัตถุดิบเท่ากับ 68.4 และ 77.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อาหารผสมเสร็จ (Total Mixed Ration; TMR)

อาหารผสมเสร็จ หรืออาหารครบส่วน อาหารสมบูรณ์ (Complete Ration ; CR) หมายถึงอาหารที่มีทั้งอาหารหยาบและอาหารข้นผสมรวมกันในส่วนที่เหมาะสม และมีคุณค่าทางโภชนาเพียงพอความต้องการตามชนิดประเภท และลักษณะการให้ผลผลิตของสัตว์ (บุญล้อม และคณะ, 2543) แล้วนำไปเลี้ยงโคนม-โคเนื้อ แทนการเลี้ยงแบบเดิม ซึ่งจะแยกการให้อาหารหยาบและอาหารข้น การทำอาหารผสมเสร็จ (TMR) สามารถทำได้ทั้งแบบสดคือผสมแล้วให้กินเลย หรือแบบแห้งรวมถึงการอัดเม็ด เพื่อสะดวกในทางการค้า (สมคิด และ บุญล้อม, 2539) ปัจจุบันมีบริษัทผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปออกมาจำหน่ายทั้งในรูปอาหารผสมสำเร็จรูปอัดเม็ด อาหารผสมสำเร็จรูปแบบผง หรืออาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมัก (กองอาหารสัตว์, 2549)

ข้อดีของอาหารผสมเสร็จ

อาหารผสมเสร็จมีข้อดีดังนี้ (ไพบุลย์, 2537; สมชาย, 2538; นลอง และคณะ 2540)

1. สะดวกในการจัดการให้อาหาร และประหยัดแรงงานโดยเฉพาะการจัดหาอาหารหยาบ
2. ทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างในกระเพาะรูเมนอยู่ในระดับเหมาะสม (pH 6-6.8) ทำให้การทำงานของจุลินทรีย์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลดีต่อผลผลิตของสัตว์
3. เพิ่มความน่ากินของอาหาร ทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น
4. สัตว์ได้รับโภชนาตามความต้องการอย่างสม่ำเสมอ และทำให้โคสามารถแสดงศักยภาพในการให้ผลผลิตได้อย่างเต็มที่
5. ทำให้โคกินอาหารได้มากขึ้นโดยไม่มีผลกระทบต่อความเป็นกรดเป็นด่างในกระเพาะรูเมน
6. ป้องกันการเกิดกรดในกระเพาะ (acidosis) จากการกินอาหารข้นมากเกินไปได้

ลักษณะของอาหารผสมเสร็จที่ดี

ลักษณะของอาหารผสมเสร็จที่ดี ควรมีคุณสมบัติคือ (ไพบูลย์, 2537; สมชาย, 2538)

1. ประกอบด้วยอาหารหยาบและอาหารข้นในสัดส่วนที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับอายุและการให้ผลผลิตของโค
2. คุณภาพของอาหารหยาบและวัตถุดิบอาหารข้่นที่นำมาผสมต้องมีคุณภาพดี เพื่อให้การใช้ประโยชน์จากอาหารผสมเสร็จเกิดประโยชน์สูงสุด
3. ขนาดความยาวของอาหารหยาบควรมีขนาดประมาณ 3-5 เซนติเมตร
4. การกระจายตัวของอาหารหยาบและอาหารข้่นต้องสม่ำเสมอ
5. สภาพของอาหารต้องใหม่และมิกลิ่นหอมνάกิ้น

สัดส่วนระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้่นของอาหารผสมเสร็จ

สัดส่วนระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้่น คุณภาพอาหารหยาบ และระดับความยาวของอาหารหยาบในอาหารผสมเสร็จ เป็นส่วนกระตุ้นให้มีการขยอกอาหารกลับออกมาเคี้ยวใหม่ และกระตุ้นการหลั่งน้ำลายเพื่อรักษาสภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน ให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ มีผลทำให้สัตว์กินได้มากขึ้น และมีผลต่อการเจริญเติบโตสูงขึ้น (Owen *et al.*, 1996) ด้านปริมาณอาหารข้่นในอาหารผสมเสร็จ พบว่าโคที่ได้รับอาหารข้่นสูงกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ในอาหารผสมเสร็จทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ชนิดย่อยเยื่อใย (Cellulytic bacteria) ในกระเพาะรูเมนต่ำลง (Noceck, 1997) เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตจากอาหารข้่นสลายตัวอย่างรวดเร็วเกินกว่าที่จุลินทรีย์ เเปลี่ยนเป็นกรดโปรปิโอนิกได้ ทำให้มีการสะสมของกรดแลกติกในกระเพาะรูเมน (Dato and Aller, 1995) สัดส่วนระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้่นขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ด้วย ซึ่ง NRC (1988) ได้แนะนำสัดส่วนอาหารหยาบบางชนิดที่นำมาผสมในสูตรอาหาร TMR ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 แหล่งอาหารหยาบและสัดส่วนที่ใช้ผสมในสูตรอาหาร TMR

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) รายงานถึงลักษณะของอาหารผสมเสร็จที่ดีจะต้องมีระดับพลังงาน และโปรตีน ครบตามความต้องการของโคนม และตามระยะการให้นม รวมทั้งปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ อาหารผสมเสร็จควรมีระดับโปรตีนไหลผ่าน 30-50 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมดในอาหาร มีระดับคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (non fiber carbohydrate ;NFC) ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ มีเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (neutral-detergent fiber ;NDF) ไม่ต่ำกว่า 30-35 เปอร์เซ็นต์ และควรมีระดับเยื่อใย ที่ไม่ละลายในกรด (acid-detergent fiber ;ADF) ไม่ต่ำกว่า 20-25 เปอร์เซ็นต์

อาหารหยาบคุณภาพดีสามารถใช้ในสูตรอาหารผสมเสร็จที่ระดับ 20-50 เปอร์เซ็นต์สำหรับเลี้ยงโคนมน้ำหนัก 200-400 กิโลกรัม และ ระดับ 30-60 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโคนมน้ำหนัก 400 กิโลกรัมขึ้นไป (Owen, 1979) ส่วน NRC (1984) แนะนำว่า อาหารโคนมควรมีระดับ NDF ต่ำสุดที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อรักษาระดับความเป็นกรด – ด่างในกระเพาะรูเมนให้อยู่ในสภาวะปกติ และ Owen *et al.* (1996) รายงานว่า อาหารโคนมในรูปอาหารผสมเสร็จควรมีระดับอาหารหยาบต่ำสุด 30 เปอร์เซ็นต์ และระดับอาหารข้นไม่ควรสูงกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุดิบ

อย่างไรก็ตามในการประกอบสูตรอาหารผสมเสร็จ (TMR) สมคิด และ บุญล้อม (2539) รายงานว่าไม่ควรคำนึงถึงเยื่อใยหรือองค์ประกอบผนังเซลล์พืช (NDF หรือ ADF) ในส่วนของปริมาณเพียงอย่างเดียว แต่ควรคำนึงถึงขนาดของชิ้นอาหารหยาบด้วย เพราะมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นให้เกิดการบิตัวของกระเพาะส่วนหน้า ทำให้สัตว์ขอกอาหารออกมาเคี้ยวเอื้องและขับน้ำลายออกมา สอดคล้องกับ เมธา (2538) รายงานว่า ลักษณะทางกายภาพของอาหารหยาบจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องยังคงขนาดที่เหมาะสม คุณสมบัติของเยื่อใยและมีประสิทธิภาพ (effective fiber) และ

สามารถเกิดการสานตัวในกระเพาะรูเมนได้เป็นอย่างดี (matrix forming in the rumen) ทำให้สภาพแวดล้อมภายในกระเพาะรูเมนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมและคงที่ จากการศึกษาของ Harris (1991) อ้างโดยสมคิด และ บุญล้อม (2539) พบว่าการนำอาหารหยาบไปหั่นฝอยหรือบดละเอียด หรืออัดเม็ด แม้ว่าจะมีค่า NDF หรือ ADF เท่ากันเมื่อเป็นเส้นยาว แต่สมรรถภาพในการกระตุ้นให้เกิดการเคี้ยวเอื้องแตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 แหล่งอาหารหยาบ และขนาดชิ้นอาหารหยาบ และ %ADF ที่มีผลต่อการเคี้ยวเอื้อง

อาหารหยาบ	ADF(%DM)	ระยะเวลาเคี้ยวเอื้อง(นาที/kgDM)	Effective fiber factor	Effective ADF(%DM)
อัลฟัลฟ่า				
ชิ้นยาว	40	61.6	1.00	40
อัดเม็ด	40	37.4	0.35	14
ข้าวโพดหั่น				
หั่นปกติ	29	79.2	1.00	29
หั่นละเอียด	29	39.6	0.35	22
ผลพลอยได้ทางการเกษตร				
เปลือกเมล็ดฝ้าย	73	30.8	0.90	66
ฝ้ายทั้งเมล็ด	29	28.6	0.85	25
เปลือกเมล็ดถั่วเหลือง	50	8.8	0.30	15

ที่มา : Harris (1991) อ้างโดย สมคิด และ บุญล้อม (2539)

การใช้อาหารผสมเสร็จใช้เลี้ยงโค

กรุง และคณะ (2547) ศึกษาผลของสัดส่วนซึ่งข้าวโพด:ฟางข้าว:อาหารข้น ในอาหารผสมเสร็จ ดังนี้ 40:0:60, 33:7:60, 27:13:60 และ 20:20:60 พบว่า ปริมาณการกินได้ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุ ลดลงตามปริมาณของสัดส่วนฟางข้าว แต่ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม สอดคล้องกับ นิลอง และคณะ (2547) รายงานว่า สามารถใช้ซึ่งข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบได้ในสัดส่วนถึง 40 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระ

พบต่อปริมาณการกินได้ กระบวนการเกี่ยวข้อง และสมรรถนะการให้ผลผลิตของโคนม การให้อาหารผสมเสร็จ ทำให้ปริมาณการกินได้ทั้งหมดมีค่าสูงกว่าการให้อาหารแบบแยกประเภทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และสอดคล้องกับไพบูลย์ และคณะ (2539) ซึ่งได้ทดลองให้อาหารผสมเสร็จที่มีขังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่า การให้อาหารผสมเสร็จสามารถเพิ่มปริมาณการกินได้และมีแนวโน้มในการให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารหยาบและอาหารข้นแยกกันเหมือนกับการเลี้ยงทั่วไป โสภณ และคณะ (2544) ได้รายงานผลการใช้เปลือกสับประดะแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์ ประกอบในสูตรอาหารผสมเสร็จมีโปรตีน 15 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงโคนมโดยให้โคกินอาหารผสมเสร็จอย่างเต็มที่ เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ให้เปลือกสับประดะเต็มที่เสริมด้วยอาหารข้นโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อน้ำนมที่รีดได้ 2 กิโลกรัม พบว่า โคที่ได้รับอาหารผสมเสร็จ มีการกินได้มากขึ้นและมีปริมาณน้ำนมสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับเปลือกสับประดะเต็มที่เสริมด้วยอาหารข้น คือ 15.07 และ 11.63 กิโลกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ โดยไม่มีผลกระทบต่อส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม

เชษฐิธี และคณะ (2541) รายงานผลการศึกษาการใช้เศษเหลือสับประดะเป็นแหล่งอาหารหยาบ 50 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารผสมสำเร็จ เป็นอาหารโคเนื้อพันธุ์ผสมพื้นเมือง x บราห์มัน เพศผู้ พบว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของอาหารผสมสำเร็จต่อฟางข้าว คือ 100 : 0, 85 : 15, และ 70 : 30 มีค่าการกินได้เท่ากับ 1.97, 2.15 และ 2.24 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ และโปรตีน ในโคที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จอย่างเดียว มีค่าสูงกว่าโคที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จต่อฟางข้าวในระดับต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อัตราการเจริญเติบโตต่อวันของโคที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จต่อฟางข้าวในระดับต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และประสิทธิภาพการใช้อาหารของโคที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของอาหารผสมสำเร็จต่อฟางข้าวเท่ากับ 85:15 มีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เทอดศักดิ์ (2541) ศึกษาการใช้ฟางข้าวและขังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยคำนวณสูตรอาหารให้มีโภชนาใกล้เคียงกัน (ตาราง 8) และวิธีการให้อาหารผสมเสร็จ 3 วิธีคือ การให้อาหารผสมเสร็จแบบผง แบบอัดเม็ด และแบบอัดเม็ดร่วมกับฟางข้าว 1 กก./ตัว/วัน พบว่าชนิดของอาหารหยาบที่ใช้ในอาหารผสมเสร็จ มีผลให้ปริมาณการกินได้ ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่วิธีการให้อาหารผสมเสร็จแบบอัดเม็ดร่วมกับฟางข้าวจะทำให้โคกินอาหารมากขึ้น รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ไขมันนมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตาราง 9)

ตาราง 8 ตัวอย่างสูตรอาหาร TMR ที่มีฟางข้าวและซังข้าวโพดแหล่งอาหารหยาบ

วัตถุดิบ	สูตรฟางข้าว	สูตรซังข้าวโพด
ฟางข้าว	24.51	0.00
ซังข้าวโพด	0.00	25.85
มันเส้น	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		
โปรตีนรวม	16.00	16.00
พลังงาน	2.71	2.71
เชื้อใย NDF	30.05	34.49
เชื้อใย ADF	19.76	15.50

ที่มา : เทอดศักดิ์ (2541)

ตาราง 9 ปริมาณการกินได้ และการให้ผลผลิตของโคนมที่ได้รับอาหาร TMR ที่มีฟางข้าวและซังข้าวโพดแหล่งอาหารหยาบในรูปแบบต่าง ๆ

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
ของแข็งไม่รวมไขมัน	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 : เทดศักดิ์ (2541)

การย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีกระเพาะรูเมน เป็นส่วนที่รองรับอาหารที่กินเข้าไป การย่อยของอาหารในบริเวณนี้ถูกกระทำโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ภายในกระเพาะ ได้แก่ bacteria, protozoa และ anaerobic fungi โดยไม่มีเอนไซม์จากตัวสัตว์เข้ามาย่อยอาหารในส่วนนี้เลย เนื่องจากเนื้อเยื่อของกระเพาะส่วนนี้ ไม่มีต่อมสำหรับผลิตเอนไซม์ (Strom and Ørskov, 1982 อ้างโดย เทดชัย และ ter Meulen, 2542) เมื่อจุลินทรีย์ย่อยอาหารดังกล่าวแล้ว ได้ผลิตเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid ;VFA) เซลล์จุลินทรีย์ และแก๊ส กรดไขมันระเหยได้ส่วนใหญ่จะซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน ส่วนแก๊ส จะถูกขับออกโดยการเรอ และเซลล์จุลินทรีย์กับอาหารที่ไม่ถูกย่อยเคลื่อนตัวผ่านไปถึงกระเพาะแท้ (abomasum) และลำไส้เล็ก ทั้งเซลล์จุลินทรีย์และอาหารจะถูกย่อยโดยเอนไซม์จากกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก และถูกดูดซึมบริเวณลำไส้เล็ก ส่วนในลำไส้ใหญ่ก็มีกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์เช่นกัน และกรดไขมันระเหยได้บางส่วนจะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้ใหญ่ ส่วนเซลล์จุลินทรีย์จะถูกขับออกทางมูลพร้อมกับอาหารที่ไม่ถูกย่อย (McDonald *et al.*, 1995)

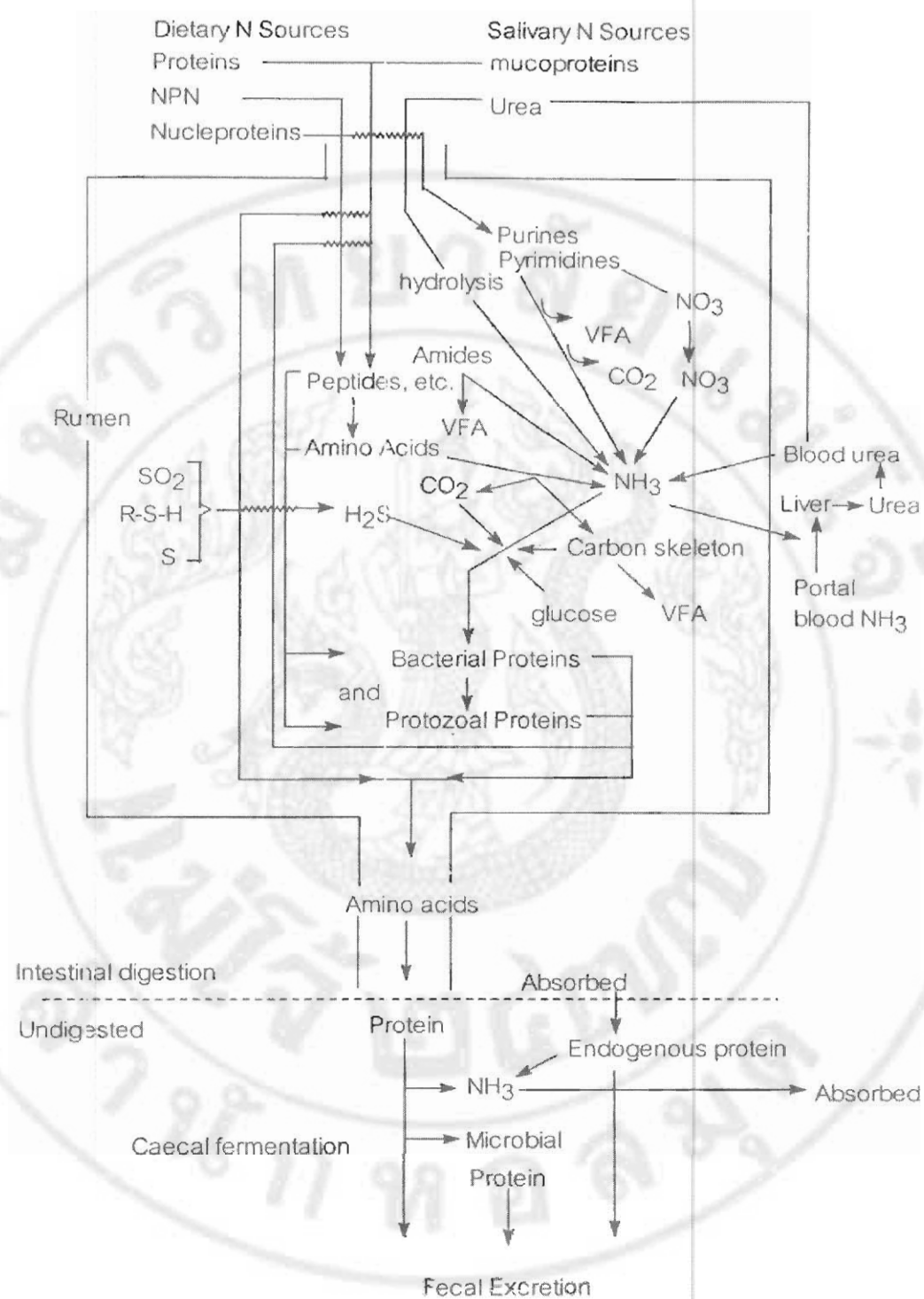
เทอดชัย (2542) กล่าวว่า การย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน เป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นอย่างมากเพราะว่าจุลินทรีย์เข้าย่อยพวก เซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ซึ่งเอนไซม์จากตัวสัตว์ไม่สามารถเข้าย่อย และเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยได้ ซึ่งทั้งจุลินทรีย์และสัตว์เคี้ยวเอื้องนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่การเข้าย่อยของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนนี้อาจจะทำให้อาหารคุณภาพดีบางส่วนถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ ก่อนที่จะเคลื่อนตัวผ่านไปถึงกระเพาะแท้ อาจมีผลให้อาหารคุณภาพดีเหล่านี้ เช่นพวกแป้ง โปรตีนคุณภาพสูง และกรดไขมันบางชนิด ถูกเปลี่ยนไปในรูปที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ลดลงกว่าเดิม สอดคล้องกับบุญล้อม (2541) กล่าวว่า ถ้าโปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปมีคุณภาพต่ำ หรือเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) การย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะมีประโยชน์มาก แต่ถ้าโปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปมีคุณภาพสูงการย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะมีประโยชน์ไม่มากนัก เพราะการสลายตัวของโปรตีนไปเป็นแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน มักจะมีการสูญเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถจับแอมโมเนียไปใช้ได้ทั้งหมด และโปรตีนเซลล์จุลินทรีย์ ที่เกิดขึ้นอาจจะมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่น้อยกว่าโปรตีนเดิมที่สัตว์กินเข้าไป ดังนั้นถ้าโปรตีนประเภทนี้ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์จากตัวสัตว์ที่กระเพาะแท้ และถ้าใส่เล็กก็จะเกิดประโยชน์มากกว่า เพราะได้กรดอะมิโนที่มีสัดส่วนเหมาะสม ซึ่งสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยตรง ซึ่งเราสามารถป้องกันไม่ให้สารอาหารเหล่านี้ถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยในกระเพาะรูเมน ได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้อาหารถูกส่งผ่านไปยังกระเพาะแท้ (by-pass) ได้เช่น by-pass protein, by-pass starch และ protected fat เป็นต้น (เทอดชัย และ ter Meulen, 2542)

ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน ถ้าอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมจะเกิดประโยชน์มากเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานแก่จุลินทรีย์ และยังเป็นโครงสร้างคาร์บอนในการทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเพื่อนำไปใช้สังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ด้วย (microbial protein) แต่การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน มีการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปในรูปของแก๊สมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นอาหารหยาบที่มีเยื่อใยสูง ซึ่งไม่สามารถย่อยได้ที่ลำไส้เล็ก การย่อยสลายในกระเพาะรูเมนมีประโยชน์มากกว่า ส่วนอาหารข้นซึ่งมีเยื่อใยต่ำสามารถย่อยได้ดีที่ลำไส้เล็ก การย่อยในลำไส้เล็กจะเป็นประโยชน์มากกว่า เพราะจะได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง (บุญล้อม, 2541)

การย่อยโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

อาหารประเภทโปรตีนประกอบด้วยโปรตีนแท้ (true protein) และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) โปรตีนแท้บางส่วนถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน เรียกโปรตีนเหล่านี้ว่า rumen degradable protein (RDP) ซึ่งถูกย่อยเป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน และจุลินทรีย์สามารถนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนเซลล์จุลินทรีย์ได้ (microbial protein) และมีโปรตีนบางส่วนที่มีความทนทานต่อการย่อยของจุลินทรีย์ ทำให้ไม่ถูกย่อยและเคลื่อนตัวผ่านไปถึงกระเพาะแท้ และลำไส้เล็ก เรียกโปรตีนเหล่านี้ว่า rumen undegradable protein (RUP) ส่วนไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) เมื่อเข้าสู่กระเพาะ rumen แล้วแตกตัวเป็นแอมโมเนีย และถูกจุลินทรีย์นำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ เมื่อเซลล์จุลินทรีย์และโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยเคลื่อนตัวผ่านไปถึงกระเพาะแท้ และลำไส้เล็ก จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก ได้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน และถูกดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป (McDonald *et al.*, 1995)

โดยทั่วไปภายในผนังลำไส้เล็กจะมีเอนไซม์ peptidase ทำหน้าที่ย่อยเปปไทด์สายสั้น ๆ ให้เป็นกรดอะมิโน ซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คือ นำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน หรือถูก oxidation ต่อไปและให้พลังงานในรูป ATP ส่วนแอมโมเนียหรือไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) เมื่อถูกดูดซึมจะถูกเปลี่ยนเป็นยูเรีย (urea) ส่วนหนึ่งของยูเรียจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ แต่ส่วนใหญ่ถูกขับออกไปพร้อมกับปัสสาวะ โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก โปรตีนจากจุลินทรีย์และน้ำย่อยต่าง ๆ จากลำไส้เล็กและตับอ่อน เมื่อผ่านไปยังลำไส้ใหญ่ จะมีการย่อยโปรตีนในลำไส้ใหญ่คล้ายกับในกระเพาะรูเมน คือ ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายส่วนใหญ่ได้เป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมเข้าไปในกระแสเลือด ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก และส่วนหนึ่งถูกนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนโดยจุลินทรีย์ แต่โปรตีนจากจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลำไส้ใหญ่นี้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และถูกขับออกนอกร่างกายพร้อมกับมูล ดังภาพ 1 (เทอดชัย, 2542)



ภาพ 1 การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมน

ที่มา : เทอดชัย (2548)

การย่อยคาร์โบไฮเดรตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างของพืช (structural carbohydrate) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เพกติน (pectin) และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural carbohydrate) ได้แก่ แป้ง และน้ำตาล เมื่ออาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเข้าสู่กระเพาะรูเมนจะถูกลดด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในชั้นแรกได้น้ำตาลเชิงซ้อน (polysaccharide) จากนั้นถูกย่อยด้วยเอนไซม์สุดท้ายได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) และถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวท (pyruvate) อย่างรวดเร็ว ในขั้นตอนสุดท้ายไพรูเวทถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid ;VFA) ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรปิโอนิก (propionic acid) กรดบิวทีริก (butyric acid) และได้คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นมีเทน (methane) ต่อไป กรดไขมันระเหยได้ส่วนหนึ่งจุลินทรีย์นำไปใช้สังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ และอีกส่วนหนึ่งถูกซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปยังตับ กรดอะซิติก กรดบิวทีริก ถูกใช้เป็นแหล่งพลังงาน และสังเคราะห์เป็นไขมัน ส่วนกรดโพรปิโอนิกจะถูกใช้ในการสังเคราะห์กลูโคสได้โดยกระบวนการกลูโคนีโอเจเนซิส (gluconeogenesis)

คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมน และคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน เมื่อผ่านไปยังลำไส้เล็ก คาร์โบไฮเดรตประเภทแป้งถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากลำไส้เล็กและตับอ่อนได้เป็นกลูโคส ซึ่งถูกดูดซึมและนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยตรง ส่วนคาร์โบไฮเดรตประเภทเยื่อใยไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์จากลำไส้เล็ก จึงผ่านเข้าไปในลำไส้ใหญ่ การย่อยคาร์โบไฮเดรตในลำไส้ใหญ่เกิดจากการย่อยโดยจุลินทรีย์เหมือนในกระเพาะรูเมน ผลผลิตที่ได้ คือ กรดไขมันระเหยได้ และโปรตีนจุลินทรีย์ โดยกรดไขมันระเหยได้สัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ แต่โปรตีนจากจุลินทรีย์ สัตว์ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ ดังภาพ 2 (เว ออคชัย, 2542)

ความเป็นกรด – ด่างในกระเพาะรูเมน

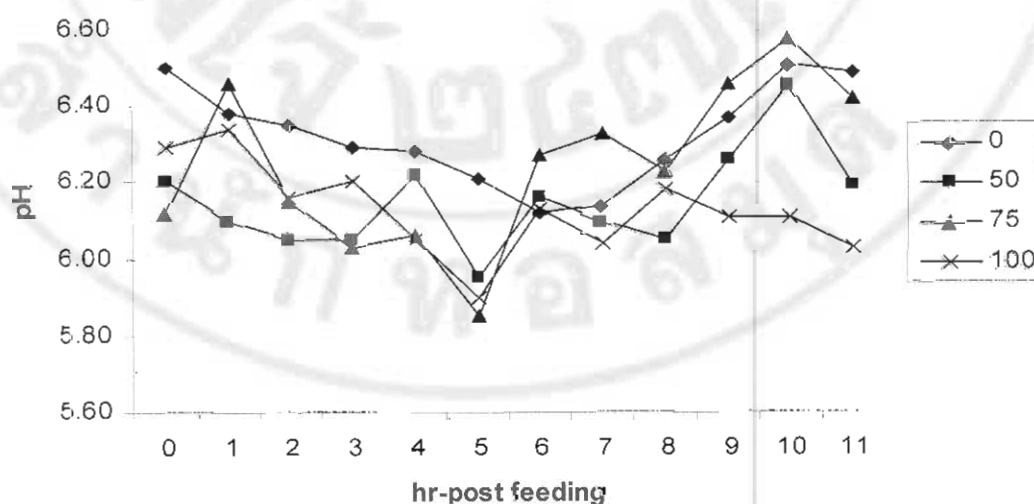
ในสภาพปกติค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน (ruminal pH) จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.5-6.5 (McDonald *et al.*, 1995) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะแปรปรวนไปตามชนิดของอาหารที่สัตว์กินเข้าไปและเวลาที่ทำการวัด วิธีการและตำแหน่งการวัด การวัดค่า pH ที่ cranial sac และด้านบนของกระเพาะรูเมนรวมทั้งภายในกระเพาะ reticulum จะมีค่า pH สูงกว่าบริเวณอื่นโดยปกติวัดค่า pH บริเวณด้านล่างของกระเพาะรูเมนโดยการสอดแท่ง electrode ในส่วนด้านล่างของกระเพาะรูเมน การนำเอาของเหลวในกระเพาะรูเมนออกมาวัดค่า pH นอกร่างกายทำให้เกิดการสูญเสีย CO_2 จะทำให้ค่า pH ที่วัดได้สูงกว่าค่าที่เป็นจริง (เทอดชัย, 2548) และเมื่อสัตว์กินอาหารประเภทแป้ง ในกระบวนกรย่อยแป้งเกิด lactic acid เป็นจำนวนมากทำให้ความเป็นกรด – ด่างในกระเพาะรูเมน ลดต่ำลงเหลือ 2.5-3.0 ในน้ำลายมี phosphate และ bicarbonate ทำหน้าที่รักษาความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน (buffer) ให้ปกติ และความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนสามารถบ่งบอกถึงการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตได้ ถ้าหากค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงว่าอาหารนั้นมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย หมายถึงมีพลังงานจำนวนมากในกระเพาะรูเมน แต่ถ้าความเป็นกรด-ด่างไม่ลดลงในกระเพาะรูเมน แสดงว่าอาหารนั้นมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ยาก (เทอดชัย, 2542)

อาหารผสมเสร็จกับสภาพความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน (ruminal pH)

บลอง และคณะ (2540) รายงานว่า การใช้ประโยชน์ของอาหารในกระเพาะหมักที่ดีจำเป็นต้องมีโภชนะเป็นที่ต้องการของจุลินทรีย์ และอัตราการปลดปล่อยของโภชนะจะต้องอยู่ในระดับเหมาะสม เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การให้อาหารแยกกันระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น จะทำให้การใช้ประโยชน์ของโภชนะ (พลังงานและโปรตีน) ที่ปลดปล่อยออกมาไม่มีความต่อเนื่องและขาดสมดุล เป็นผลให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของโภชนะต่ำลงรวมทั้งระบบนิเวศในกระเพาะรูเมนไม่เหมาะสมต่อการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ คือหลังจากโคได้รับอาหารข้นจะทำให้กระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรตเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการผลิตกรดแลคติกและกรดโปรปิโอนิก ในอัตราที่สูงความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว (pH ต่ำกว่า 5.5) ซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายเยื่อใย และโคเกิดภาวะความเป็นกรดในกระเพาะรูเมน สาเหตุเนื่องจากกิจกรรมการเคี้ยวและการเคี้ยวเอื้องลดลง การหลั่งน้ำลายออกมาน้อยในช่วงที่โคกินอาหารข้น ปกติค่า pH ที่

เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ควรรอยู่ที่ระดับ 6-6.5 และในขณะที่โคได้รับอาหารหยาบ โดยเฉพาะอาหารหยาบคุณภาพต่ำจะทำให้ค่า pH ภายในกระเพาะรูเมนค่อนข้างสูง (pH สูงกว่า 6.8-7) เนื่องจากการหลั่งน้ำลายออกมามากจากกิจกรรมการเคี้ยว และการเคี้ยวเอื้อง ส่งผลกระทบต่อ กิจกรรมและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตลดลง ดังนั้นการให้อาหารผสมเสร็จ เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วย ทำให้ ค่า pH ภายในกระเพาะรูเมนไม่เปลี่ยนแปลงมากนักทำให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นอย่าง สมบูรณ์ และสม่ำเสมอ (ฉลอง, 2546)

โดยทั่วไปแล้ว ค่า pH ในกระเพาะรูเมนจะอยู่ในระดับต่ำในช่วง 2-6 ชั่วโมงหลังจากกิน อาหาร (เทอดชัย, 2548) สอดคล้องกับ Huang *et al.* (1999) ได้ศึกษาการใช้กากส่าเห็ดเป็นส่วนประกอบในอาหารผสมสำเร็จรูป (total mixed ration ;TMR) พบว่าค่า pH ในกระเพาะรูเมน ก่อนให้อาหารมีค่าสูงกว่า 6.2 แล้วค่อย ๆ ลดลงหลังจากได้รับอาหาร และมีค่าสูงขึ้นในช่วงที่ 6-8 และสอดคล้องกับ อำพล (2546) รายงานว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน (ruminal pH) หลังจากโคได้รับอาหารขึ้นที่ใช้กากเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนแทนกากถั่วเหลืองที่ระดับ 0, 50, 75, และ 100 เปอร์เซ็นต์พบว่าก่อนที่โคจะได้รับอาหารค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน เฉลี่ยเท่ากับ 6.27 หลังจากกินอาหาร ค่า pH มีแนวโน้มลดลง โดยที่ชั่วโมงที่ 5 ค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 5.98 และหลังจากชั่วโมงที่ 5 เป็นต้นไปค่า pH มีแนวโน้มสูงขึ้นโดยที่ชั่วโมงที่ 11 หลังจากกิน อาหาร ค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 6.28 (ภาพ 3)



ภาพ 3 ความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะรูเมนหลังจากโคได้รับอาหารทดลอง ที่ชั่วโมงต่าง ๆ
ที่มา : ดัดแปลงจาก อำพล (2546)

กรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน

เมธา (2533) กล่าวว่า คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทั้งหมดโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ จะถูกเปลี่ยนให้เป็น กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid ;VFA) เช่น กรดอะซิติก (C_2) กรดโพรพิโอนิก (C_3) กรดบิวทีริก (C_4) และกรดวาเลอริก (valeric acid) ซึ่ง กรดวาเลอริกจะมีน้อยที่สุดในกระเพาะหมัก และในระหว่างการหมักจะมีสารตัวกลางเกิดขึ้น (intermediate products) คือ กรดซักซินิก (succinic acid) และกรดแลคติก (lactic acid) เกิดขึ้นด้วยนอกจากนี้จะมี คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีเทน (CH_4) กรดไขมันระเหยง่ายจะถูกใช้เป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญของร่างกายโค โดยกรดอะซิติกจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกาย และใช้ในการผลิตไขมันนม ส่วนกรดโพรพิโอนิกจะถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลในนม และไขมันในร่างกายหรือไขมันในซาก และกรดบิวทีริกก็สามารถถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานได้เช่นกัน การเปลี่ยนแปลง ความเข้มข้น และสัดส่วนของกรดไขมันระเหยง่าย จะไม่คงที่เสมอไป แต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร และระยะเวลาภายหลังจากการกินอาหาร (เทอดชัย, 2548) และ Hungate (1966) อ้างโดย เมธา (2533) พบว่าความเข้มข้นของกรดอะซิติก (C_2) กรดโพรพิโอนิก (C_3) และกรดบิวทีริก (C_4) เท่ากับ 62, 22 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ วิโรจน์ (2546) กล่าวว่าในอาหารปกติโดยทั่วไป จะมีสัดส่วนของกรดอะซิติก 65 เปอร์เซ็นต์ กรดโพรพิโอนิก 20 เปอร์เซ็นต์ และกรดบิวทีริก 15 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการให้อาหาร สัดส่วนของอาหาร ถ้าให้อาหารที่มีแหล่งคาร์โบไฮเดรตย่อยง่ายมาก และมีปริมาณเชื้อเขี่ยน้อย จะมีผลให้การผลิตกรดอะซิติกน้อยลง แต่การผลิตกรดโพรพิโอนิก จะเพิ่มขึ้น (ตาราง 10 และตาราง 11)

ตาราง 10 สัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่มีผลต่อกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน โค

สัดส่วนของอาหารหยาบ ต่ออาหารข้น	สัดส่วนของกรดไขมันระเหยง่าย (%)		
	กรดอะซิติก	กรดโพรพิโอนิก	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 : Ishler *et al.* (1996)

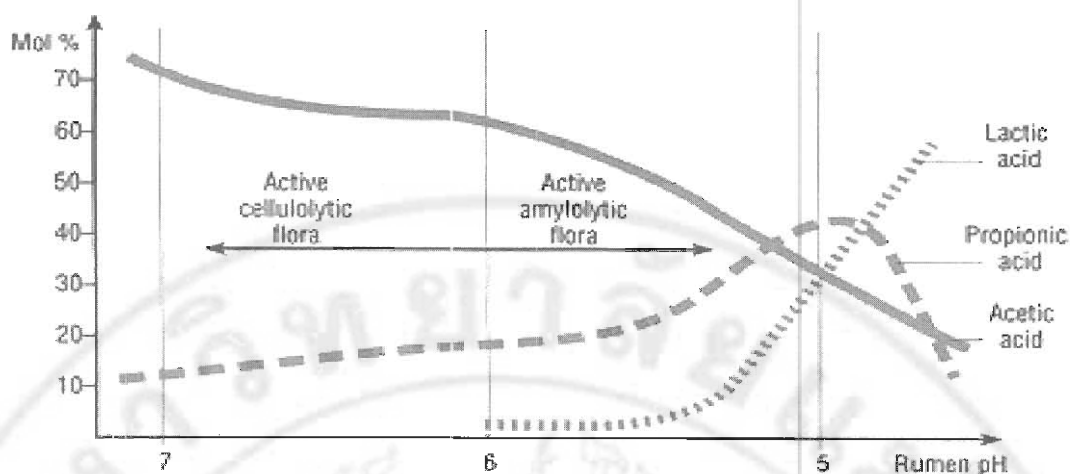
ตาราง 11 สัดส่วนอาหารหยาดต่ออาหารข้นที่มีผลต่อกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมนแกะ

สัดส่วนของอาหาร หยาดต่ออาหารข้น	กรดไขมันระเหย ง่ายรวม(mM/l)	สัดส่วนของกรดไขมันระเหยง่าย(%)			
		อะซิติก	โพรปิโอนิก	บิวทีริก	อื่นๆ
100 : 00	97	66	22	9	3
80 : 20	80	61	25	11	3
60 : 40	87	61	23	13	2
40 : 60	76	52	34	12	3
20 : 80	70	40	40	15	5

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

ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด – ด่าง และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน

เมธา (2533) อธิบายว่าสภาวะภายในรูเมนมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากอาหาร เริ่มตั้งแต่สัตว์กินอาหารเกิดกระบวนการหมักในรูเมน ซึ่งในระยะแรกนั้นเป็นการหมักอาหารที่ย่อยง่ายพวกน้ำตาล ต่อมาเป็นพวกโปรตีนที่ละลายง่าย ระดับการหมักสูงสุดเกิดขึ้นระหว่าง 2-4 ชั่วโมง หลังจากสัตว์กินอาหารโดยกรดแลคติกมีความเข้มข้นสูงกว่ากรดตัวอื่น มีผลให้ค่า pH ในกระเพาะหมักลดลง ส่วนการย่อยพวกเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เพกติน (pectin) จะเกิดขึ้นในระยะหลังและนานกว่า มีช่วงเวลาตั้งแต่ 2-24 ชั่วโมง สอดคล้องกับ วิโรจน์ (2546) ซึ่งกล่าวว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนอาหารข้นมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ มักจะมีปัญหาเรื่องการควบคุมสภาพสมดุลในกระเพาะหมัก เนื่องจากการให้อาหารข้นสูงทำให้มีการผลิตกรดแลคติกออกมามากเกินไป ค่า pH ในกระเพาะหมักของโคลดลง จากสภาวะปกติ (6.2-6.5) เป็น 5.0-6.0 จะทำให้จุลินทรีย์บางกลุ่มตายไป และสัดส่วนกรดไขมันระเหยง่ายเปลี่ยนไปคือ สัดส่วนของกรดโพรปิโอนิก และกรดบิวทีริก มากกว่ากรดอะซิติก และถ้า pH ยังลดต่ำลงอีกเป็น 4.0 จะทำให้กระเพาะหมักของโคเกิดภาวะความเป็นกรดอย่างรุนแรง (acidosis) และเมื่อโคได้รับอาหารที่มีสัดส่วนอาหารหยาดมากกว่าอาหารข้น และค่า pH ในกระเพาะจะสูงขึ้น เพราะมีสัดส่วนของกรดอะซิติกเพิ่มขึ้น มีการเคี้ยวเอื้อง และเพิ่มการหลั่งน้ำลาย ซึ่งน้ำลายมีส่วนทำให้ค่า pH สูงขึ้นจากสภาพที่เป็นกรดสู่สภาพที่เป็นกลาง เนื่องจากน้ำลายมี phosphate และ bicarbonate ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ (buffering capacity) (เทอดชัย, 2548)



ภาพ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด – ด่าง และกรดไขมันระเหยง่าย ในกระเพาะรูเมน
ที่มา : Kaufmann *et al.* (1980)

จากภาพ 4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า pH ต่ำกว่า 6 จะทำให้ระดับกรดแลคติกในรูเมนเพิ่มขึ้น ส่วนกรดอะซิติกจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ และกรดโพรปิโอนิก จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลงถึง 5 และเมื่อค่า pH ลดลงต่ำกว่า 5 ระดับของกรดโพรปิโอนิก จะลดลงทันที ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมนขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการผลิตและการดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน ถ้าอัตราเร็วในการผลิตกรดไขมันระเหยง่ายมีมากก็จะมีกรดสะสมอยู่ในกระเพาะรูเมนมาก ในสภาพ pH ในกระเพาะหมักปกติการดูดซึม กรดบิวทีริกมากกว่า กรดโพรปิโอนิก และกรดอะซิติก ($C_4 > C_3 > C_2$) เพราะผนังเซลล์ มีการใช้กรดบิวทีริก และกรดโพรปิโอนิกในการเจริญเติบโต แต่ถ้าค่า pH ลดลงต่ำกว่า 5 การดูดซึม กรดอะซิติกมากกว่า กรดโพรปิโอนิก และกรดบิวทีริก ($C_2 > C_3 > C_4$) (วิโรจน์, 2546) และค่า pH ในกระเพาะรูเมนจะกลับกันกับปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายได้ ถ้ากรดไขมันระเหยง่ายมีความเข้มข้นสูงขึ้นค่า pH ในกระเพาะรูเมนจะยิ่งต่ำลง (บุญล้อม, 2541)

การประเมินคุณค่าทางอาหารและวิธีการหาการย่อยได้ของโภชนะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การประเมินคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์ในเบื้องต้นสามารถวัดได้โดยการวิเคราะห์ทางเคมีได้หลายวิธี แต่ที่นิยมแพร่หลายทั่วไป คือการวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) เป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีในอาหารได้ระดับหนึ่ง แต่มีข้อจำกัดโดยเฉพาะการวิเคราะห์เยื่อใยในอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใย เช่นพืชอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ (บุญล้อม, 2541) จึงได้มีการพัฒนาการวิเคราะห์เยื่อใยขึ้น เรียกว่า Detergent method หรือ Forage fiber analysis

(Goering and Vansoest, 1970) ซึ่งเป็นวิธีการหาส่วนประกอบของผนังเซลล์โดยเฉพาะการหาค่าปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีนี้ยังไม่สามารถบอกปริมาณอาหารที่สัตว์กินและโภชนะที่ได้รับ เพราะในระหว่างกระบวนการย่อยอาหาร การดูดซึม และเมตาโบลิซึม จะมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารไปฉะนั้นในการให้อาหารตามความต้องการของสัตว์จำเป็นต้องทราบข้อมูลของการย่อยได้ของอาหารเพื่อทราบปริมาณโภชนะที่สัตว์ได้รับหรือที่สูญเสียไป (เทอดชัย, 2542) การศึกษาการย่อยได้สามารถศึกษาได้ทั้งในสัตว์ทดลอง (*in vivo*) หรือ *in sacco* และทดลองนอกตัวสัตว์หรือในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) (เมธา, 2533)

การหาการย่อยได้ในตัวสัตว์ทดลอง

เทอดชัย (2542) กล่าวว่า การหาการย่อยได้ของโภชนะโดยการศึกษาในตัวสัตว์ทดลองสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. Conventional Method หรือ Total Collection Method ทำได้โดยนำอาหารไปให้สัตว์กินโดยตรง ชั่งน้ำหนักของอาหารที่สัตว์กินเข้าไป และชั่งน้ำหนักมูล และปัสสาวะที่ถ่ายออกมาทั้งหมด และสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของโภชนะ และคำนวณหาการย่อยได้ต่อไป ด้วยสมการดังนี้

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

การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะโดยใช้สัตว์ทดลอง จำเป็นต้องคัดเลือกสัตว์ที่มีความสม่ำเสมอทั้งในด้านพันธุกรรม อายุ น้ำหนักตัว เพื่อไม่ให้เกิดความแปรปรวนจากตัวสัตว์ และเพื่อให้อาหารทดลองเข้าไปแทนที่อาหารเดิมในระบบทางเดินอาหาร สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องถ้าเป็นอาหารปกติใช้เวลา 7–10 วัน ถ้าเป็นอาหารแปลกใหม่ จะต้องใช้เวลา 14–21 วัน และช่วงที่วัดปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้จริง และมูลสัตว์ที่ขับออกมาทั้งหมด ถ้าให้อาหารระดับคงที่ใช้เวลาประมาณ 7 วัน แต่ถ้าต้องการวัดปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้ใช้เวลา 7–10 วัน (บุญล้อม, 2541)

2. วิธีการใช้สารบ่งชี้ (indicator method หรือ marker) วิธีการคล้ายกับแบบ Conventional Method แต่ไม่จำเป็นต้องเลี้ยงสัตว์ในคอกทดลอง และไม่จำเป็นต้องชั่งน้ำหนักมูลทั้งหมด เก็บเพียงแต่ตัวอย่างบางส่วนไปวิเคราะห์และคำนวณหาการย่อยได้ต่อไป สารบ่งชี้ (indicator หรือ

marker) มีคุณสมบัติดังนี้ คือ ไม่ถูกย่อย ดูดซึม หรือสูญหายไปในระบบทางเดินอาหาร และไม่เป็นอันตราย ผ่านทางเดินอาหารด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกับอาหาร ไม่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหาร สารบ่งชี้ที่นิยมใช้ได้แก่ ไททาเนียมออกไซด์ (titanium dioxide ; TiO_2) โครมิกออกไซด์ (chromic oxide ; Cr_2O_3) ลิกนิน (lignin) และเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash ; AIA) สารบ่งชี้ที่ใช้ในการทดลองหาการย่อยได้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (ทรงศักดิ์ และ ยุทธชัย, 2542)

2.1 สารบ่งชี้ภายใน (Internal Indicator) เป็นสารที่กระจายอยู่ทั่วไปในอาหารเช่น ลิกนิน (lignin) เถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash ; AIA) วิธีนี้ต้องทำการวิเคราะห์หา AIA ในอาหารทดลองและต้องทราบปริมาณการกินได้ของสัตว์ที่แน่นอน โดยการสุ่มตัวอย่างมูลสัตว์ทดลองหลายๆ วันติดต่อกัน นำมูลที่ได้นำมาผสมกัน แล้วสุ่มมาประมาณ 500 กรัม นำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนแห้ง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หา AIA หรือโภชนะที่เหลืออยู่เพื่อคำนวณหาการย่อยได้ต่อไป ดังสมการ

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

2.2 สารบ่งชี้ภายนอก (External Indicator) เป็นการใส่สารเคมีเติมเข้าไปในอาหารทดลอง สารเคมีที่นิยมใช้คือ โครมิกออกไซด์ (chromic oxide ; Cr_2O_3) ผสมในอาหารให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ แล้ววิเคราะห์หาปริมาณของ Cr_2O_3 ที่มีในอาหารผสมและที่ถ่ายออกมาในมูลเพื่อคำนวณหาการย่อยได้ต่อไป ดังสมการ

$$\% \text{การย่อยได้} = \frac{\left[\frac{\text{วัตถุแห้งในอาหาร}}{\text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ ในอาหาร}} \right] - \left[\frac{\text{วัตถุแห้งในมูล}}{\text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ ในมูล}} \right]}{\left[\frac{\text{วัตถุแห้งในอาหาร}}{\text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ ในอาหาร}} \right]} \times 100$$

การหาการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ

การหาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารโดยการทดลองในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility) เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย แรงงาน และใช้เวลามากจึงมีการพัฒนาวิธีการหาการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* technique) ที่นิยมใช้กันอยู่มีหลายวิธี ดังที่ บุญล้อม (2541) แนะนำไว้คือ

1. วิธีการ 2 ขั้นตอน (2 stages method) เป็นวิธีการที่ Tilly and Terry (1963) พัฒนาขึ้นโดยการหมักตัวอย่างอาหารประมาณ 0.5 กรัม กับของเหลวในรูเมน จำนวน 10 มิลลิลิตร และสารละลายบัฟเฟอร์ จำนวน 40 มิลลิลิตรในหลอดทดลองเก็บไว้ในสภาพไม่มีออกซิเจนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นหยดปฏิกิริยาด้วยกรดเกลือ (mercuric chloride) แล้วทำการปั่นเหวี่ยงแยกกากตะกอนออก และย่อยต่อด้วยเอนไซม์เปปซิน (pepsin) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการปั่นเหวี่ยงแยกกากตะกอนออก แล้วนำไปอบแห้งและเผา เพื่อคำนวณหาการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุต่อไป วิธีนี้ได้รับความนิยมมานาน ภายหลังได้มีการพัฒนาวิธีการอื่นที่สามารถให้ข้อมูลได้มากกว่าและมีความแม่นยำสูงกว่า วิธีนี้จึงได้รับความนิยมลดลง

2. วิธีการเปปซิน - เซลลูเลส (pepsin - cellulase technique) โดยการใช้ เอนไซม์ เซลลูเลส ย่อยอาหารทดลองแทนเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ในกระเพาะรูเมน มีวิธีการอยู่ 3 ขั้นตอน คือ ใช้เอนไซม์เปปซิน (pepsin) ย่อยอาหารทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง การย่อยแป้งด้วยสารละลายเปปซิน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที การย่อยผนังเซลล์ด้วยและเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นสามารถคำนวณหาการย่อยได้ (De Boever *et al.*, 1986)

3. วิธีวัดปริมาณแก๊ส (gas production technique) เป็นวิธีที่สามารถประเมินค่าการย่อยได้ที่ใกล้เคียงกับการใช้ตัวทดลองมากที่สุด (Pell and Schofield, 1993) โดยอาศัยหลักการว่า ปริมาณการย่อยได้ของสัตว์มีความสัมพันธ์กับจำนวนแก๊ส ที่ผลิตออกมาคือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีเทน (CH_4) ซึ่งเกิดขึ้นในการหมักอาหารในกระเพาะรูเมน ที่เกิดจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้เป็นกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) ได้แก่ acetic acid, propionic acid และ butyric acid ส่วนอาหารพวก โปรตีน และไขมัน ผ่านกระบวนการหมักแล้วได้ปริมาณแก๊สน้อยกว่าพวกคาร์โบไฮเดรต (Menke and Steingass, 1988)

4. วิธีใช้ถุงไนลอน (nylon bag technique) หรือ *in sacco* เป็นวิธีการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ ที่นิยมใช้ในสัตว์กระเพาะรวม ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับส่วนที่ละลายได้ ส่วนที่ละลายแต่ย่อยสลายได้ และอัตราการย่อยสลาย (degradation rate) ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการ

ประเมินคุณค่าทางอาหาร สามารถนำไปใช้ทำนายปริมาณอาหารที่สัตว์สามารถกินได้ ปริมาณโภชนะที่สัตว์ได้รับ

การทดลองด้วยวิธีนี้ต้องใช้สัตว์ทดลองอย่างน้อย 3 ตัว สัตว์ทุกตัวได้รับการผ่าตัดเจาะกระเพาะและใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหาร (fistula) ถุงที่ใช้ทดลอง ทำมาจาก polyester หรือไนลอน มีขนาดรู ประมาณ 20 – 40 ไมโครเมตร (Ørskov, 1985) ขนาดของถุง 7 x 15 เซนติเมตร บริเวณมุมควรมีลักษณะโค้งมน การเตรียมตัวอย่างอาหารทดลอง นำอาหารมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ซึ่งตัวอย่างอาหารประมาณ 3 กรัม ถ้าเป็นอาหารหยาบ และประมาณ 5 กรัม ถ้าเป็นอาหารข้น ใส่ลงในถุงที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ผูกถุงเข้ากับสายยางจากนั้นนำไปแช่ในกระเพาะรูเมน เป็นเวลา 4, 8, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง สำหรับตัวอย่างที่เป็นอาหารหยาบ และ 2, 4, 18, 16, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง สำหรับตัวอย่างที่เป็นอาหารข้น เมื่อครบกำหนดเวลา นำถุงทั้งหมดออกมาล้างด้วยน้ำเปล่าจนน้ำใส จากนั้นนำถุงไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเพื่อหาปริมาณวัตถุแห้ง แล้วนำตัวอย่างอาหารไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงเพื่อหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ แล้วคำนวณหาปริมาณโภชนะที่สลายตัว จากสมการ

$$\% \text{ ปริมาณ โภชนะที่สลายตัว (disappearance) } = ((W_o - W_T) / W_o) \times 100$$

เมื่อ W_o = ปริมาณโภชนะในอาหารก่อนการหมักย่อย

W_T = ปริมาณโภชนะในกากอาหารหลังการหมักย่อย

นำค่าโภชนะต่างๆ ที่สลายตัว (disappearance) เข้าโปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY เพื่อคำนวณหาการย่อยสลายของโภชนะต่าง ๆ ได้จากสมการ Ørskov and McDonald (1979) ดังนี้

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

เมื่อ P = ค่าการย่อยสลายที่ช่วงเวลาต่าง ๆ (%)

a = ส่วนที่ละลายได้ทันที (%)

b = ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถเกิดขบวนการหมักได้ (%)

c = log ฐาน 10

t = อัตราการย่อยสลายของ b

t = ช่วงระยะเวลาในการหมักบ่ม

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

ถุงที่ใช้ในการทดลองใช้ถุงพอลิเอสเตอร์ (ANKOM F57) ขนาด 5x 5.5 เซนติเมตร มีขนาดรูถุง (pore size) 25 ไมครอน โดยหึ่งตัวอย่างอาหารที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร จำนวน 0.5 กรัม ใส่ลงถุงแล้วปิดปากถุงด้วยเครื่องทำความร้อน นำถุงอาหารใส่ลงในโถแก้วแล้วเติมสารละลายบัฟเฟอร์ A (KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaCl , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และบัฟเฟอร์ B (Na_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) นำมาผสมกับของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่ผ่านการปั่น โดยทุกขั้นตอนมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดเวลา จากนั้นนำโถแก้วเข้าแช่บ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส ในเครื่องแช่บ่ม ANKOM Daisy^{II} เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำถุงออกมาล้างด้วยน้ำจนสะอาด แล้วนำถุงเข้าอบในตู้อบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (Adesogan, 2005; Robinson *et.al.*, 1999) จากนั้นนำมาหาค่าการย่อยได้ด้วยวิธี IVTD จากสูตร

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

โดย $w1$ = น้ำหนักถุงเปล่า

$w2$ = น้ำหนักอาหารทดลอง

$w3$ = น้ำหนักถุงพร้อมอาหารทดลอง

$w4$ = น้ำหนัก blank (น้ำหนัก blank หลังการแช่บ่ม / น้ำหนัก blank)