บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

เสาวรสเป็นพืชในตระกูล พาสซิฟลอราซิอี้(Passifloraceae) พบครั้งแรกที่ประเทศเม็กซิโก ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 โดยนักบวชชาวสเปน ชื่อ ฟลอส พาสชั่นนิส (Flos passionnis) เสาวรสเป็นไม้ผลที่นิยมปลูกกันมากชนิดหนึ่งในต่างประเทศ เช่นออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ บราซิล สหรัฐอเมริกา และ อัฟริกาใต้ ในประเทศไทยยังไม่ได้รับความสนใจจากเกษตรกรเท่าที่ควร ทั้งนี้ อาจจะเป็นเพราะว่ายังไม่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลายสำหรับคนไทย เสาวรสเป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนต่อโรคและแมลงรบกวน ให้ผลผลิตเร็ว ปลูกเพียง 5-6 เดือนก็สามารถให้ผลผลิตได้ ประโยชน์ของผลเสาวรส อาจนำมาใช้ทำเครื่องดื่ม หรือปั่นเป็นน้ำผลไม้ มีกลิ่นหอมคล้ายกับน้ำฝรั่ง Aromatic pulp ที่อยู่รอบๆเมล็ดใช้ทำแยม (Jam) และ เยลลี่ ใช้บริโภคโดยตรง หรือใช้ทำสลัดผลไม้ นอกจากนี้ยังสามารถสกัดเอากลิ่น เพื่อใช้ปรุงของหวาน เปลือกเสาวรสที่เป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องสามารถนำมาใช้เลี้ยงโคได้

เสาวรสมีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ประเทศบราซิล ปารากวัย และตอนเหนือของประเทศ อาเจนตินา ต่อมาในคริสต์ศตวรรษที่ 19 ได้แพร่กระจายไปสู่ประเทศต่างๆ ในเขตร้อนและกึ่งร้อนทั่วโลก ที่ประเทศอังกฤษมีผู้นำเข้ามาปลูกเป็นครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1810 และ ในปี ค.ศ.1808 ยูจีนเดเลมาร์ (Eugene Delema) ได้นำเมล็ดพันธุ์จากประเทศออสเตรเลียไปปลูกที่ฮาวายเป็นครั้งแรก ปัจจุบันได้กลายเป็นพืชพื้นเมืองของฮาวาย

ได้มีการนำเสาวรสเข้ามาในประเทศไทยครั้งแรก เมื่อเดือน มิถุนายน พ.ศ.2499 เป็นเมล็ดเสาวรสพันธุ์สีม่วง ได้เพาะเมล็ด และ ปลูกในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2499 จำนวน 14 ต้น ที่สถานีกสิกรรมแม่โจ้ ต่อมาเมื่อ พ.ศ. 2507 ได้มีผู้นำเข้ามาปลูกที่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน และได้ขยายพันธุ์มาปลูกที่สถานีทดลองเกษตรที่สูง ขุนช่างเคี่ยน จังหวัดเชียงใหม่ ต่อมาในเดือนเมษายนปี พ.ศ. 2523 ได้นำเอาเมล็ดพันธุ์ลูกผสม (Passiflora edulis x Passiflora flaricarpa)จากประเทศออสเตรเลีย มาปลูกในบริเวณไร่ฝึกแม่เหี่ยะ และ ที่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เสาวรส (Passion Fruit)

มีการจำแนกลักษณะทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังต่อไปนี้

ชื่อตระกูล (Family) Passifloraceae
ชื่อสกุล (Genus) Passiflora
ชื่อวิทยาศาสตร์ (Scientific name) *Passiflora edulis* Sims.
ชื่อสามัญ (Common name) เสาวรส (Passion Fruit)

ก. ลักษณะทั่วไปของเสาวรส

พืชชนิดนี้มีผู้สนใจศึกษา และ ค้นคว้าในด้านต่างๆ พอจะสรุปได้ดังนี้

1. ถิ่นกำเนิด และ การกระจายตัว (Origin and Distribution)

Purseglove (1972) ได้กล่าวถึงถิ่นกำเนิดว่า เสาวรสเป็นพืชดั้งเดิมของประเทศบราซิล และ ได้แพร่หลายเข้าไปในเขตร้อนและ กึ่งร้อน ระหว่าง ศตวรรษที่ 19 โดยถูกนำเข้าไปในประเทศฮาวาย ประมาณปี ค.ศ. 1880 ต่อมาในปี ค.ศ. 1896 ก็ถูกนำเข้าไปปลูกในประเทศ แทนซาเนีย ประเทศที่ปลูกเป็นการค้าได้แก่ ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ อาฟริกาใต้ บราซิล และ ฮาวาย เป็นต้น

2. ชนิดพันธุ์ (Cultivars)

Purseglove (1972) ได้แบ่งเสาวรสเป็นพันธุ์ต่างๆ ดังนี้

2.1 P. *edulis* f. *edulis* เป็นพันธุ์ที่มีสีของผลเมื่อสุกเป็นสีม่วง (Purple passion fruit หรือ Litikoi) รูปร่างผลกลม หรือเป็นรูปไข่ เส้นผ่าศูนย์กลางของผลประมาณ 4-5 เซนติเมตร มีกลิ่น และ รสชาติดีกว่าพันธุ์ผลสีเหลือง และ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 800 เมตร สำหรับที่ราบลุ่มชื้น จะเจริญเติบโตได้ไม่ค่อยดี

2.2 P. *edulis* f. *flavicarpa* เป็นพันธุ์ที่มีสีของผลเมื่อสุกเป็นสีเหลือง(Yellow passion fruit) รูปร่างผลเหมือนพันธุ์ผลสีม่วง แต่มีขนาดใหญ่กว่า คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลางของผลประมาณ 5-6 เซนติเมตร ในบริเวณที่เป็นส่วนของ pulp จะมีปริมาณของกรดค่อนข้างมาก และ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน ที่มีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบลุ่ม หรือ ต่ำ สำหรับพันธุ์ผลสีเหลืองนี้ ถูกนำมาจากประเทศออสเตรเลีย เข้าไปปลูกในฮาวายในปี ค.ศ. 1923 จนกลายเป็นพันธุ์ที่สำคัญ และ นิยมปลูกกันมากในแหล่งนี้

3. โครงสร้าง (Structure)

ได้มีผู้ศึกษาโครงสร้างของเสาวรส ดังต่อไปนี้

3.1 ลำต้น

มีลำต้นแข็งแรงเป็นเถาเลื้อย (Weedy perennial climber) มีมือเกาะ (Tendri) ช่วยในการเกาะพันขึ้นไปตามค้าง ในพันธุ์ผลสีเหลืองจะมีลำต้นเป็นสีม่วง (Purseglove, 1972)

3.2 ใบ (Leaves)

Purseglove (1972) ได้กล่าวถึงลักษณะของใบ ดังต่อไปนี้

ตรงบริเวณโคนก้านของใบจะมีหูใบ (Stipules) ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร อยู่ 2 อัน ก้านใบยาวประมาณ 2-5 เซนติเมตร ด้านบนของใบจะเป็นร่อง หรือ ราง ใบมีทั้งแบบ 3 แฉก และ แบบ Ovate อยู่บนต้นเดียวกัน คือ ใบที่อยู่ข้างๆโคนต้น หรือ ใบแรกๆของแต่ละกิ่งจะเป็นแบบ Ovate ส่วนใบที่อยู่ถัดออกไปจะเป็นแบบ 3 แฉก ตลอดขอบใบจะเป็นหยักละเอียด ขนาดใบกว้าง 10-15 เซนติเมตร และ ยาวประมาณ 12-15 เซนติเมตร สำหรับแต่ละแฉกของใบจะมีรูปร่างแบบ Ovate – oblong

3.3 ดอก (Flower)

Purseglove (1972) ได้อธิบายลักษณะของดอก ดังต่อไปนี้

ดอกแต่ละดอกจะแยกกันอยู่เดี่ยวๆ มีเส้นผ่าศูนย์กลางของดอก ยาวประมาณ 2-5 เซนติเมตร กลีบดอกและกลีบเลี้ยงจะมีจำนวนเท่ากัน คือประมาณ 5 กลีบ มีกาบหุ้มดอก(Bract) อยู่ 3 อัน กลีบดอกจะมีสีขาวอมเขียวเล็กน้อย ฐานของกลีบมีสีม่วงเข้ม และมีเส้นสีขาวออกจากฐานของกลีบ ดอกจะเรียงกันเป็น 2 ชั้น เรียกว่า corona ซึ่งจะมีสีม่วงตรงโคน และขาวตรงปลาย เกสรตัวผู้ (Stamen) จะมีอยู่ 5 อัน และมีอับละอองเกสรตัวผู้ (Anthers) อยู่ตรงปลายของก้านชูเกสร (Gynophore) และ บนยอดของรังไข่จะมีก้าน 3 ก้านชูขึ้นมา ทำหน้าที่ในการรับละอองเกสรตัวผู้ ซึ่งเมื่อได้รับการผสมแล้วรังไข่ก็จะเจริญต่อไปเป็นผล ปกติดอกพันธุ์ผลสีเหลือง จะบานตั้งแต่เที่ยงวันไปจนถึง 3-4 ทุ่มจึงจะหุบ ในประเทศไทยจะออกดอกในช่วง ประมาณ เดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายนของทุกปี

3.4 ผล และ เมล็ด (Fruit and seed)

Herklot (1976) and Purseglove (1972) กล่าวว่า ผลเป็นแบบ berry รูปร่างของผลมีลักษณะกลมหรือรูปไข่ พันธุ์ผลสีเหลืองมีเส้นผ่าศูนย์กลางของผลประมาณ 5-6 เซนติเมตร และพันธุ์ผลสีม่วง มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4-5 เซนติเมตร มีเปลือกหุ้มผลชั้นนอก (Pericarp) ไม่หนามากนัก แต่เข็งเหนียว ประกอบด้วยเปลือกชั้นกลาง (Mesocarp) วงสีค่อนข้างเขียวเมื่อยังไม่สุก และมีเปลือกชั้นใน (Endocarp) เป็นสีขาวมีเมล็ดอยู่ในผลมากมาย โดยแต่ละเมล็ดจะถูกหุ้มเอาไว้ด้วย Pulp สีเหลือง ซึ่งยึดติดอยู่กับผนังรังไข่ เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีดำ เมล็ดมีลักษณะแบนๆขนาดยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร และ กว้างประมาณ 3 มิลลิเมตร

4. การขยายพันธุ์ และ การปลูก

เสาวรสที่ปลูกเป็นการค้า ส่วนใหญ่จะใช้ต้นกล้าที่ได้จากการเพาะเมล็ด โดยนำเมล็ดไปหว่านในแปลงเพาะ ในเรือนเพาะชำที่มีแสงแดดส่องผ่านรำไร เมื่อเมล็ดงอกออกมา รอจนกระทั่งต้นกล้ามีใบจริง 2 ใบ จึงย้ายต้นกล้าออกจากแปลงเพาะ ไปปลูกชำไว้ในถุงพลาสติก จนกระทั่งต้นกล้าสูงประมาณ 30 เซนติเมตร ก็สามารถย้ายออกไปปลูกในสวนได้ เมื่อต้นอายุได้ 3-4 เดือน เราอาจจะขยายพันธุ์ได้อีกวิธีหนึ่งโดยการปักชำ (Cutting) การเลือกเอากิ่งปักชำจะเลือกเอากิ่งที่แก่และมีขนาดใหญ่เท่าแท่งดินสอดำ แต่ละกิ่งจะตัดให้ยาวประมาณ 2-3 ข้อ

Purseglove (1972) และ วิรัช (2528) ได้อธิบายวิธีการปลูกไว้ว่า เสาวรสเป็นพวกไม้เลื้อย ระยะการปลูกจึงไม่กำหนดตายตัว แต่ที่สำคัญคือจะต้องมีค้าง ซึ่งอาจเป็นค้างรูปตัวที (T) หรือ ริ้วธรรมดาก็ได้ แต่ต้องให้สูงพอสมควร เพราะเป็นพืชที่โตเร็ว หากค้างเตี้ย ต้นก็จะหนาทึบภายในไม่กี่เดือน ภายหลังจากที่เถาได้เลื้อยไปบนค้าง และ ทอดตัวไปตามแนวนอนได้ 4-5 เดือน ดอกก็จะเริ่มออกที่ข้อจากตาในมุมใบทุกๆข้อ แต่จะติดผลเพียง 4-5 ผล เมื่อติดผลแล้วดอกที่ออกต่อมาจะไม่ติดผลอีก ถึงแม้ว่าจะช่วยผสมด้วยมือก็ตาม เมื่อผลที่ติดแล้วเริ่มสุก ดอกที่อยู่ตรงปลายยอด 4-5 ดอก จึงจะเริ่มติดผลได้อีก ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มออกดอก จนกระทั่งถึงผลสุก จะใช้ระยะเวลาประมาณ 10 สัปดาห์ แต่อาจจะช้าหรือเร็วกว่านี้ก็ได้ ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของต้น ความชื้นของอากาศ ดิน อุณหภูมิ และ ความเข้มของแสง จากการทดลองที่สถานีทดลองแม่จอนหลวง อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า พื้นที่ที่ปลูกเสาวรส ไม่ควรเป็นดินเหนียว หรือดินที่ระบายน้ำได้ไม่ดี เพราะจะทำให้เกิดโรคง่าย โดยเฉพาะโรคโคนเน่า จึงควรจะเป็นดินร่วนอุ้มน้ำและ ระบายน้ำได้พอเหมาะ อย่างไรก็ตามการปลูกเสาวรส ที่สถานีทดลองแม่จอนหลวง ซึ่งมีสภาพพื้นที่เป็นที่ลาดชัน จึงต้องมีการทดลองปลูกแบบเป็นขั้นบันได โดยทำการขุด Bench

Terrace โดยใช้ A – Frame วัดระดับให้ระยะห่างของแต่ละ Bench เท่ากับ 2 เมตร ส่วนระยะห่างของแต่ละแถว ก็จะเท่ากับระยะห่างระหว่าง Bench หลุมปลูกเสาวรสใช้ขนาด 60 x 60 x 60 เซนติเมตร ทำการขุดแยกหน้าดินไว้ โดยขุดทิ้งไว้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ ก่อนปลูกให้ใช้วัสดุรองก้นหลุมดังนี้

1. ปุ๋ยคอก	1 / 2	ปี๊บ
2. เปลือกถั่วลิสง	1 / 2	ปี๊บ
3. ปุ๋ยหมัก	1 / 2	ปี๊บ
4. ปุ๋ยสูตร	15 – 15 – 15	ประมาณ 100 กรัม
5. Rock phosphate		ประมาณ 300 กรัม

หลังจากนั้นนำดินลงผสมคลุกเคล้าให้ทั่ว ให้ส่วนผสม สูงขึ้นจากปากหลุม ประมาณ 25 - 30 เซนติเมตร เมื่อวัสดุรองก้นหลุมเน่าเปื่อย ก็จะทำให้ดินในหลุมยุบตัวลง หลังจากปลูกเสร็จ ทำการพูนโคนต้น และปักไม้ทำหลัก โดยใช้ไม้ไผ่ หรือ เสาเข็มยาวประมาณ 2.50 เซนติเมตร เพื่อให้ต้นเสาวรสเกาะ และใช้เชือกฟางผูกต้นเสาวรสติดกับหลัก วิธีการผูกทำคล้ายเลข 8 เพื่อกันต้นโยกคลอน และลดอันตรายเนื่องจากการเสียดสี ของต้นกับไม้หลัก จากนั้นทำการรดน้ำให้ชุ่มทุกๆ 2 วัน ประมาณ 15 วันหลังปลูก

อย่างไรก็ตาม ระยะห่างของการปลูก ระหว่างต้น และ ระหว่างแถว อาจเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของการแผ่กิ่งก้านของลำต้น การปลูกเสาวรสชิดกันมากที่สุด มีผลทำให้ผลผลิตต่อไร่ สูงที่สุด

ข. ปริมาณผลผลิตของเสาวรส

การเก็บเกี่ยวผลผลิต จะทำการเก็บได้เมื่อ ผลสุก และ หล่นจากต้นเองเท่านั้น และมีข้อสำคัญในการเก็บผลเสาวรส คือ ไม่ควรจะเก็บผลจากต้น เพราะจะได้ผลที่แก่ไม่เต็มที่ อย่างไรก็ตามการร่วงของผลเสาวรส จะมีการร่วงอยู่ 2 ช่วง คือ

ช่วงบ่าย ระหว่างเวลา 15.00น. ถึง 21.00น. จะร่วงประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์
ช่วงกลางคืน จะร่วงประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการสำรวจข้อมูลผลผลิตเสาวรสโดยเฉลี่ย ต่อไร่ต่อปี พบว่า เกษตรกรสามารถผลิตเสาวรสได้ 2,000 - 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (บรรจง, 2541)

จากข้อมูลโดยมูลนิธิโครงการหลวง พบว่าจังหวัดเชียงใหม่มีการปลูกเสาวรส ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อปี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปการส่งผลผลิตเสาวรสเข้าโรงงาน จากศูนย์ต่างๆของมูลนิธิโครงการหลวง

ลำดับที่	ศูนย์ฯ	ปี 2537		ปี 2538		ปี 2539		ปี 2540	
		ปริมาณ (ตัน)	ราคา บาท / กก.	ปริมาณ (ตัน)	ราคา บาท / กก.	ปริมาณ (ตัน)	ราคา บาท / กก.	ปริมาณ (ตัน)	ราคา บาท / กก.
1.	แม่ลาน้อย	113	3.5	40	4	60	4.5	46.043	8
2.	หนองเขียว	359	3.5	361	4	411	4.5	335.5	8
3.	ห้วยน้ำริน	80	3.5	23	4	10	4.5	2.11	8
4.	ม่อนเงาะ	4	3.5	1	4	-	4.5	-	8
5.	ขุนแปะ	27	3.5	1	4	.5	4.5	0.204	8
6.	ห้วยลึก	1	3.5	3	4	16	4.5	3.45	8
7.	แกน้อย	8	3.5	3	4	1	4.5	-	8
8.	สะโงะ	47	3.5	47	4	57	4.5	1.731	8
9.	แม่สะป๊อก	2	3.5	1	4	.7	4.5	0.08	8
10.	ห้วยโป่ง	-	-	1	4	1	4.5	0.455	8
11.	หมอกจ๋าม	-	-	-	-	1	4.5	29.99	8
12.	ปางคะ	-	-	-	-	-	-	0.045	8
13.	แม่ทาเหนือ	-	-	-	-	-	-	2.42	8
	รวม	641		481		558.2		422.02	

ที่มา : บรรจง (2541)

จากตารางที่ 1 พบว่า มูลนิธิโครงการหลวงมีพื้นที่เพาะปลูกเสาวรสอยู่ 13 ศูนย์ โดยผลผลิตรวมของศูนย์ที่ปลูกได้มาก 3 ลำดับแรกของแต่ละปีมีดังนี้

ปี 2537 หนองเขียวผลิตได้ ปริมาณ 359 ตัน แม่ลาน้อยผลิตได้ ปริมาณ 113 ตัน ห้วยนำรินผลิตได้ ปริมาณ 80 ตัน

ปี 2538 หนองเขียวผลิตได้ปริมาณ 361 ตัน สะโงะผลิตได้ปริมาณ 47 ตัน แม่ลาน้อยผลิตได้ปริมาณ 40 ตัน

ปี 2539 หนองเขียวผลิตได้ปริมาณ 411 ตัน แม่ลาน้อยผลิตได้ปริมาณ 60 ตัน สะโงะผลิตได้ปริมาณ 57 ตัน

ผลผลิตรวมของเสาวรสที่ปลูกในพื้นที่ มูลนิธิโครงการหลวงทั้งหมด ในช่วงปี 2537 ถึง 2540 มีปริมาณผลผลิต 641 481 และ 422 ตัน ตามลำดับ

โดยภาพรวม ศูนย์ใดที่มีการปลูกเสาวรสมานาน จะมีแนวโน้มของผลผลิตลดลง ในขณะที่ศูนย์ใดที่เริ่มปลูกใหม่ มีการดูแลรักษาที่ดี ผลผลิตจะมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจมาจากสาเหตุที่ว่าเมื่อปลูกไปนานๆหลายปี มีการระบาดของโรคไวรัส พื้นที่ปลูกเดิมมีสภาพทรุดโทรม แห้งแล้งติดต่อกันนาน มีพืชอาศัยที่เป็นแหล่งของโรค คือ พืชตระกูลแตง และ ฟักทอง แรงจูงใจในการปลูกและ ดูแลรักษามีน้อย เนื่องจากราคาผลผลิตตกต่ำ เมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น แต่ต้นทุนการผลิตสูงตามภาวะเศรษฐกิจของประเทศ พันธุ์ของผลเสาวรสที่ปลูกไม่เหมาะสม มีลักษณะแปรปรวน เช่น เสาวรสชนิดผลสีเหลือง (passiflora edulis f. flavicarpa) เหมาะสำหรับพื้นที่ราบทนทานต่อโรคได้ดีกว่าชนิดผลสีม่วง ผลผลิตสูงและขนาดผลโต ปริมาณกรดในน้ำคั้นสูง จึงเหมาะสำหรับการแปรรูปเป็นน้ำผลไม้ รวมทั้งใช้เป็นต้นตอสำหรับพันธุ์สีม่วง ได้แก่ พันธุ์ Noel 'Special และ พันธุ์ผลสีเหลืองที่ปลูกส่งผลผลิตเข้าโรงงานทั่วไป เสาวรสชนิดผลสีม่วง (P. edulis f. edulis) เหมาะสำหรับพื้นที่สูง อากาศเย็น ผลมีขนาดเล็ก รสชาติหอมหวานเหมาะสำหรับบริโภคสด หรือแปรรูปก็ได้ แต่ผลผลิตต่ำกว่าชนิดผลสีเหลือง ได้แก่ พันธุ์แม่จอนหลวง 5-6, วาวี 24-2 และ ไต้หวัน สำหรับเสาวรสพันธุ์ลูกผสม ระหว่างผลสีเหลืองและผลสีม่วง ผลผลิตใช้แปรรูปได้ดี เพราะกลิ่นหอม รสชาติดีกว่า ชนิดผลสีเหลือง แต่ควรมีการคัดเลือกพันธุ์ และ ทดสอบการปลูกในแต่ละพื้นที่ ตัวอย่างพันธุ์ที่ปลูกในประเทศออสเตรเลีย ได้แก่ E – 23, Lacey และ Purple gold (อุทัย, 2542)

ราคาผลผลิตเสาวรสตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 ราคาเฉลี่ย 3.5 บาทต่อกิโลกรัม, ปีพ.ศ. 2538 ราคาเฉลี่ย 4.0 บาท ต่อกิโลกรัม, ปีพ.ศ. 2539 ราคาเฉลี่ย 4.5 บาทต่อกิโลกรัม, ปีพ.ศ. 2540 ราคาเฉลี่ย 8.0 บาทต่อกิโลกรัม การที่ผลผลิตเสาวรสมีราคาดี ทำให้เกษตรกรโดยเฉพาะชาวเขา หันมาให้ความสนใจเสาวรสเพิ่มมากขึ้น ผลผลิตส่วนใหญ่จะถูกส่งเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำเสาวรส ดังนั้น จึงมีเปลือกเสาวรสซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือ จากโรงงานผลิตน้ำเสาวรสในปริมาณมาก ทำให้เกษตรกรมีแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ ที่นำมาใช้เลี้ยงโคมากขึ้น

ค. คุณค่าทางโภชนะของเปลือกเสาวรสสด

การประเมินคุณค่าทางโภชนะของเปลือกเสาวรสสด และ เปลือกสับปะรด พบว่า เปลือกเสาวรสมีวัตถุแห้ง โปรตีน อินทรีย์วัตถุ ไขมัน NDF ADF เป็น 13.66, 6.86, 90.78, 0.95, 44.02 และ 38.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ(ชูศักดิ์, 2532) ต่อมา พิสุทธิ์ และ คณะ (2534) พบว่าเปลือกเสาวรสมีวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน NDF ADF เป็น 16.15, 6.66, 1.18, 50.92 และ 33.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า เปลือกเสาวรสมีวัตถุแห้ง โปรตีน อินทรีย์วัตถุ ไขมัน NDF ADF เป็น 13.67, 6.80, 0.95, 43.81 และ 37.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ(จุฑามาศ, 2542)

โดยที่กรมปศุสัตว์(2524) พบว่า เปลือกสับปะรดมีวัตถุแห้ง โปรตีน อินทรีย์วัตถุ ไขมัน และ เยื่อใย เป็น 18.40, 4.82, 69.56, 1.95 และ 11.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 2 คุณค่าทางอาหารของเปลือกเสาวรสสด และ เปลือกสับปะรดจากแหล่งต่างๆ

	On Dry matter basis (%)						
ชนิดพืช	DM	CP	OM	EE	NDF	Cell content	แหล่งข้อมูล
เปลือกเสาวรส	13.60	6.86	90.78	0.95	44.02	38.21	ชูศักดิ์ (2524)
	13.67	6.80	90.56	0.95	43.81	37.96	จุฑามาศ (2542)
	16.15	6.66	-	1.18	50.92	33.90	พิสุทธิ์และคณะ(2534)
เปลือกสับปะรด	18.40	4.82	69.56	1.95	11.35	-	กรมปศุสัตว์(2524)

จากการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนะระหว่างเปลือกเสาวรส กับ เปลือกสับปะรด พบว่ามีคุณค่าทางโภชนะใกล้เคียงกัน จึงน่าจะนำวิธีการลดความชื้น ของเปลือกสับปะรด มาใช้กับวิธีการหมักเปลือกเสาวรสได้

คุณค่าทางโภชนะของเปลือกเสาวรสหมัก

การประเมินคุณค่าทางโภชนะของเปลือกเสาวรสหมัก พบว่า เปลือกเสาวรสที่หมักโดยไม่ใช้วัตถุอื่นใดมีวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน NDF ADF และ pH เป็น 19.95, 7.07, 1.50, 46.83, 34.99 เปอร์เซ็นต์ และ 4.13 ตามลำดับ เปลือกเสาวรสหมักร่วมกับยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเป็น 19.95, 7.07, 1.70, 45.61, 33.93 เปอร์เซ็นต์ และ 4.10 ตามลำดับ โดยที่เปลือกเสาวรสหมักร่วมกับรำข้าว 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเป็น 21.53, 8.17, 1.95, 49.87, 32.36 เปอร์เซ็นต์ และ 4.12 ตามลำดับ (พิสุทธิ์ และ คณะ, 2534) ชูศักดิ์(2532) พบว่า เปลือกเสาวรสหมักร่วมกับข้าวโพดบดและปูนขาว 1 เปอร์เซ็นต์ มีวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน NDF ADF และ pH เป็น 26.99, 7.42, 3.86, 32.16, 67.84 เปอร์เซ็นต์ และ 4.24 ตามลำดับ โดยที่เปลือกเสาวรสหมักร่วมกับรำข้าวและปูนขาว 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเป็น32.01, 10.87, 20.66, 37.58, 62.42 เปอร์เซ็นต์ และ 4.27 ตามลำดับ นอกจากนี้ ชิตพงษ์ (2532) พบว่า เปลือกเสาวรสที่หมักโดยไม่ใช้วัตถุอื่นใดมีวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน NDF ADF และ pH เป็น 87.05, 4.67, 4.07, 40.43, 41.22 เปอร์เซ็นต์ และ 4.13 ตามลำดับ เปลือกเสาวรสหมักร่วมกับยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเป็น 83.43, 11.23, 8.52, 43.93, 28.79 เปอร์เซ็นต์ และ 4.10 ตามลำดับ โดยที่เปลือกเสาวรสหมักร่วมกับรำข้าว 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเป็น 84.47, 8.17, 9.76, 43.98, 56.02 เปอร์เซ็นต์ และ 5.32 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณค่าทางโภชนะของเปลือกเสาวรสหมัก

	On Dry Matter basis (%)						
	DM	CP	EE	NDF	ADF	PH	แหล่งที่มา
เปลือกเสาวรสหมัก	19.95	7.07	1.50	46.83	34.99	4.13	พิสุทธิ์และคณะ (2534)
เปลือกเสาวรส+ยูเรีย 1 %	20.54	11.23	1.70	45.61	33.93	4.10	
เปลือกเสาวรส +รำข้าว 2 %	21.53	8.17	1.95	49.87	32.36	4.12	
เปลือกเสาวรส + ข้าวบด + ปุ๋นขาว 1 %	26.99	7.42	3.86	32.16	67.84	4.25	ชูศักดิ์ (2532)
ข้าวโพดบด+ รำข้าว + ปุ๋นขาว 1%	32.01	10.87	20.66	37.58	62.42	4.27	
เปลือกเสาวรส	87.05	4.67	4.07	40.43	41.22	4.13	ชิตพงศ์(2532)
เปลือเสาวรส+ ยูเรีย 1 %	83.43	11.23	8.52	43.93	28.79	4.10	
เปลือกสาวรส + รำข้าว 2 %	84.47	8.17	9.76	44.36	30.15	4.12	

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของผลเสาวรส

ส่วนประกอบ	หน่วย	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
วัตถุแห้ง	%	26.3	100.0
อินทรียวัตถุ	%	25.3	96.2
เถ้า	%	1.0	3.8
เยื่อใย	%	4.0	15.2
ไขมัน	%	0.2	0.8
คาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้	%	18.9	71.9
โปรตีน	%	2.2	8.4
แคลเซียม	%	0.01	0.04
ฟอสฟอรัส	%	0.07	0.27
เหล็ก	%	0.002	0.008
วิตามินซี	Mg/Kg	75.05	275.7
Niacin	Mg/Kg	19.5	74.1
Riboflavin	Mg/Kg	1.0	3.8
Vit A equiv	Lu / G	1.3	5.1

ที่มา : ดัดแปลงจาก Mc Dowell (1974)

ง. พืชหมัก (Silage)

Silage หมายถึง พืชอาหารสัตว์ต่างๆ เช่น ต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง หญ้า และ ถั่วต่างๆ ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่มีความชื้นพอเหมาะนำมาหมักในสภาพสุญญากาศ เก็บถนอมไว้ในสภาพหมักดอง เมื่อพืชอาหารสัตว์สดๆเปลี่ยนสภาพเป็นพืชหมัก สามารถเก็บไว้ใช้ได้นาน โดยที่คุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลง (สายัณห์, 2540)

พืชทุกชนิด รวมไปถึงวัชชพืช สามารถนำมาทำพืชหมักได้ทั้งสิ้น การที่พืชสดมีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะทางกายภาพเป็นพืชหมักนั้น จะต้องอาศัยจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยที่สำคัญ โดยจุลินทรีย์เหล่านี้ จะมีอยู่ตามธรรมชาติ และ ติดไปกับพืชที่จะนำมาหมัก ซึ่งมีทั้งชนิด ต้องการออกซิเจน (Arobic) และ ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic) และ อยู่ได้ทั้งในที่ที่มี และ ไม่มีออกซิเจน (Facultative) จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในพืชที่กำลังหมัก จนเกิดสภาวะการเป็นกรดที่เหมาะสม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งจะช่วยรักษาสภาพของพืชให้เก็บไว้ได้นานขึ้น

นอกจากนี้ พบว่า จุลินทรีย์ชนิดที่สำคัญที่สุดที่ทำให้พืชหมักมีคุณภาพดี คือ Lactobacillus โดยจะช่วยเปลี่ยนน้ำตาล ให้เป็นกรดแลคติค (Lactic acid) และ กรดอะซิติก (Acetic acid) ซึ่งปริมาณของกรดทั้ง 2 ชนิดนี้ จะทำให้ความเป็นกรดของพืชหมัก (Silage) สูงขึ้น ค่า pH ลดลง มีผลทำให้จุลินทรีย์พวก Butyric acid bacteria, Coliform bacteria และ Fungi จุลินทรีย์พวกนี้จะผลิตของเน่าเปื่อย และ ผลิตกรดที่มีกลิ่นเหม็นรุนแรง เช่น Butyric acid ไม่สามารถเจริญต่อไปได้ และหาก pH ลดลงเรื่อยๆจนถึง 4 หรือต่ำกว่า จุลินทรีย์ทุกชนิดจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ต่อไป แม้กระทั่ง Lactobacillus นั่นคือ สภาวะที่พืชหมักได้ที่แล้ว ปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆจะหยุด และพืชหมักจะคงสภาพนี้ต่อไป ถ้าไม่ปล่อยให้อากาศซึมเข้า แต่หากอากาศซึมเข้าได้จะเกิดราขึ้นทันที พืชหมักจะมีเมือกลื่น มีกลิ่นเหม็น คุณค่าทางอาหารของพืชหมักจะลดลง

จุลินทรีย์วิทยาของพืชอาหารหมัก (Silage microbiology)

McDonald *et al.* (1981) รายงานว่า จุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย และ รา เป็นพวกที่ต้องการออกซิเจน โดยจะเกาะติดอยู่บริเวณพื้นผิวของพืชสดเป็นส่วนใหญ่ ในสภาพอับอากาศในไซโล จุลินทรีย์พวกอื่นๆจะเจริญเติบโตขึ้นมาแทนที่ ได้แก่ Species Escherichia, Klebsiella,

Bacillus, Clostridium, Streptococcus, Leuconostoc, Lactobacillus และ Pediococcus นอกจากนี้ มีพวกยีสต์ ที่อยู่ได้ทั้งสองสภาพ (Facultative Anaerobes)

อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียจำพวกที่ทำหน้าที่ ผลิตกรดแลคติค (Lactic acid bacteria) ซึ่งจัดอยู่ในพวก Facultative จะติดอยู่กับบริเวณพื้นที่ผิวภายนอกของพืชสดจำนวนมาก แบคทีเรียพวกนี้ สามารถแบ่งออกเป็น2 พวกใหญ่ๆ คือ Homofermentative และ พวก Heterofermentative โดยที่ พวก Homofermentative เป็นพวกที่มีประสิทธิภาพในการผลิตกรดแลคติก (Lactic acid), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ เอธานอล ของแบคทีเรีย ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ชนิดแบคทีเรียที่ผลิต Lactic acid และ พบตามผิวของพืชอาหารสด

Homofermentative	Heterofermentation
Lactobacillus plantarum	Lactobacillus brevis
Pediococus acidilactice	Lactobacillus buchneri
Streptococcus durans	Lactobacillus fermentum
Streptococcus faecalis	Lactobacillus viridescens
Streptococcus lactis	Leuconostoc mesenteroides

ที่มา : McDonald *et al.* (1981)

หลังจากที่เริ่มขบวนการหมักแล้ว แบคทีเรียกลุ่มนี้จะมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว และจะเข้าย่อยสลายพวกแป้งที่ละลายน้ำได้ (Water soluble carbohydrate) จะได้กรดอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ Lactic acid ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของพืชจะลดลงอย่างรวดเร็ว ระดับ pH ของพืชหมักเป็นปัจจัยสำคัญมากในระดับความชื้นที่ไม่เหมาะสม pH จะแสดงจุดวิกฤตที่จุดๆหนึ่ง โดยกรดอินทรีย์จะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ pH 3.8 – 4 กิจกรรมของจุลินทรีย์จะหยุดทั้งหมด ทำให้มีพืชอาหารหมักที่มีคุณภาพดี และ ลักษณะเหมาะสม ซึ่งสามารถเก็บไว้ได้นาน ถ้ายังคงสภาพปราศจากออกซิเจน ถ้าระดับ pH ไม่คงที่ แบคทีเรียพวก Saccharolytic clostridia ซึ่งจะติดมากับอาหารในรูป Spore ตั้งแต่แรก จะเริ่มทำการแบ่งตัว และใช้ประโยชน์จากกรดแลคติก (Lactic acid) และ แป้ง ทำให้ระดับ pH ปรับตัวสูงขึ้น

จ. ประโยชน์ของการทำพืชหมัก

เมธา (2529) ได้กล่าวถึงประโยชน์ และ ข้อเสียของการทำพืชหมัก ดังต่อไปนี้

ประโยชน์

1. เพิ่มความน่ากิน สัตว์จะสามารถกินอาหารหมักได้ในปริมาณมาก ยิ่งถ้าให้ร่วมกับเมล็ดธัญญพืช จะมีผลทำให้พืชหมักมีความน่ากิน สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น
2. ถ้าให้ร่วมกับอาหาร ที่มีลักษณะแห้งมาก จะช่วยลดความเป็นฝุ่นของอาหารนั้น ทำให้สัตว์กินอาหารได้มาก
3. ช่วยลดแนวโน้มที่อาจทำให้เกิดโรคท้องอืดได้ (bloat) โดยเฉพาะ ถ้าพืชที่นำมาหมักนั้นเป็นพืชตระกูลถั่ว
4. อาจจะเป็นวิธีในการลดสารพิษ (detoxifying) ที่มีอยู่ในพืชนั้นๆ เช่น กรดไซยานิกในมันสำปะหลัง
5. สามารถถนอมเก็บรักษาพืชอาหาร ไว้ใช้ได้เป็นเวลานานๆ โดยเฉพาะในช่วงที่พืชอาหารสัตว์เกิดภาวะขาดแคลน

ข้อเสีย

1. สัตว์ที่กินพืชอาหารหมักเข้าไปแล้ว อาจจะทำให้มูลเหลว (Laxative effect) บางครั้งจึงจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงอาหารหมัก
2. ในสภาพอากาศร้อน ถ้าสัตว์กินอาหารไม่หมด ทำให้เกิดเชื้อรา และเน่าเสียได้ง่าย
3. จะต้องมีการเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของพืชก่อนนำมาหมัก เช่น การสับ มิฉนั้นจะทำให้สัตว์เลือกกินได้

ความชื้นของพืชที่เหมาะสมในการหมัก

เปลือกเสาวรส มีความชื้นสูงประมาณ 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความชื้นของพืชที่เหมาะสมในการหมัก ควรอยู่ในช่วง 65-70 เปอร์เซ็นต์ (บุญล้อม 2527, เมธา 2529 และ Morrison 1961) ในกรณีที่พืชมีความชื้นสูงมากเกินไป มีผลทำให้ของเหลวภายใน silo รั่วไหลออกมา เป็นสาเหตุทำให้โภชนะบางอย่าง เช่น พวกน้ำตาล สารประกอบไนโตรเจน แร่ธาตุ และ กรดที่เกิดจากขบวนการหมักสูญเสียไปด้วย แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไป จะทำให้อัดแน่นได้ยาก เกิดเชื้อราได้ง่าย ดังนั้นการใช้สารเสริมบางชนิด ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ เช่น ข้าวโพดบด รำละเอียด ฟางข้าว จะช่วยลดความชื้นในขณะหมักได้ดีวิธีหนึ่ง (ชูศักดิ์, 2532)

ฉ. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของขบวนการหมัก

เซล (Cell) และ เอนไซม์ (Enzyme) ของพืชที่นำมาทำพืชหมัก ยังคงเกิดขบวนการหายใจ และ ทำงานต่อไปเรื่อยๆ ขณะเริ่มต้นการหมัก จนกระทั่ง ออกซิเจนหมดไป แป้งในพืชจะถูกออกซิไดซ์ (oxidize) ให้ได้ CO_2 และ H_2O ในช่วงนี้จะเกิดความร้อน ทำให้อุณหภูมิในถังหมักสูงขึ้น

ถ้าอัดไม่แน่นพอ มีผลทำให้อากาศแทรกซึมอยู่ระหว่าง particle size ของอาหาร ทำให้อุณหภูมิของถังหมักสูงขึ้นเรื่อยๆ พืชอาหารที่ทำการหมักจะมีสีน้ำตาลเข้ม(Overheated Silage) ซึ่งเป็นอาหารหมักที่มีคุณภาพต่ำ

ในสภาพสุญญากาศ แบคทีเรีย พวกที่ทำหน้าที่ผลิต Lactic acid จะเข้าย่อยสลายแป้งให้ได้น้ำตาล Glucose และ Fructose ให้ได้ Lactic acid และ กรดตัวอื่นๆ แบคทีเรียพวก Homofermentation จะมีบทบาทสำคัญ ในการเข้าย่อยสลายน้ำตาลพวก เฮกโซส (hexose) และขบวนการ Hydrolysis ของพวก Hemicellulose ให้ได้น้ำตาลพวก เพนโตส (pentose) ซึ่งจะถูกหมักต่อไปให้ได้ Lactic acid

สำหรับโปรตีนในพืชที่กำลังเจริญเติบโต จะมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ ประมาณ 75 - 90 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวพืชแล้ว protease enzyme ในพืชจะเข้าย่อยสลายโปรตีน ให้เป็น amino acid ภายในระยะเวลา 12 -14 ชั่วโมง ไนโตรเจนอีกส่วนหนึ่ง ประมาณ 20 - 25 เปอร์เซ็นต์ จะถูกเปลี่ยนให้เป็น non - protein – nitrogen (NPN) ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ amino acid อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียจำพวกที่ผลิตกรดแลคติก(Lactic acid) จะสามารถเข้าทำการย่อยสลาย amino acid บางตัวได้ เช่น arginine ได้ ornithine แต่ในกรณีที่มีพวก Clostridiaมากจะมีการเมทาโบไลซ์ (Metabolize) amino acid ในอัตราสูง โดยอาศัยขบวนการต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ deamination, decarboxylation และ reduction ทำให้เกิดพวก amines, NH_3, keto acid และ fatty acid (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 เส้นทางของขบวนการหมัก สำหรับการทำพืชอาหารหมัก

(A)	Lactic acid bacteria		
	Homofermentative :		
	Glocose	→	2 Lactic acid
	Fructose	→	2 Lactic acid
	Pentose	→	Lactic acid + Acetic acid
	Heterofermentative :		
	Glocose	→	Lactic acid + Ethanol + CO_2
	3 Fructose	→	Lactic acid + 2 Mannitol + Acetic acid + CO_2
	Pentose	→	Lactic acid + Acetic acid
(B)	Clostridia		

Saccharolytic :

2 Lactic acid $\rightarrow$ Butyric acid + $2\,CO_2$ + $2\,H_2$

Proteolytic :

Deamination

Glutamic acid $\rightarrow$ Acetic acid + Pyruvic acid + NH_3

Lysine $\rightarrow$ Acetic acid + Butyric acid + $2\,NH_3$

Decarboxylation

Arginine $\rightarrow$ Putrescine + CO_2

Glutamic acid $\rightarrow$ aminobutyric acid + CO_2

Histidine $\rightarrow$ Histamine + CO_2

Lysine $\rightarrow$ Cadaverine + CO_2

Oxidation / Reduction (Stickland)

Alanine + 2 Glycine $\rightarrow$ 3 Acetic acid + $3\,NH_3$ + CO_2

(C) Enterobacteria

Glucose $\rightarrow$ Acetic acid + Ethanol + $2CO_2$ + $2H_2$

ช.การสูญเสียโภชนะในช่วงการหมัก (Losses of nutrients during ensilage)

McDonald *et al.* (1995) กล่าวว่า การสูญเสียโภชนะในช่วงการหมัก มีหลายๆสาเหตุดังต่อไปนี้

1. การสูญเสียในขณะเก็บเกี่ยว (Field losses)

ถ้ามีการเก็บเกี่ยว และ ทำการหมักในวันเดียวกัน ปริมาณโภชนะจะสูญเสียน้อยมาก และ ถ้าตากพืชนาน 24 ชั่วโมง จะมีการสูญเสียสิ่งแห้งไม่เกิน 1-2 เปอร์เซ็นต์ ถ้าตากนานกว่า 48 ชั่วโมง โภชนะจะสูญเสียมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะอากาศ (climatic condition) มีรายงานว่า ถ้านำพืชมาตากแดดนาน 5 วัน จะสูญเสียสิ่งแห้ง ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ ถ้าตากแดดนาน 8 วัน จะสูญเสียสิ่งแห้งไป 10 เปอร์เซ็นต์ โภชนะหลักที่สูญเสียไปมากที่สุด ได้แก่ พวกคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (water – soluble carbohydrates) และ โปรตีน ซึ่งจะถูก hydrolysed ให้เป็น amino acid ต่อไป

2. การสูญเสียเนื่องจากการหายใจ (Oxidation losses)

เป็นการสูญเสียเนื่องจาก การทำงานของเอนไซม์ (enzyme) ในพืช และ จุลินทรีย์ในการย่อยสลายพวกแป้งในสภาวะที่มีออกซิเจน ผลที่ได้คือ CO_2 และ H_2O โดยปกติแล้ว ถ้าภายในกองพืชหมักมีการอัดแน่นที่ดีพอ จะมีสัดส่วนของการสูญเสียน้อยมาก ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ การ

ที่ส่วนของพืชหมักถูกออกซิเจนเป็นเวลานานๆ โดยเฉพาะด้านข้าง และ ด้านบนของกองพืช จะทำให้เกิดการสูญเสียบริเวณส่วนนั้น สัตว์ไม่ชอบกิน การตรวจดูการสูญเสียในส่วนนี้ อาจทำให้เข้าใจผิดพลาดได้ เพราะอาจมีผลทำให้เกิดการสูญเสียมากถึง 75 เปอร์เซ็นต์

3. การสูญเสียเนื่องจากการหมัก (Fermentation losses)

ในขบวนการหมักจะเกิดขบวนการทางด้านชีวเคมีมากมาย เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่าย (soluble carbohydrate) และ โปรตีน เกิดการสูญเสียสิ่งแห้ง และพลังงาน การทำงานของแบคทีเรียที่ผลิต Lactic acid ลดต่ำลง

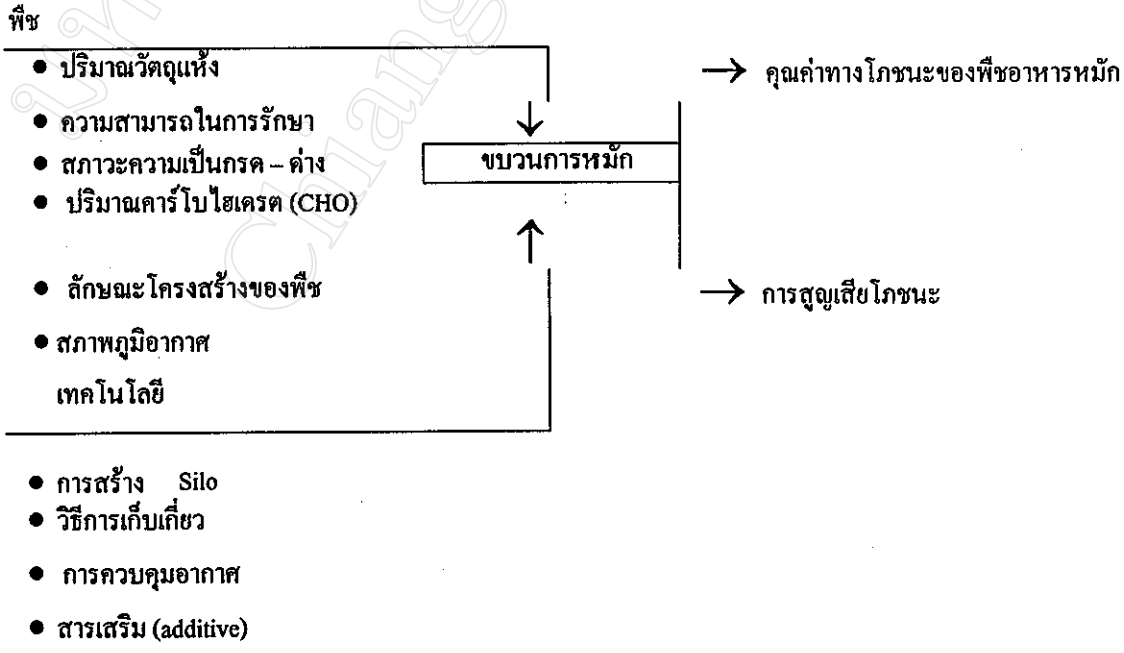
การสูญเสียสิ่งแห้งเกิดขึ้นต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ และมีการสูญเสียพลังงานไปบางส่วน ทั้งนี้เพราะได้มีการผลิตสารประกอบที่ให้พลังงานสูง เช่น ethanol ถ้ามีแบคทีเรียพวก clostridia จะเกิดการสูญเสียมากกว่า เนื่องจากมีการผลิตแก๊สต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และ แอมโมเนีย

4. การสูญเสียในส่วนของๆเหลวที่รั่วไหลออก (effluent losses)

ในกองพืชหมักจะมีการไหลซึมออกของของเหลว ทำให้โภชนะบางส่วนที่ละลายอยู่ในของเหลวไหลซึมออกมา โภชนะที่อยู่ในของเหลว ประกอบด้วย น้ำตาล สารประกอบไนโตรเจนแร่ธาตุ และ กรดที่เกิดขึ้นจากขบวนการหมัก ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีคุณค่าทางโภชนะสูง

ถ้านำพืชที่มีวัตถุแห้ง 150 g / kgDM มาหมัก จะสูญเสียวัตถุแห้งไปประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าพืชนั้นมีวัตถุแห้ง 300 g / kgDM จะมีการสูญเสียวัตถุแห้งน้อยมาก

ภาพที่ 1 ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อขบวนการทำพืชหมัก และ คุณค่าทางโภชนะของพืชอาหารหมัก



ที่มา : MaCullough (1978)

ซ. การปรับปรุง และ การประเมินคุณภาพของพืชหมัก

ผลเสาวรสมีส่วนประกอบของเปลือกถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ชิตพงษ์, 2532) เมื่อนำผลผลิตส่งโรงงานแล้ว จะมีส่วนของเปลือกซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือทิ้งมากมาย เป็นภาระของโรงงานที่ต้องหาวิธีกำจัดเศษเหลือเหล่านี้ เกษตรกรสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยนำมาเลี้ยงสัตว์ เพื่อบรรเทาภาวะขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ในฤดูแล้งได้

สำหรับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกเสาวรส มีหลายประการ เช่น สภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น แสง และ การเก็บรักษาเปลือกเสาวรส เป็นต้น

เปลือกของผลเสาวรส พันธุ์สีเหลืองจะมี Pectin อยู่ 3.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด หรือ 20.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง Pectin ที่ได้จากเปลือกเสาวรสจะมีคุณภาพในการเกิดเจลดีเท่าๆกับ Pectin ที่ได้จากเปลือกส้ม และ ประกอบด้วย galacturonic acid 76.0 ถึง 78.0 เปอร์เซ็นต์ metolxyl 8.9 ถึง 9.2 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเปลือกเสาวรสมี Pectinesterase enzyme อยู่ด้วยจึงต้องนำมานึ่ง หรือ อบไอน้ำ เพื่อให้ย่อยสลายจนหมดปฏิกิริยาจึงได้ Pectin ในปริมาณสูง (Sherman *et al*., 1953)

นอกจากเสาวรสพันธุ์สีเหลืองจะมีคาร์โบไฮเดรตสูงแล้ว ยังมีไขมันต่ำ และมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ เมื่อนำมาตากแห้งโดยไม่ต้องใช้กรรมวิธีในการถนอมอาหารด้วยวิธีอื่น สามารถนำมาใช้เลี้ยงโค - กระบือได้ทันที เปลือกเสาวรสสามารถนำมาทำพืชหมัก (Silage) ที่มีคุณภาพดีได้ (Otagaki and Matsumoto, 1958)

อย่างไรก็ตามการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะ และ การเสริมด้วยอาหารชนิดอื่นที่มีคุณภาพสูงกว่า ทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีทางกายภาพ วิธีทางชีวภาพ และ วิธีทางเคมี ซึ่งพบว่า การหมักเปลือกเสาวรสด้วยยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ รำข้าว 2 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาหมัก ประมาณ 8 สัปดาห์ ทำให้ระดับ pH ลดลง จาก 4.5 เหลือ 4.1 เนื่องจากเปลือกเสาวรสปกติจะมีสภาพเป็นกรดอยู่แล้ว เมื่อนำมาหมัก จุลินทรีย์ยังคงทำงานเพียงระยะหนึ่งเท่านั้น หลังจากนั้นระดับ pH จะลดลงอย่างรวดเร็ว เหลือ 4.1 ซึ่งมีสภาพความเป็นกรดค่อนข้างสูง ในสภาพนี้จุลินทรีย์จะหยุดทำงาน (McDonald *et al*, 1981) สำหรับการหมักเปลือกเสาวรสด้วยยูเรีย มีผลทำให้ระดับโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ทำให้ยูเรียแตกตัวเป็นแอมโมเนีย และ แอมโมเนียบางส่วนแทรกอยู่ในเนื้อของเปลือกเสาวรส ดังนั้น โคจึงสามารถนำแอมโมเนียมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์โปรตีนได้ (Anon, 1976)

จากการเปรียบเทียบ คุณค่าทางโภชนะ ระหว่างเปลือกเสาวรส กับ เปลือกสับปะรด พบว่า มีคุณค่าทางโภชนะใกล้เคียงกัน (กรมปศุสัตว์, 2524) ดังนั้นจึงน่าจะนำวิธีการหมักเปลือกสับปะรด มาประยุกต์ใช้กับการหมักเปลือกเสาวรสได้

Campan and Bishop (1969) แนะนำให้อัดเอาน้ำออกจากเปลือกสับปะรดก่อนนำมาหมัก โดยพบว่า พวกที่คั้นน้ำออกจะสูญเสียคุณค่าทางโภชนะ 31 เปอร์เซ็นต์ และ พวกที่ไม่คั้นน้ำออกจะสูญเสียโภชนะ 41 เปอร์เซ็นต์

O' Donovan *et al.* (1972) ได้ทดลองลดความชื้นโดยการเติมสารที่มีวัตถุแห้งสูง เช่น ฟางข้าว เพื่อช่วยดูดความชื้น และ เติมสารช่วยหมักอื่นๆ ได้แก่ พวกกากน้ำตาล 5-10 เปอร์เซ็นต์ เสริมยูเรีย 1 - 1.5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มระดับโปรตีน พบว่า ได้เปลือกเสาวรสหมักที่มีคุณภาพดี จากนั้น นำมาใช้เลี้ยงโคนมสาวในอัตรา 16-18 กก. / ตัว / วัน นาน 52 วัน ทำให้โคมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 0.65 กก. / ตัว / วัน

ชวนิศดากร (2523) ได้ปรับปรุงคุณภาพกากสับปะรดหมัก โดยเติมหญ้าขน แล้วนำไปใช้เลี้ยงโคนม เปรียบเทียบกับโคที่ให้หญ้าขนสดเป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่า พวกที่เลี้ยงด้วยกากสับปะรดหมัก มีแนวโน้มที่ให้ผลผลิตน้ำนม และ น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ดีกว่าโคที่ให้หญ้าขนเป็นอาหารหยาบอย่างเดียว โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งหญ้าขนจะมีคุณภาพต่ำลง

Chavanit (1975) รายงานว่า ในการหมักยอดอ้อยโดยใช้สารต่างๆเป็นตัวเร่ง คือ กากน้ำตาล ข้าวโพดบด หรือ มันสำปะหลัง และ การหมักโดยไม่เสริมสารใดๆ ปรากฏว่า ยอดอ้อยหมักล้วนมีคุณภาพดี และ ข้าวโพดบดจะช่วยเพิ่มระดับโปรตีนในยอดอ้อยหมัก แต่จะมีผลทำให้มีสภาพความเป็นกรดเพิ่มขึ้น

Pioneer (1990) รายงานว่า การเพิ่มคุณภาพอาหารหมักที่มีความชื้นสูง อาจทำได้โดยการเพิ่มสารเสริมบางชนิดลงไปในขบวนการหมัก(Silage additives) เพื่อช่วยเร่งขบวนการสร้าง Lactic acid และ อาจเป็นตัวห้ามการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะกลุ่มที่ทำลายโปรตีน และ กลุ่มที่สร้าง acetic acid ในบรรดา Silage additives ทั้งหลาย การใช้สารจำพวกกรดอินทรีย์น่าจะมีความเป็นไปได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับสารอื่น เช่น กากน้ำตาล เชื้อจุลินทรีย์ (inculants) เอนไซม์ หรือ สารประกอบ พวก non protein nitrogen ซึ่งได้แก่ ยูเรีย หรือ แอมโมเนีย เป็นต้น

การใช้กรดต่างๆในการทำพืชหมัก เช่น formic acid, sulfuric acid, phosphoric acid ซึ่งบางครั้งเรียกว่า AIV – Silage นั้น Virtanen ชาวฮอลแลนด์เป็นผู้ริเริ่มขึ้น (ประสิทธิ์, 2516) ในปัจจุบันประเทศต่างๆรวมทั้ง ญี่ปุ่นก็นิยมใช้ formic acid ในการทำพืชหมัก

Takano (1975) พบว่า สามารถใช้ formic acid ปรับปรุงคุณภาพของหญ้าหมักได้เป็นอย่างดี ดังข้อมูลในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการใช้ formic acid 0.4 % เพื่อปรับปรุงคุณภาพของหญ้าหมัก ต่อการย่อยได้ การกินได้ และ ปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ในโคนม

Formic acid (%)	pH	Organjc acid (%)		อาหารหมักแห้งที่ย่อยได้ (%)	อาหารหมักแห้งที่สัตว์กินได้ (กก.)	ปริมาณน้ำนม (กก.)
		Lactic	Butyric			
0	4.2	0.78	0.34	69.7	7.3	15.3
0.4	3.8	2.45	0.04	73.3	8.5	16.4

ที่มา : Takano (1975)

McDonald *et al.* (1988) แนะนำว่า การใช้สารผสม ระหว่าง กรดฟอร์มิก และ ฟอร์มาลิน ในอัตราส่วน 1 : 3 โดยน้ำหนักสามารถคงระดับของโปรตีน และ Water soluble carbohydrate ในพืชหมักได้ดีกว่า สารเสริมการหมักชนิดอื่นๆ และ ฟอร์มาลิน ยังช่วยลดการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารหมัก โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้ดีอีกด้วย

Wilkins *et al.* (1974) อ้างโดย Harresign and Cole (1982) รายงายว่า การใช้กรดฟอร์มิก 2.3 ลิตรต่อวัสดุก่อนหมัก 1 ตัน หรือ การใช้ฟอร์มาลิน 7-9 ลิตร จะช่วยลดระดับ pH ในหลุมหมักได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ กลุ่มที่ทำลายโปรตีน

การประเมินคุณภาพของพืชหมัก

คุณภาพของพืชหมักที่ดี

การพิจารณาตัดสินว่าพืชหมักชนิดใด เป็นพืชหมักคุณภาพดีนั้น ต้องอาศัยความรอบรู้ ความชำนาญ และ ความเที่ยงตรงของผู้ตัดสิน ซึ่งในการตรวจสอบคุณภาพของพืชหมักที่ดี ต้องอาศัยหลักเกณฑ์ขั้นพื้นฐาน ดังต่อไปนี้

1. มีกลิ่นหอมของ Lactic acid คล้ายกลิ่นผลไม้หมักดอง ไม่มีกลิ่นฉุน กลิ่นไหม้ และ กลิ่นแอมโมเนีย

2. มีรสชาติเปรี้ยว ไม่ขม
3. มี pH อยู่ระหว่าง 3.6 – 4.3
4. มีความชื้นอยู่ในช่วง 60 – 67 เปอร์เซ็นต์
5. ไม่มีเชื้อรา หรือเน่าเปื่อยเป็นเมือกลื่น
6. มีสีใกล้เคียงกับพืชสดก่อนนำมาหมัก พืชหมักที่ดีจะมีสีเหลืองอมเขียว
7. การยอมรับจากสัตว์ โดยสัตว์จะมีความกระตือรือล้นอยากจะกิน

บุญเสริม(2539) ได้แนะนำวิธีการตัดสินคุณภาพของพืชหมัก โดยแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

1. วิธีการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี
2. วิธีการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

วิธีการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ทำได้โดย การวิเคราะห์หาปริมาณของกรดอินทรีย์ซึ่งได้แก่ Lactic acid, Butyric acid และ Acetic acid การวิเคราะห์กรดอินทรีย์ต่างๆเหล่านี้ สามารถวิเคราะห์ได้โดยวิธีการกลั่นลำดับส่วน ใช้วิธีที่แนะนำโดย เสาวนิต(2529) คือ การนำพืชหมักประมาณ 200 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 2,000 มิลลิลิตร เติมโทลูอีน 5 มิลลิลิตร ลงไปในพืชหมัก เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้พืชหมักเน่าเปื่อย นำไปเก็บในตู้เย็นนาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้ว นำมากรองผ่านกระดาษกรอง แล้วเก็บส่วนที่เป็นน้ำใสเอาไว้ในตู้เย็นนาน 24 ชั่วโมง จากนั้นใช้ปิเปตดูดน้ำใสมา 100 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร (ทำ 4 ซ้ำ) เติมน้ำปูนใส 30 มิลลิลิตร สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 15 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 2 ครั้งให้ได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายทั้งหมดให้เข้ากันดี ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงเพื่อตกตะกอนน้ำตาล(ถ้ามีตะกอนของน้ำตาลน้อยในการทำครั้งต่อไปอาจจะลดปริมาณของน้ำปูนใสลงอีก) หลังจากครบ 2 ชั่วโมงแล้วนำสารละลายมากรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นนำน้ำใสปริมาตร 200 มิลลิลิตรใส่ในขวดสกัดสารขนาด 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเจือจาง สัดส่วน1:1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้ววัดปริมาณ Acetic acid และ Butyric acid โดยวิธีกลั่นลำดับส่วน สารละลายที่กลั่นออกมา 100 มิลลิลิตรแรกเป็นAcetic acid จากนั้นกลั่นต่อไปอีก 50 มิลลิลิตร เป็นค่า Butyric acid นำสารละลายที่เหลือมาเติม Chromic sulfuric ทำการ reflux นาน 5 นาที (เพื่อเปลี่ยนโมเลกุลของ Lactic ให้เป็น 1 โมเลกุลของ Acetic) เติมน้ำกลั่น 2 ครั้งผ่านเครื่อง reflux ลงไปในขวดวัดปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร นำไปกลั่นต่อให้ได้สารละลาย 50 มิลลิลิตร เป็นค่า Lactic acid นำสารละลายที่กลั่นได้ทั้ง 3 ชนิดมาไตเตรทกับ NaOH 0.05 N โดยมี Phenolphthalein เป็น indicator แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกรดอินทรีย์ โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$\text{Acetic acid (\%)} = 0.120\ T_2 - 0.027\ T_1$$

$$\text{Butyric acid (\%)} = 0.054\ T_1 - 0.058\ T_2$$

$$\text{Lactic acid (\%)} = 0.154\ T_3 - 0.075\ T_2 + 0.008\ T_1$$

เมื่อ T_1 = ปริมาณ NaOH ที่ใช้ไตเตรท Acetic acid

T_2 = ปริมาณ NaOH ที่ใช้ไตเตรท Butyric acid

T_3 = ปริมาณ NaOH ที่ใช้ไตเตรท Lcetic acid

จำนวนเปอร์เซ็นต์ของกรดดังกล่าวถูกนำมาให้คะแนนโดยถือตารางคะแนนของ FLIEG เป็นเกณฑ์ ดังตารางผนวกที่ 3

วิธีการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส การพิจารณาคุณภาพของพืชหมัก ควรสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับ อายุ ระยะการตัด ฤดูกาล การให้ปุ๋ยของพืชที่นำมาหมัก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของพืชหมัก การให้คะแนนตัดสินโดยใช้ประสาทสัมผัสนั้นอาศัย กลิ่น, สี และ โครงสร้างของพืชหลังการหมักเป็นเกณฑ์ จากนั้นนำคะแนนทั้ง 3 ส่วนนี้มารวมกัน ตามวิธีการให้คะแนนและ การอ่านผลตามเกณฑ์ ที่แนะนำโดย บุญเสริม (2539)

ฌ. การศึกษาการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility)

การหาการย่อยได้ของโภชนะโดยทดลองกับตัวสัตว์โดยตรงแบบ conventional methods เป็นวิธีที่บังคับ หรือ เลี้ยงสัตว์ทดลองให้อยู่ในคอกที่สามารถวัดปริมาณอาหารที่สัตว์กิน, ปริมาณมูล และ ปริมาณมูลที่ขับออกมา โดยละเอียด คอกที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทดลอง เรียกว่า Metabolism cages (เทอดชัย, 2540) การหาการย่อยได้แบบ conventional methods นี้ ทำได้โดยให้สัตว์กินอาหารนั้นระยะหนึ่ง (Preliminary period) เพื่อให้สัตว์ และ จุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้คุ้นเคยกับอาหาร และเพื่อขับอาหารเดิมออกจากทางเดินอาหารให้หมด สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าเป็นอาหารปกติใช้เวลา 7-10 วัน แต่ถ้าเป็นอาหารทดลองที่สัตว์ไม่เคยชิน เช่น หญ้าหมัก ฟางข้าว หรือ อาหารที่หมักด้วย Alkali หรือ อาหารบด อาหารอัดเม็ด ควรจะขยายระยะเวลาในช่วงนี้ให้นานกว่าปกติเป็น 14-21 วัน จากนั้นจึงทำการเก็บมูล (Collection period) ถ้าให้อาหารระดับคงที่ จะใช้เวลาประมาณ 7 วัน แต่ถ้าให้อาหารแบบให้กินเต็มที่ (ad lib) เพื่อต้องการวัดปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้ ต้องใช้เวลานานกว่า คือ 10-14 วัน ตลอดช่วง Collection period ทำการบันทึกปริมาณอาหาร

ที่กิน และ มูล ที่ขับออกมาทั้งหมด ทำการสุ่มตัวอย่างอาหารที่เหลือ และ มูล เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี แล้วนำมาคำนวณหาค่าการย่อยได้ โดยใช้สูตร

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

ญ. ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหาร

มีปัจจัยหลายประการที่ทำให้อัตราการย่อยได้ของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่

ปริมาณอาหารที่สัตว์ได้รับ

การเพิ่มปริมาณอาหารที่ให้กับสัตว์ มีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนะที่เป็นแหล่งพลังงานลดน้อยลง แต่การย่อยได้ของโภชนะอื่นๆ เปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน ถ้าพิจารณาในด้านของ Apparent digestibility แต่ True digestibility ของอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) จะลดลง เนื่องจากปริมาณอาหารที่มากขึ้น ทำให้อาหารเดินทางผ่านทางเดินอาหารเร็วขึ้น

ปริมาณเยื่อใย และ ลิกนิน ที่มีอยู่ในอาหาร

อัตราการย่อยได้จะลดลง ถ้ามีปริมาณของเยื่อใยในอาหารเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นนี้ จะมีความสัมพันธ์ กับปริมาณ ลิกนิน ที่เพิ่มขึ้นด้วย โดย ลิกนิน จะเข้าจับตัวกับ Cellulose ได้น้อยลง ดังนั้น ถ้าอาหารมี ลิกนิน และ / หรือ เยื่อใยเพิ่มขึ้น การย่อยได้ก็จะลดลง

ความแตกต่างด้าน Species ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

โคมีความสามารถในการย่อยอาหารหยาบคุณภาพต่ำได้ดีกว่าแกะ ในทางกลับกันแกะก็มีความสามารถในการย่อยอาหารข้นได้ดีกว่าโคเช่นกัน และ พบว่าแกะมีความสามารถย่อยไขมันได้ดีกว่าโค สัตว์ทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการย่อยสลายวัตถุแห้ง โปรตีน และ Digestible energy ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างนี้ก็มีรายงานขัดแย้งอยู่บ้าง แต่อนุโลมว่าในงานทดลองแล้ว แกะจะเป็น Pilot animal สำหรับโค

ความถี่ในการให้อาหาร

การเพิ่มความถี่ในการให้อาหาร มีผลทำให้ความสามารถในการย่อยได้ดีขึ้น และ อาจทำให้ Heat loss ลดน้อยลง และ N – retention ดีขึ้น

การปรับตัวของสัตว์ให้เข้ากับอาหารที่เปลี่ยนใหม่

สัตว์เคี้ยวเอื้อง ต้องใช้เวลาช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อการปรับตัวของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน เพื่อให้เคยชินกับอาหารชนิดใหม่ ในระยะแรกของการเปลี่ยนอาหาร อาจพบว่า มีการย่อยได้ของอาหารลดลง หลังจากที่เวลาผ่านไป 2-3 สัปดาห์ การย่อยได้จะดีขึ้น

ฎ. ความสำคัญของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

เทอดชัย (2540) กล่าวว่า ภายในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่มากมายหลายชนิด ในแต่ละชนิดก็มีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันไป จำนวนประชากรของจุลินทรีย์จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับ จุลินทรีย์ที่มีมากในกระเพาะรูเมนมีอยู่ 2 ชนิด คือ แบคทีเรีย (Bacteria) และ โปรโตซัว(Protozoa) ประเภท Ciliated protozoa ในบางครั้งอาจพบ Fungi หรือ จุลินทรีย์ที่คล้ายยีสต์ (Yeast) ปะปนอยู่บ้าง เนื่องจากสภาพภายในกระเพาะรูเมน เป็นสภาพ Anaerobic จึงทำให้จุลินทรีย์เกือบทั้งหมดเป็นพวก Anaerobic ด้วยเหตุนี้ จึงอาจกำหนดลักษณะเฉพาะของจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนได้ดังต่อไปนี้

1. เป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในที่ที่ไม่มีออกซิเจนได้
2. ให้ผลผลิตชนิดเดียวกับผลผลิตที่พบในกระเพาะรูเมน
3. ถ้าเป็นแบคทีเรียจะต้องมีอย่างน้อย 1 ล้านตัว / นน. 1 กรัม

ลักษณะเหล่านี้ จะมีประโยชน์ในการจำแนกชนิดของจุลินทรีย์ ว่ามาจากแหล่งไหนบ้าง เช่น จากอาหาร น้ำ หรือ แหล่งอื่นๆ ในสัตว์เคี้ยวเอื้องต่างชนิดกัน กินอาหารต่างกัน สภาพแวดล้อมต่างกัน ก็สามารถมีจุลินทรีย์ในกระเพาะที่ต่างกันด้วย เช่น จุลินทรีย์ที่มีรูปร่างกลมรี (Large oval microbial forms) มีมากเป็นปกติในกระเพาะรูเมนของ แกะ แต่ไม่มีในโค เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ จุลินทรีย์จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ต่อการย่อยได้ของโภชนะภายในกระเพาะรูเมน โดยอาหารแต่ละชนิดจะมีการย่อยได้ของโภชนะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่เข้าทำการย่อยสลายโภชนะนั้นๆ เช่น อาหารที่มีเยื่อใยสูง ต้องการจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยเยื่อใยได้ดี ได้แก่พวก Cellulose bacteria สามารถผลิต cellulase enzyme ที่ใช้ย่อย cellulose ได้

ฏ. การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

การย่อยสลายที่เกิดขึ้นภายในกระเพาะรูเมน เกิดจากเอนไซม์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ภายในกระเพาะส่วนนี้เท่านั้น เนื่องจากกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ไม่มีการผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารจากตัวสัตว์ ขบวนการย่อยสลาย และ เมตะโบลิซึมคาร์โบไฮเดรตอาจแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การย่อย Polysaccharides ให้เป็น Monosaccharides
2. การเปลี่ยน Monosaccharides ให้เป็น pyruvate

3. การเปลี่ยน pyruvate ให้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid)
4. การสังเคราะห์ Methane (CH_4)

การย่อย Polysaccharides ให้เป็น Monosaccharides ในขั้นตอนนี้

Polysaccharides จะถูกเอนไซม์เข้าย่อยแยกรอยต่อระหว่างหน่วย (Glycosidic bonds)ของ Monosaccharides ที่ประกอบกันเข้าเป็น Polysaccharides ให้หลุดออกจากกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะได้ Disaccharides ก่อนจะเป็น Monosaccharides ในขั้นสุดท้าย

ขบวนการเปลี่ยน Monosaccharides ให้เป็น pyruvate

โดยทั่วไปจะไม่พบ Monosaccharides ในกระเพาะรูเมน หรือ ถ้าพบก็มีปริมาณน้อยมาก เนื่องจากผลของขบวนการหมัก (Fermentation) ทำให้ Monosaccharides ถูกเปลี่ยนเป็น pyruvate ค่อนข้างรวดเร็ว และ สมบูรณ์ สำหรับการเมตะโบลิซึมของ Monosaccharides ให้เป็น pyruvate นั้น จะเกิดขึ้นภายในร่างกายสัตว์ แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง สามารถเกิดขึ้นได้ในกระเพาะรูเมนโดยจุลินทรีย์ซึ่ง เรียกว่า Rumen metabolism อย่างไรก็ตามขบวนการเปลี่ยนMonosaccharides ให้เป็น pyruvate นี้ ส่วนใหญ่จะเกิดจากวิถี Embden Meyerhof pathway ที่เปลี่ยน Monosaccharides ชนิดที่มีคาร์บอน6 ตัว (Hexose) จนถึงสุดท้ายที่เปลี่ยนเป็น pyruvate จะได้ พลังงานสุทธิ 2 โมเลกุลของ ATP ต่อ Hexose 1 โมเลกุล (เทอดชัย, 2540)

การเปลี่ยน pyruvate ให้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid)

กรดไขมันที่ระเหยได้ที่ได้จากการเมตะโบลิซึมของ pyruvate ในกระเพาะรูเมน ได้แก่ Acetate, Butyrate และ Propionate นอกจากนี้ยังมี CO_2 เป็นผลผลิตสุดท้ายร่วมด้วย ซึ่งจะถูกนำ ไปใช้ในการสังเคราะห์ Methane (CH_4) ในขั้นต่อไป

การสังเคราะห์ Methane

Methane ที่เกิดขึ้น ส่วนใหญ่เกิดจาก CO_2 ที่อยู่ในกระเพาะรูเมน และ บางส่วนเกิดจาก กรดฟอร์มิก ดังสมการต่อไปนี้

$$HCOOH + 3H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

การสังเคราะห์ Methane เป็นวิธีการหนึ่งที่ลดปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นให้น้อยลง แต่เป็นการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่ง ที่ร่างกายควรได้รับ ประมาณการว่า การสูญเสียพลังงานในรูปของ Methane จะมีค่าประมาณ 7 เปอร์เซนต์ของพลังงานทั้งหมดที่สัตว์ได้รับ

การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมน

โปรตีน และ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ที่มีอยู่ในอาหาร (Dietary nitrogenous organic compound) รวมทั้ง Mucoprotein ที่มีอยู่ในน้ำลาย เมื่อเข้าไปถึงกระเพาะรูเมน จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย และ โปรโตซัวหลายชนิดที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น แบคทีเรียที่สำคัญ ได้แก่ แบคทีเรียประเภทแกรมลบ (Gram negative) รวมทั้งแบคทีเรีย ที่อยู่ใน Species Entodinium, Eudiplodinium และ Ospryocolex

การสลายตัวของโปรตีน แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เกิดจากขบวนการ Proteolysis แยกรอยต่อของโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธี Hydrolysis ตรงตำแหน่ง Peptide bone ทำให้ได้ Peptide และ amino acid บางส่วนออกมา

ขั้นตอนที่ 2 เกิดจากการสลายตัวของ amino acid โดยขบวนการ Deamination และ ผลิตกรดอินทรีย์ (organic acid) และ แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยขบวนการ Proteolysis และ Deamination ที่เกิดขึ้นนี้ จะอยู่ภายใต้อิทธิพลของความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)ภายในกระเพาะรูเมน สภาพที่เหมาะสมของขบวนการดังกล่าวจะอยู่ระหว่าง pH 6-7

ฐ. ประโยชน์จากการทราบตำแหน่งของการย่อยอาหาร

การย่อยสลายของอาหารที่ตำแหน่งแตกต่างกันนั้น มีผลทำให้ได้ผลผลิตที่แตกต่างกันด้วย เช่น การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน ถ้าเกิดขึ้นในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะส่วนนี้ สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงาน ในการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ (Microbial protein) การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมนนี้ จะมีการสูญเสียพลังงานที่สัตว์ควรได้รับ ส่วนหนึ่งไปในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 ประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ของgross energy (GE) ดังนั้นในกรณีของการย่อย Structural carbohydrates ภายในลำไส้เล็ก พบว่า มีการย่อยสลายได้ของ Cellulose และ Hemicellulose น้อยมาก ซึ่งจำนวนที่ย่อยสลายไปนี้ อาจเกิดจากการเข้าย่อยของจุลินทรีย์ ที่มีอยู่บ้างในส่วนปลายของลำไส้เล็ก การย่อยเยื่อใยภายในลำไส้เล็กนี้ไม่มีความสำคัญต่อตัวสัตว์แต่อย่างใด ส่วนอาหารข้นหรืออาหารที่มีเยื่อใยต่ำ ที่สามารถถูกย่อยสลายได้ดีในลำไส้เล็ก ทำให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ที่ร่างกายสัตว์สามารถดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ดังนั้นจึงควรมีการป้องกัน (protected) ให้อาหารประเภทนี้ถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน เท่าที่จำเป็นเท่านั้น สำหรับการย่อย Structural

carbohydrates ในลำไส้ใหญ่นั้นจะเหมือนกับการย่อยคาร์โบไฮเดรตภายในกระเพาะรูเมนโดยจุลินทรีย์ ทุกประการ ผลผลิตที่ได้จากการย่อยเยื่อใยจะคล้ายกับในกระเพาะรูเมน ดังต่อไปนี้ กรดไขมันที่ระเหยง่าย (Volatily fatty acid ; VFA) ได้แก่ Acetic acid, Propionic acid และ Butyric acid อัตราส่วนของ VFA จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของ คาร์โบไฮเดรตที่เข้าไปในลำไส้ใหญ่ ถ้ามีเยื่อใยมาก อัตราส่วนของ Acetic acid และ Butyric acid จะสูง แต่ถ้ามีแป้งมากอัตราส่วนของ Propionic จะสูง เมื่อเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นในลำไส้ใหญ่ กับ กระเพาะรูเมน ความเข้มข้นของ VFA ภายในกระเพาะรูเมนจะมีมากหลังจากสัตว์กินอาหารเข้าไป และ จะค่อยๆลดลงในภายหลัง แต่ในลำไส้ใหญ่ ความเข้มข้นของ VFA ค่อนข้างคงที่และ สม่ำเสมอกว่าในกระเพาะรูเมน (เทอดชัย, 2540)

ฑ. การประเมินคุณค่าทางอาหาร

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยวิธี Weende หรือ Proximate analysis เป็นวิธีการประเมินคุณค่าทางอาหารขั้นพื้นฐาน นิยมใช้กันมานาน เนื่องจากสามารถบอกองค์ประกอบทางเคมีได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ยังคงมีข้อบกพร่องบางประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวิเคราะห์เยื่อใย จึงได้มีการพัฒนาวิธีการ วิเคราะห์เยื่อใยขึ้นเรียกว่า Detergent method (Georing and Van Soest, 1970) ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการประเมินคุณภาพของพืชได้ดีขึ้น

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ยังไม่เพียงพอสำหรับการนำมาใช้ประเมินคุณค่าทางอาหาร เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้ไม่สามารถบอกถึงการนำโภชนะต่างๆ ที่มีอยู่ไปใช้ประโยชน์มากหรือ น้อยเพียงใด ดังนั้นการประเมินคุณค่าทางอาหาร จึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลทาง การย่อยได้ (Digestibility)และการใช้ประโยชน์(Utilization)ของโภชนะในอาหาร แล้วนำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาร่วมกัน จึงสามารถบอกคุณค่าทางอาหารได้อย่างสมบูรณ์ จึงต้องมีการทดลองหาการย่อยได้ โดยการทดลองกับตัวสัตว์โดยตรง (In vivo method) และ วิธีที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ (In vitro method) หรือ วิธี In sacco method เป็นต้น

ฒ. การประเมินค่าพลังงานจากค่าการย่อยได้

McDonald *et al.* (1995) กล่าวว่า สัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีการสูญเสียพลังงานไปในรูปของปัสสาวะ (Urinary energy) มูล (Faecal energy) และ แก๊ส (Gaseous products of digestion; GPD) ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างที่มีขบวนการย่อย และ ดูดซึมอาหาร จากหลักการนี้ เราสามารถประเมินค่าพลังงานย่อยได้ (Digestible energy ; DE) ด้วยวิธีวัดโดยตรง โดยนำค่าพลังงานในมูลมาหักลบออกจากค่าพลังงานทั้งหมดในอาหาร นอกจากนี้ ยังสามารถนำค่าการย่อยได้ของโภชนะ

มาคำนวณหาค่าโภชนะย่อยได้รวม(Total digestible energy ; TDN) พลังงานย่อยได้(DE) และพลังงานเมแทโบไลซ์(ME) จากสมการที่เสนอโดย บุญล้อม(2532) ต่อไปนี้

TDN = dig. CP + dig. NFE + (2.25 x dig. EE)

DE = 5.79 x dig. CP + 8.15 x dig. EE + 4.42 x dig. CF + 4.06 x dig. NFE

ME = 4.32 x dig. CP + 7.73 x dig. EE + 3.59 x dig. CF + 3.63 x dig. NFE

การแปลงค่า TDN ให้เป็นค่า DE ME และ NEL

ทำได้โดยนำค่า TDN ที่คำนวณได้จากสมการที่เสนอโดยบุญล้อม(2532) มาคำนวณค่า DE ME และ NEL จากสมการที่เสนอโดย NRC (1988) ดังต่อไปนี้

DE (Mcal/kg) = 0.04409 x TDN (%)

ME(Mcal/kg) = - 0.45 + 1.01 DE

NEL(Mcal/kg) = 0.0245 x TDN (%) – 0.12

ฌ. การเปรียบเทียบการย่อยได้ในโค และ แกะ

การศึกษาการย่อยได้ในสัตว์โดยตรง (*in vivo*) เป็นวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากทำให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง แต่ก็ยังคงมีปัญหาในเรื่องของงบประมาณ ค่าใช้จ่ายต่างๆซึ่งสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าทำการทดลองในโค และ กระบือ จำเป็นต้องใช้พืชอาหารสัตว์และวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดงบประมาณ ค่าใช้จ่ายต่างๆ อีกทั้งยังช่วยให้ผู้วิจัยทำงานทดลองได้สะดวกขึ้น จึงมีการใช้สัตว์นำร่อง (Pilot animal)ในการประเมินคุณค่าของอาหารหยาบ สำหรับสัตว์นำร่องที่นำมาใช้ในการศึกษา คือ แกะ เนื่องจากมีจำนวนมาก และกระจายอยู่ทั่วโลก มีขนาดเล็ก กินอาหารคล้ายคลึงกับโค ลดค่าใช้จ่าย สามารถเข้าจัดการ และ ดูแลง่ายขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลที่ได้ มาใช้ในการประเมินผลการทดลอง อย่างไรก็ตาม พบว่าโคและแกะ มีข้อแตกต่างกันบางประการ เช่น

1. การย่อยได้ (Digestibility)

1.1 การย่อยได้ของโปรตีนในกระเพาะรูเมน

พบว่า โคจะมีแนวโน้มที่ Retention time มีค่าสูงกว่าแกะโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.3-3.7 วัน ในขณะที่แกะ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.8 – 2.2 วัน เหตุผลที่ทำให้เกิดความแตกต่างนี้ ยังไม่สามารถที่จะอธิบายอย่างชัดเจนได้ แต่จากการศึกษาถึงพฤติกรรมการกินอาหารของสัตว์ทั้งสองชนิด ปรากฏว่าแกะจะเคี้ยวอาหารเป็นจำนวนครั้งได้มากกว่าโค ซึ่งอาจจะทำให้อาหารถูกเคี้ยวได้ละเอียดกว่าจึงมี Retention time น้อยกว่าโค ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า อาหารที่มีชิ้นส่วนขนาดเล็ก ก็จะมีพื้นที่ผิว (Surface area) เพิ่มมากขึ้น โอกาสที่จุลินทรีย์จะเข้าย่อยสลายก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงธรรมชาติในการเลือกกินอาหารของแกะ ที่ชอบเลือกกินหญ้าอายุน้อย ซึ่งมี N-Solubility สูง ทำให้โอกาสที่โปรตีนจะถูกย่อยสลายก็มีมากขึ้นตามไปด้วย สาเหตุเหล่านี้ อาจเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้สัตว์ทั้งสองชนิดนี้ มีการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมนที่แตกต่างกัน

1.2 การย่อยได้ของวัตถุแห้ง

โดยเฉลี่ย โคสามารถย่อยอาหารหยาบคุณภาพต่ำได้ดีกว่าแกะ แต่สำหรับอาหารหยาบคุณภาพสูงที่มีการย่อยได้ของวัตถุแห้งเกินกว่า 55-60 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างในการย่อยได้ของโค และ แกะมีน้อยมาก โดยมีความแตกต่างไม่เกิน 1-3 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ในทางปฏิบัติแล้วอนุโลมให้นำค่านี้มาปรับใช้กันได้ ระหว่างโค และ แกะ แต่ในกรณีที่การย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าต่ำกว่านี้ ความแตกต่างในการย่อยอาหารของโค และ แกะ จะมีมากขึ้น ดังนั้นถ้าเป็นอาหารหยาบคุณภาพต่ำ โคจะมีความสามารถในการย่อยอาหารหยาบคุณภาพต่ำได้ ดีกว่าแกะ อย่างมีนัยสำคัญ และถ้าอาหารหยาบนั้นมีคุณภาพต่ำลงเท่าไร ความแตกต่างก็จะเพิ่มขึ้นไปอีก

เทอดชัย(2540) รายงานว่า ขั้นต่ำสุด ของการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่นำมาใช้เป็นขีดจำกัดในการนำผลการย่อยได้จากแกะไปใช้ประโยชน์ในโค ได้แก่ 45 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าผลการทดลองในแกะ ปรากฏว่า มีการย่อยได้ของวัตถุแห้งจากอาหารหยาบต่ำกว่า 45 เปอร์เซ็นต์แล้ว ผลการทดลองนั้นไม่สามารถนำไปใช้กับโคได้

2. ปริมาณอาหารที่สัตว์ได้รับ (Intake)

ปกติแกะจะกินอาหารหยาบคุณภาพต่ำได้น้อยกว่าโค แต่ ถ้าเป็นอาหารหยาบคุณภาพดี เช่น หญ้าในแปลงหญ้าแล้ว โค และ แกะ จะกินอาหารได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้น ถ้าอาหารหยาบมี Cellulose มาก และคุณภาพต่ำ เช่น ฟางข้าว ความสัมพันธ์ในการกินอาหารระหว่างโค และ แกะจะนำไปใช้ร่วมกันไม่ได้ (เทอดชัย, 2540)

ง. เทคนิคที่นิยมใช้ในการศึกษาการย่อยสลายของอาหารในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการได้ถูกพัฒนาขึ้น เนื่องจากการทดลองหาค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility) ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย แรงงาน และ พืชอาหารสัตว์จำนวนมาก จึงมีการพัฒนาวิธีการศึกษา การย่อยได้โดยเลียนแบบสภาวะภายในทั้งหมด ให้เหมือนกับการย่อยได้ที่เกิดขึ้นจริงในตัวสัตว์ จึงได้มีนักวิจัยทั้งในประเทศ และ ต่างประเทศ พยายามศึกษาและ พัฒนาวิธีการทดลองการย่อยได้ของอาหารในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* technique) ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมตามคำแนะนำของ บุญล้อม(2541) มีหลายวิธี ดังต่อไปนี้

1. วิธีใช้เทคนิคถุงไนล่อน (Nylon Bag หรือ *in sacco / in situ* Technigue) ได้รับการพัฒนาขึ้นที่ประเทศอังกฤษ และ ได้รับความนิยมกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากได้ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการย่อยสลายของอาหารที่เป็นประโยชน์มาก

2. วิธีใช้เทคนิคการวัดแก๊ส (*in vitro* Gas Production Technique) ได้รับการพัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมัน เพื่อให้สามารถทำนายค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และ ค่าพลังงานในอาหารได้ ต่อมาได้มีการพัฒนาให้สามารถวัดอัตราการย่อยสลายของอาหารได้

3. วิธีใช้รูเมนเทียม (Rumen Simulation Technique ; Rusitech) ทำได้โดยใช้อุปกรณ์จำลองสภาพการหมักในกระเพาะรูเมน ทำให้สามารถบอกถึงการย่อยสลายของโภชนะในอาหารเช่นกัน แต่เป็นวิธีที่ต้องอาศัยเครื่องมือที่ค่อนข้างซับซ้อน จึงยังไม่เหมาะสำหรับประเทศไทยในสภาพปัจจุบัน

4. วิธีใช้เอนไซม์เปบซิน – เซลลูโลส ทำได้โดยใช้เอนไซม์ที่สกัดจากจุลินทรีย์มาบ่ม (incubate) กับตัวอย่างอาหาร วิธีนี้มีข้อดีในแง่ที่สามารถทำได้รวดเร็ว ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาทั้งคุณภาพของเอนไซม์ และ วิธีการวิเคราะห์ทำให้ได้ค่าที่แม่นยำขึ้น สะดวกสำหรับห้องปฏิบัติการที่ไม่มีสัตว์เจาะกระเพาะ

5. วิธีการ 2 ขั้นตอน (2 Stages method ของ Tilley and Terry, 1963) วิธีนี้ได้รับความนิยมมานาน แต่ในภายหลังได้มีการพัฒนาวิธีอื่นๆ ที่สามารถให้ข้อมูลได้มากกว่าและ แม่นยำสูงกว่า วิธีนี้จึงได้รับความนิยมลดลง

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกวิธีการศึกษา โดยวิธีใช้เทคนิคถุงไนล่อน (Nylon Bag หรือ *in sacco / in situ* Technique) และ วิธีใช้เทคนิคการวัดแก๊ส (Gas Production Technique) เนื่องจาก ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ต. การศึกษาการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะรูเมนโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน (Nylon Bag Technique)

การศึกษาการย่อยสลายของอาหาร โดยใช้เทคนิคถุงไนล่อน ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก สามารถวัดค่าการย่อยสลายได้โดยตรง ในการ incubate ตัวอย่างอาหารในกระเพาะรูเมนที่ชั่วโมงบ่มต่างๆกัน สามารถอธิบายถึงเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และ อัตราการย่อยสลายของตัวอย่างอาหาร

Huntington and Givens (1995) กล่าวว่า ข้อมูลที่ได้จากวิธีใช้เทคนิคถุงไนล่อนนี้ นอกจากจะสามารถใช้อธิบายลักษณะการย่อยสลายได้ของเยื่อใย (Cellulose) และโปรตีนในอาหารได้แล้วยังใช้เปรียบเทียบวัตถุดิบอาหารสัตว์ เพื่อใช้ในการประกอบสูตรอาหารได้อีกด้วย

Ø rskov and McDonald (1970) แนะนำว่า มีวิธีการอยู่ 2 วิธี ที่สามารถศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะรูเมนได้ คือ การวัดปริมาณของอาหารโปรตีนที่ผ่านเข้าไปในกระเพาะแท้ (abomasum) หรือ การ incubate ตัวอย่างอาหารโปรตีนในกระเพาะรูเมน วิธีการแรกมีความลำบากในการรักษาแผลผ่าตัด เพราะต้องใช้สัตว์เป็นเวลานาน และ ต้องระวังในเรื่องของการแยกจุลินทรีย์ออกจากโปรตีน อย่างไรก็ตาม การประเมินค่าการย่อยได้ในการทดลองแบบ In vivoของตัวอย่างอาหารเมื่อผ่านกระเพาะรูเมนไปแล้ว ไม่สามารถบอกในเรื่องของ Retention time ของ โปรตีนจากกระเพาะรูเมนได้ (Ø rskov *et al.*, 1983)

วิธีการใช้เทคนิคถุงไนล่อน ถึงแม้จะได้รับความนิยมแพร่หลาย แต่มีรายละเอียดของเทคนิควิธีการที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของขนาดรู (Pore Size) ของวัสดุที่นำมาทำเป็นถุง ลักษณะของอาหารที่ใช้ศึกษา สัดส่วนของอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทดลอง ความถี่ของอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทดลอง อัตราส่วนของอาหารต่อพื้นที่ถุง ขนาดของอนุภาคอาหารที่ใช้ศึกษา วิธีการใส่ถุงลงในกระเพาะรูเมน วิธีการวิเคราะห์ การจัดการล้างถุงหลังนำออกมาจากกระเพาะรูเมน และ จำนวนจุลินทรีย์ที่เหลือติดอยู่กับอาหารในถุงตลอดจนแบบวิธีการ(model)ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล (Lindberg, 1985 ; Nocek, 1988 ; Michalet – Doroau and Ould – Bah, 1989) จึงควรมีการปรับมาตรฐานของวิธีการ (Marshall *et al.*, 1997) เพื่อความแม่นยำมากขึ้น

FAO (1996) แนะนำว่า วิธีการใช้เทคนิคถุงไนล่อนนี้มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถใช้ทำการทดสอบกับตัวอย่างอาหารที่มีการละลายได้สูง เช่น กากน้ำตาล (molasses) หรือ ตัวอย่างที่มีอนุภาคเล็กมากๆ เช่น เลือดป่น (blood meal) รวมไปถึงโปรตีนเซลเดียว เนื่องจากอนุภาคที่เล็ก

มากของอาหารเหล่านี้ จะสามารถหลุดรอดออกไปจากถุง ซึ่งไม่สามารถประเมินค่าการย่อยได้ของตัวอย่างอาหารได้

เนื่องจากอาหารมีองค์ประกอบทางเคมี และ ฟิสิกส์ที่แตกต่างกัน จึงมีผลทำให้การย่อยสลายได้ของอาหารในกระรูเมนแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารหยาบ และ อาหารข้น

Ørskov (1992) อธิบายว่า เมื่ออาหารหยาบเดินทางเข้าไปในกระเพาะรูเมนจะถูกจุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ ขึ้นมาทำการย่อยสลายอาหารหยาบ พบว่า อาหารหยาบ มีส่วนที่สามารถละลายได้ทันที (a) ประกอบกับอาหารหยาบส่วนใหญ่จะมีเยื่อใยสูง จึงมีช่วงเวลาที่ต้องรอให้จุลินทรีย์เข้าทำการย่อยสลาย (Lag phase, L) จากนั้นอาหารหยาบส่วนที่ไม่สามารถละลายได้ จะถูกจุลินทรีย์พวก Cellulolytic bacteria ผลิตเอนไซม์เข้าทำการย่อยสลายได้ในระดับหนึ่ง (b) ฉนั้นความสามารถของการย่อยสลายได้ของอาหารหยาบ เท่ากับ a + b แต่เนื่องจากการย่อยสลายอาหารหยาบมีค่า Lag phase ทำให้ค่า A ติดลบได้ และ ค่า B = (a + b) – A ในกรณีของอาหารข้น พบว่าอาหารข้นที่เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในกระเพาะรูเมน จะมีส่วนที่ละลายได้ (a) ค่อนข้างสูง ซึ่งส่วนที่ละลายได้นี้ จะย่อยสลายได้ทันที ทำให้ค่าการละลายได้ (Solubility) เริ่มต้นที่ a จากนั้นส่วนที่ไม่สามารถละลาย แต่เกิดขบวนการหมักย่อยได้ จะถูกย่อยสลายต่อไปทันทีจนถึงระดับ b ดังนั้นค่าการย่อยสลายสูงสุดของอาหารจึงเท่ากับ a + b โดยมีอัตราการย่อยสลายได้เป็น c

วิธีการใช้เทคนิคถุงไนล่อน เป็นวิธีการที่ใช้ประเมินคุณค่าของอาหาร เช่น วัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และ โปรตีนที่หายไปในชั่วโมงบ่มต่างๆกัน โดยการประเมินจากปริมาณอาหารที่เหลืออยู่ในถุง โดยมีหลักการ คือ อาหารส่วนที่หายไป ถือว่าเป็นส่วนที่ย่อยสลายได้ (degraded fraction) และ ส่วนที่เหลือในถุง เป็นส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ (undegraded fraction) เมื่อนำค่าทั้งสองส่วนนี้มาหักลบกัน ทำให้สามารถประเมินคุณค่าของอาหารที่ถูกย่อยสลายที่ชั่วโมงบ่มต่างๆกันได้ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มา คำนวณค่าอัตราการย่อยสลายได้จากสมการที่เสนอโดยØrskov & McDonald (1979) โดยอาศัยโปรแกรม สำเร็จรูป NEWAY ดังต่อไปนี้

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

เมื่อ P = ค่าการย่อยสลายที่ช่วงเวลาต่างๆกัน (%)

a = ส่วนที่ละลายได้ทันที (%)

b = ส่วนที่ละลายแต่สามารถเกิดขบวนการหมักย่อยได้ (%)

c = อัตราการย่อยสลายของ b

t = ช่วงระยะเวลาต่างๆ

การคำนวณวัตถุแห้งที่กินได้ วัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์กิน อัตราการเจริญเติบโต และการคำนวณค่าดัชนีบ่งชี้ ทำได้โดย นำค่า A, B และ c ที่คำนวณได้จากการใช้โปรแกรม NEWAYมาทำนายค่า DMI, DDMI และ Growth rate โดยใช้สมการที่ Shem *et al.* (1995) เสนอไว้ดังต่อไปนี้

$$\text{DMI (kg / d)} = -8.283 + 0.266\,A + 0.102\,B + 17.696c \quad (r = 0.90)$$

$$\text{DDMI (kg / d)} = -7.609 + 0.219\,A + 0.080\,B + 24.191c \quad (r = 0.93)$$

$$\text{Growth rate (kg / d)} = -0.649 + 0.019\,A + 0.006\,B + 3.870c \quad (r = 0.93)$$

จากการสังเกตค่า r ในสมการนี้ พบว่า ค่า r อยู่ในเกณฑ์สูงมาก แสดงว่ามีสหสัมพันธ์อย่างสูงกับค่าที่ทำนาย

สำหรับวิธีการวัดค่าการย่อยสลายโดยใช้เทคนิคถุงไนล่อนนี้ สามารถบอกค่าการละลายได้ (A), ค่าการย่อยสลายได้สูงสุด (A + B) และค่าอัตราการย่อยสลาย (c) ค่าต่างๆเหล่านี้นับว่าเป็นประโยชน์มาก อย่างไรก็ตาม อาหารจะไม่ถูกย่อย ภายในกระเพาะรูเมนทั้งหมด แต่จะเคลื่อนที่ออกจากกระเพาะรูเมนในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (rate of passage) ขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่สัตว์กินเข้าไป, ชนิดของอาหาร และ ปัจจัยอื่นๆ

ฉ. การหาการย่อยได้โดยใช้เทคนิคการวัดแก๊ส (*In vitro* gas production technique)

ค่าการย่อยได้ของโภชนะในตัวสัตว์ จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณแก๊สที่ผลิตขึ้น ได้แก่ กรดไขมันที่ระเหยง่าย (volatile fatty acid), แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ แก๊สมีเทน(CH_4) ซึ่งจะเกิดขึ้นภายหลังจากเกิดขบวนการหมักอาหารภายในกระเพาะรูเมน ดังนั้นจึงได้นำหลักการนี้มาประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยการนำตัวอย่างอาหารมา incubate ในของเหลวที่เก็บจากกระเพาะรูเมน (Rumen fluid) ตามวิธีการที่แนะนำโดย Menke and Steingass (1988) ทำให้ได้กรดไขมันที่ระเหยง่าย(volatile fatty acid), แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ แก๊สมีเทน (CH_4) ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นนี้ จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่ถูกย่อย เมื่อนำค่าแก๊สที่เกิดขึ้นมาพิจารณาร่วมกับเถ้า และ โปรตีนในอาหาร สามารถทำนายค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (OMD) ค่าพลังงานเมทาโบไลท์ (ME) และ ค่าพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (NEL) จากสมการที่เสนอโดย Menke and Steingass (1988) ดังต่อไปนี้

$$\text{OMD (\%)} = 15.38 + 0.8453\,GP + 0.0595\,XP + 0.0675\,XA \quad (R^2 = 0.91)$$

$$\text{ME (Mcal/kg)} = 2.20 + 0.1357\,GP + 0.0057\,XP + 0.0002859\,(XP)^2 \quad (R^2 = 0.94)$$

$$\text{NEL (Mcal/kg)} = 0.54 + 0.0959\,GP + 0.0038\,XP + 0.0001733\,(XP)^2 \quad (R^2 = 0.93)$$

เมื่อ GP = ปริมาณ gas (ml) ที่เกิดขึ้นเมื่อ incubated 24 ชั่วโมง

XP = ปริมาณโปรตีน (g / kgDM)

XA = ปริมาณเถ้า(g / kgDM)

สมการเหล่านี้นับว่ามีประโยชน์ในการทำนายค่าการย่อยได้ และ ค่าพลังงานจากตัวอย่างอาหารที่ไม่ได้ศึกษาโดยตรง

Wolin (1960) ได้ศึกษาค่าการย่อยได้ และ พลังงานเมทาโบไลท์ในอาหาร โดยการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น พบว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นนั้น มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกรดไขมันที่ระเหยง่ายของอาหารแต่ละชนิด ในอาหารที่มีองค์ประกอบของ Propionate สูง มีผลทำให้ปริมาณการผลิตแก๊สต่ำ เนื่องจากคาร์บอนอะตอมของ Propionate เป็นคนละตัวกันกับที่ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

Beuvink and Spoelstra (1992) ได้ทำการทดลอง การหมักย่อยกับกลูโคส เพื่อคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ ระหว่างกรดไขมันที่ระเหยง่าย และ ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น พบว่า แก๊สที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดขึ้นทั้ง ทางตรงและทางอ้อม ทางตรง คือ การเมทาโบลิซึมของจุลินทรีย์ และ ทางอ้อมเกิดจากปฏิกิริยาของกรดไขมันระเหยง่ายกับไบคาร์บอเนต(Bicarbonate)ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของสารละลายบัฟเฟอร์

Beuvink and Kogut (1993) ได้อธิบายถึงลักษณะของการเกิดแก๊ส ในแต่ละช่วงเวลาโดยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังต่อไปนี้ คือ

ระยะที่ 1 initial phase เป็นระยะที่เกิดแก๊สขึ้นอย่างช้าๆ

ระยะที่ 2 exponential phase เป็นระยะที่เกิดแก๊สขึ้นอย่างรวดเร็ว

ระยะที่ 3 asymptotic phase เป็นระยะที่เกิดแก๊สขึ้นอย่างช้าๆ อีกครั้งหนึ่ง

ในระยะ initial phase นี้ เป็นระยะที่มีส่วนของโภชนะที่ไม่ละลายแต่สามารถเกิดขบวนการหมักย่อยได้ และทำให้เกิดขบวนการ hydration และ colonization โดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน สำหรับโภชนะส่วนที่ละลายได้จะเกิดขบวนการหมักย่อยทันทีและเกิดแก๊สขึ้นอย่างรวดเร็ว นั่นคือ exponential phase และในระยะสุดท้าย asymptotic phase เป็นส่วนที่ไม่ละลายแต่เกิดขบวนการหมักย่อยส่วนที่ย่อยได้น้อย โดยจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ

Blümmel and Ørskov (1993) ได้ปรับปรุงวิธีการหาค่าการย่อยได้โดยใช้เทคนิคการวัดแก๊ส ด้วยการอ่านค่าแก๊สที่เกิดขึ้นที่ชุดเวลาที่เลือก และใช้สมการ exponential $P = a + b (1-e^{-ct})$ เมื่อกำหนดให้ P เป็นค่าวัตถุแห้งที่หายไปที่เวลา t และค่า a , b และ c เป็นค่าคงที่ในสมการที่เสนอโดย Ørskov & McDonald (1979) เพื่ออธิบายถึงค่าการย่อยได้ที่เกิดขึ้นจากขบวนการหมัก นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นทั้งหมด (a + b) จากตัวอย่างฟางพืช 10 ชนิด มีความสัมพันธ์กับ ค่าปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (DMI, r = 0.88) ในสมการ regression ที่เสนอโดย Shem *et al.* (1995) วัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์กิน (DDMI) และ อัตราการเจริญเติบโต (Growth rate, r = 0.95)เมื่อทำการทดลองในโคขุน

Blümmel *et al.* (1994) รายงานว่า อัตราส่วนของอาหารที่ถูกย่อยได้อย่างแท้จริง ต่อปริมาณแก๊สทั้งหมดที่เกิดขึ้น(มิลลิลิตร) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของจุลินทรีย์ (microbial biomas yield) และ ยังพิสูจน์ให้เห็นว่า ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น ไม่มีสหสัมพันธ์กับการย่อยได้ของอาหารโดยตรง เพราะเมื่ออาหารถูกย่อยจะไม่เกิดเฉพาะแก๊สเท่านั้น แต่จะเกิดกรดไขมันที่ระเหยง่าย (Short – chain fatty acid, SCFA) และ จุลินทรีย์ ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจะมีสหสัมพันธ์อย่างสูงกับกรดไขมันระเหยง่าย แต่เป็นปฏิภาคผกผันกับปริมาณจุลินทรีย์ เนื่องจากแก๊สเป็นส่วนของพลังงานในอาหารที่ต้องสูญเสียไปโดยไม่ได้ประโยชน์ ถ้าอาหารถูกย่อยมากย่อมเกิดพลังงาน (ATP) ที่จะนำไปใช้ในการสร้างเซลจุลินทรีย์มาก แต่ถ้าเกิดแก๊สมากทำให้เหลือพลังงานที่จะนำไปสร้างเป็นเซลของจุลินทรีย์ได้น้อย ดังนั้น การเกิดแก๊สมากจึงไม่ได้แสดงถึงคุณค่าของอาหารอย่างแท้จริง การที่จะทราบปริมาณประชากรของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้น สามารถทำได้โดยการนำกากที่เหลือจากการหมักอาหารในหลอดทดลองที่ incubate ครบ 24 ชั่วโมง ไปต้มกับสารละลาย NDS (Neutral detergent solution) จะทำให้โภชนะที่ย่อยได้ และ เซลของจุลินทรีย์ถูกสกัดออกไป กากที่เหลือ คือ ส่วนของอาหารที่ย่อยไม่ได้ เมื่อนำไปอบและเผา จะทำให้ทราบค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และ อินทรีย์วัตถุที่แท้จริง (True dry matter digestibility, TDMD)

แต่ถ้านำกากที่เหลือจากการหมักในหลอดทดลอง มาอบให้แห้ง และ เผา แล้วนำไปหักลบกับค่าวัตถุแห้ง หรืออินทรีย์วัตถุก่อนการหมัก ก็จะทราบค่าการย่อยได้ปรากฏ (Apparent digestibility of dry matter and organic matter ; ADMD , AOMD) และถ้านำค่าการย่อยได้แบบปรากฏ มาหักลบกับค่าการย่อยได้อย่างแท้จริง ก็จะทราบค่าปริมาณของจุลินทรีย์

ท. การคำนวณค่า Partition Factor

Blümmel and Bullerdick (1997) ได้รายงานว่า ค่า Partition Factor (PF) หมายถึง ปริมาณวัตถุแห้ง หรืออินทรีย์วัตถุ ที่ถูกย่อยสลายได้อย่างแท้จริง (True degraded DM or OM, mg.) ต่อปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นทั้งหมด (ml.) ที่ 24 ชั่วโมง การคำนวณค่า PF สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

Partition Factor (PF_{OM}) = True degraded OM (mg.) / gas (ml.), 24 hr.

อย่างไรก็ตาม ค่า Partition Factor (PF) นี้ จะมีความสัมพันธ์กับ microbial biomass ทั้งนี้ เมื่อพิจารณานำค่า PF มาใช้ร่วมกับค่า (a + b) และ c แล้วจะสามารถทำนายค่าปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (DMI) ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

ธ. การใช้ค่า *in vitro* gas production และ *in sacco* Technique ทำนายค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์ ปริมาณอาหารที่กินได้ และ คุณค่าทางอาหาร

Ørskov *et al.* (1988) ได้ทดลองใช้เทคนิคถุงไนล่อน เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวสาลี และ ข้าวบาร์เลย์ ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านขบวนการด้วย 3 เปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนียแห้ง พบว่า ค่าพารามิเตอร์ A, B และ c ที่ได้จากสมการของ Ørskov & McDonald (1979) มีความสัมพันธ์กับค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่ได้จากการทดลองในตัวสัตว์โดยตรง (*in vivo* digestibility) โดยมีค่า R^2 = 0.95 ซึ่งให้ผลการทดลองในทิศทางเดียวกับผลการทดลองของ Shem *et al.*(1995) โดยได้ศึกษาลักษณะการย่อยได้ของอาหารหยาบเขตร้อน 18 ชนิดในประเทศแทนซาเนีย พบว่า ค่าพารามิเตอร์ A, B และ c ในสมการ multiple regression มีค่าสหสัมพันธ์อย่างสูงกับปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์กินได้ (digestible dry matter intake, DDMI) โดยมีค่า R^2 = 0.93

Kibon and Ørskov (1993) พบว่า เมื่อนำค่า L (lag time, hours) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่อาหารรอให้จุลินทรีย์เข้าทำการย่อยสลาย มาใช้ในสมการทำนายปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์กินได้ ทำให้ค่า R^2 เพิ่มขึ้นจาก 0.88 เป็น 0.98

Menke and Steingass (1988) ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนะในอาหาร ด้วยวิธี in vitro gas production โดยนำค่าแก๊สที่เกิดขึ้นที่ 24 ชั่วโมงไปแทนค่าในสมการ และ นำค่า Crude protein, Crude fat และ total ash ในอาหารที่วิเคราะห์ได้จากห้องปฏิบัติการ มาใช้ในการทำนายค่า พลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolizable energy, ME) พบว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากการ incubate ตัวอย่าง

อาหารกับของเหลวจากกระเพาะรูเมน มีค่า สหสัมพันธ์อย่างสูงกับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (Digestibility organic matter, DOM) โดยมีค่า $R^2 = 0.96$

Khazaal *et al.* (1993) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแบบ In vitro gas production และ nylon bag technique กับค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ของตัวอย่างหญ้าชนิดต่างๆที่ระยะการตัดต่างๆ กัน เพื่อใช้ในการทำนาย In vivo digestibility และ ทำนายปริมาณการกินได้อย่างอิสระในแกะ พบ ว่า วิธีการแบบ nylon bag มีความสัมพันธ์กับการทำนายค่าปริมาณการกินได้ของอาหาร และ ค่าการ ย่อยได้ที่ปรากฏ (apparent digestibility) มากกว่าค่าที่ได้จากวิธีแบบ In vitro gas production ($R^2 = 0.89$ และ 0.78) นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าการเกิดแก๊สที่ 3-6 ชั่วโมง มีความสัมพันธ์กับค่าการย่อยได้ของวัตถุ แห้งที่ได้จากการทดลองกับสัตว์โดยตรง (*In vivo* digestibility)โดยมีค่า $R^2 = 0.84$ และ จะลดลง เมื่อ ถึงชั่วโมงที่ 24 ($R^2 = 0.58$) และ จะสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อถึงชั่วโมงที่ 96 ($R^2 = 0.78$) ในขณะที่ค่าการย่อยได้ แบบ *In vivo* หรือ nylon bag degradationในชั่วโมงที่ 6 มีความสัมพันธ์กับค่า *In vivo* digestibility มากที่สุด ($R^2 = 0.78$) และ ลดลงในชั่วโมงที่ 12 ($R^2 = 0.61$) หลังจากนั้น จะสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อถึงชั่วโมงที่ 24 ($R^2 = 0.72$) และ เพิ่มขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งชั่วโมงที่ 96 มีค่า $R^2 = 0.77$