บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 ประโยชน์และความสำคัญทางเศรษฐกิจของแกะ

แกะเป็นสัตว์เลี้ยงเก่าแก่ ตามข้อสันนิษฐานมนุษย์เริ่มเลี้ยงแกะครั้งแรกในบริเวณที่เรียกกันว่าทุ่งอาราโล-แคสเปี้ยน (Aralo-Caspian steppe) ปัจจุบันอยู่ในดินแดนของประเทศอิรัก และอิหร่าน จากจุดนี้การเลี้ยงแกะได้ขยายออกไปยังพื้นที่ต่างๆ คือทางทิศตะวันออกครอบคลุมประเทศอิหร่าน อินเดีย และเอเชียอาคเนย์ ทางทิศตะวันตกเข้าไปในทวีปยุโรป และอัฟริกา ซึ่งทวีปอัฟริกาเดิมไม่ปรากฏว่ามีแกะป่าอาศัยอยู่ ส่วนการเลี้ยงแกะในทวีปอเมริกา และออสเตรเลียเกิดจากการนำแกะจากยุโรปไปเลี้ยงภายหลังที่มีการค้นพบดินแดนทั้งสองแล้ว (บุญเสริม, 2547) การเลี้ยงแกะนั้นในแต่ละท้องที่ก็มีจุดมุ่งหมายในการเลี้ยงต่างกันไป เช่น บางพื้นที่เลี้ยงเพื่อต้องการหนัง ขน บางพื้นที่เลี้ยงเพื่อใช้เนื้อมาเป็นอาหาร เป็นต้น

ในอดีตกาลการเลี้ยงแกะในเขตอากาศร้อนมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อใช้บริโภคเนื้อ ส่วนการใช้ประโยชน์จากขน หนัง น้ำนม หรือนำมูลแกะมาเป็นปุ๋ยเป็นจุดมุ่งหมายรองๆ ลงไป แต่ปัจจุบันการเลี้ยงแกะในเขตอากาศร้อน มีจุดประสงค์เปลี่ยนแปลงไปในบางท้องที่ (บุญเสริม, 2547) กล่าวคือ มีการเลี้ยงเพื่อต้องการขน หนัง น้ำนม เป็นหลักมากกว่าการใช้เพื่อเป็นอาหาร

ในประเทศไทยเนื่องจากอดีตที่ผ่านมาแกะเป็นสัตว์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศน้อย ข้อมูลและสถิติเกี่ยวกับแกะจึงมีอยู่ค่อนข้างจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์เลี้ยงอื่นๆ ซึ่งเริ่มแรกการเลี้ยงแกะมีอยู่ในวงจำกัดแค่ทางภาคใต้ของประเทศ ต่อมาชาวมุสลิมทางภาคใต้มีการย้ายถิ่นฐานไปยังภาคต่างๆ ทำให้การเลี้ยงแกะเริ่มมีการเลี้ยงมากขึ้นในภาคต่างๆ ของประเทศตามลำดับ โดยการเลี้ยงเริ่มแรกเป็นการเลี้ยงแบบฝูงเล็กๆ หรือเลี้ยงหลังบ้าน 2-3 ตัวเท่านั้น ต่อมาพวกมิชชันนารี ร่วมมือกับโครงการหลวงทำการส่งเสริมชาวไทยภูเขาบนพื้นที่สูงให้เลี้ยงแกะ ทำให้การเลี้ยงแกะกระจายไปในพื้นที่สูงอีกด้วย (บุญเสริม, 2541)

ในประเทศไทยผลผลิตจากแกะยังไม่แพร่หลายมากนัก แต่มีแนวโน้มว่าการเลี้ยงแกะได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่ในช่วงที่ผ่านมานั้นการเลี้ยงแกะเริ่มลดลง ในปี 2550 จำนวนแกะในประเทศมี 50,963 ตัว ต่อมาในปี 2551 มีจำนวนลดลงเหลือ 43,738 ตัว และในปี 2552 มีจำนวนลดลงอีกเหลือเพียง 40,269 ตัวเท่านั้น อีกทั้งจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงก็ลดลงไปด้วย (ตาราง 2.1) แต่อย่างไรก็ตามในแต่ละปีประเทศไทยมีการนำเข้าเนื้อแกะและขนแกะคิดเป็นมูลค่าไม่น้อย โดยมักจะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นทุกปี ดังปรากฏในตารางที่ 2.2 อีกทั้งผลผลิตจากแกะที่กล่าวมายังมีราคา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่อนข้างแพง ดังนั้นหากมีการส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงแกะมากขึ้นก็จะช่วยให้ลดการนำเข้าเพิ่มดุลการค้าให้ประเทศไทยได้

ตาราง 2.1 จำนวนแกะ (ตัว) และจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะ (ครัวเรือน) ในประเทศไทย โดยแสดงเป็นรายภาค

ภาค	2550[1/]		2551[2/]		2552[3/]	
	แกะ	เกษตรกร	แกะ	เกษตรกร	แกะ	เกษตรกร
กลาง	20,984	414	18,659	333	17,237	302
ตะวันออกเฉียงเหนือ	2,945	259	2,717	208	855	37
เหนือ	6,714	130	5,882	120	5,419	274
ใต้	20,320	5,011	16,480	3,636	16,758	4,263
รวม	**50,963**	**5,814**	**43,738**	**4,297**	**40,269**	**4,876**

ที่มา: [1/] กรมปศุสัตว์ (2550) [2/] กรมปศุสัตว์ (2551) [/3] กรมปศุสัตว์ (2552)

ตาราง 2.2 การนำเข้าผลิตภัณฑ์จากแกะของประเทศไทย

รายการ	2550[1/]		2551[2/]	
	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)
เนื้อแกะ	761,852	99,189,505	747,440	126,943,194
หนังแกะ	66,791	28,819,212	208,406	50,431,289
ขนแกะ	5,010,084	1,223,538,416	4,046,230	947,526,329
เครื่องใน	14,020	15,080,044	15,796	20,339,373
รวม		**1,366,627,177**		**1,145,610,229**

ที่มา: [1/] กรมปศุสัตว์ (2550) [2/] กรมปศุสัตว์ (2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 ประวัติความเป็นมาและการผลิตกาแฟ

กาแฟ เป็นเครื่องดื่มที่นิยมกันทั่วโลก โดยประชากร ¼ ของโลกดื่มกาแฟเป็นประจำ มูลค่าการค้ากาแฟจึงมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของทั้งประเทศผู้ผลิต และผู้บริโภค ถือได้ว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญมากในบางประเทศเลยทีเดียว สายพันธุ์กาแฟเพื่อการค้าในโลกนี้มีอยู่ 4 สายพันธุ์หลัก คือ พันธุ์อาราบิก้า พันธุ์โรบัสต้า พันธุ์เอ็กซิล่า และพันธุ์เบอริก้า

ในประเทศไทยได้มีบันทึกการนำเข้ามาปลูกตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2493 แต่ไม่ได้ผลเนื่องจากประสบกับปัญหาจากพื้นที่ปลูกไม่เหมาะสม และปัญหาโรคราสนิม ต่อมาใน ปี พ.ศ. 2516-2525 โครงการหลวงภายใต้ชื่อโครงการปลูกพืชทดแทนและพัฒนาเศรษฐกิจชาวไทยภูเขา ไทย/สหประชาชาติ (ภายหลังได้เปลี่ยนชื่อเป็น โครงการปลูกพืชทดแทน และการตลาดบนที่สูง) ได้ทำการศึกษาทดลองพบว่า กาแฟเป็นพืชที่มีศักยภาพทดแทนการปลูกพืชเสพติด (ฝิ่น) หน่วยงานพัฒนาที่สูงต่างๆ จึงได้ส่งเสริมการปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิก้าบนพื้นที่สูงกันอย่างจริงจังมากขึ้น จนถึงระดับที่สามารถผลิตกาแฟที่มีคุณภาพออกสู่ตลาดผู้บริโภคกาแฟในประเทศได้ดังปัจจุบัน (พัชนี, 2544)

การแปรรูปผลผลิตกาแฟ มีความสำคัญต่อการผลิตสารกาแฟให้มีคุณภาพ และรสชาติเป็นที่ยอมรับของตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยการแปรรูปกาแฟมีด้วยกัน 2 วิธี ดังต่อไปนี้ (ปรัชญา, 2550)

การทำสารกาแฟโดยวิธีแห้ง (dry method หรือ natural method) เป็นวิธีการที่ดำเนินการโดยนำเอาผลกาแฟ (coffee cherry) ที่เก็บเกี่ยวมาจากต้นแล้วนำมาตากแดดประมาณ 15-20 วัน บนลานตากที่สะอาดและได้รับแสงแดดเต็มที่ เกลี่ยให้เสมอทั่วกันและหมั่นเกลี่ยบ่อยครั้ง เมื่อผลแห้งจะมีเสียงของเปลือกกับเมล็ดกระทบกัน จึงนำมาเข้าเครื่องสีกาแฟ (hulling) แล้วบรรจุในกระสอบที่สะอาด ข้อเสียของวิธีนี้คือ สารกาแฟที่ได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าการทำสารกาแฟโดยวิธีเปียก

การทำสารกาแฟโดยวิธีเปียก (wet method หรือ washed method) เป็นวิธีที่นิยมกันแพร่หลาย เพราะจะได้สารกาแฟที่มีคุณภาพ รสชาติดีกว่า ราคาสูงกว่าการทำสารกาแฟโดยวิธีแห้ง โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การปอกเปลือก (pulping) โดนนำผลกาแฟสุกที่เก็บเกี่ยวมาปอกเปลือกทันที
2. การกำจัดเมือก (demucilaging) เมล็ดกาแฟที่ปอกเปลือกออกแล้ว จะมีเมือกหุ้มเมล็ดอยู่ซึ่งจะต้องกำจัดออกไป ซึ่งมีวิธีการอยู่ 3 วิธี คือ การกำจัดเมือกโดยวิธีการหมักตามธรรมชาติ การกำจัดเมือกโดยการใช้ด่าง และการกำจัดเมือกโดยใช้แรงเสียดทาน
3. การตากหรือการทำแห้ง (drying) นำเมล็ดที่กำจัดเมือกออกแล้วล้างทำความสะอาดแล้วจึงนำไปตากแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. การบรรจุ (packing) เมล็ดที่ได้จะเก็บไว้ในรูปของกาแฟกะลา (parchment Coffee) เพราะจะสามารถรักษาเนื้อกาแฟ และป้องกันความชื้นในเมล็ดกาแฟได้ดี
5. การสีกาแฟกะลา (hulling) กาแฟกะลาที่สีออกมาด้วยเครื่องสีกะลา จะได้สารกาแฟ (green coffee) และกะลากาแฟออกมา

2.3 กะลาเมล็ดกาแฟ

ข้อมูลจากโรงงานกาแฟมูลนิธิโครงการหลวง บริเวณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระบุว่าผลกาแฟ 5 กิโลกรัม ผลิตกาแฟกะลาได้ 1 กิโลกรัม และการสีกาแฟกะลา 1 กิโลกรัม ได้กะลาเมล็ดกาแฟ 200 กรัม คิดเป็น 20% ของกาแฟกะลา ในโรงงานกาแฟดอยคำ บริเวณคณะเกษตรศาสตร์ ในแต่ละปีสามารถผลิตกาแฟกะลาได้ประมาณ 300 ตัน ได้กะลาเมล็ดกาแฟถึงปีละ 60 ตัน กะลาเมล็ดกาแฟยังไม่มีการศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกะลาเมล็ดกาแฟ ในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่ามีปริมาณโปรตีน (2.93%) และองค์ประกอบอื่นๆ มีคุณค่าทางโภชนะพอใช้ได้ แต่มีปริมาณของเยื่อใยต่างๆ อยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงดังตาราง 2.3 ทำให้มีแนวคิดการนำกะลาเมล็ดกาแฟซึ่งเป็นเศษเหลือของอุตสาหกรรมมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ แต่มีข้อจำกัดในการใช้ เนื่องจากกะลาเมล็ดกาแฟมีเยื่อใยอยู่สูงทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวได้ แต่ในสัตว์กระเพาะรวมมีแนวโน้มว่าน่าจะสามารถใช้ได้เพราะสัตว์กระเพาะรวมมีความสามารถในการใช้เยื่อใยให้เป็นประโยชน์ได้สูง

ตาราง 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของกะลาเมล็ดกาแฟ

ส่วนประกอบ	**(%DM)**
วัตถุแห้ง	93.49
โปรตีน	2.93
ไขมัน	1.5
NDF	92.43
ADF	74.64
เถ้า	0.9
ลิกนิน	20.8

ที่มา: จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

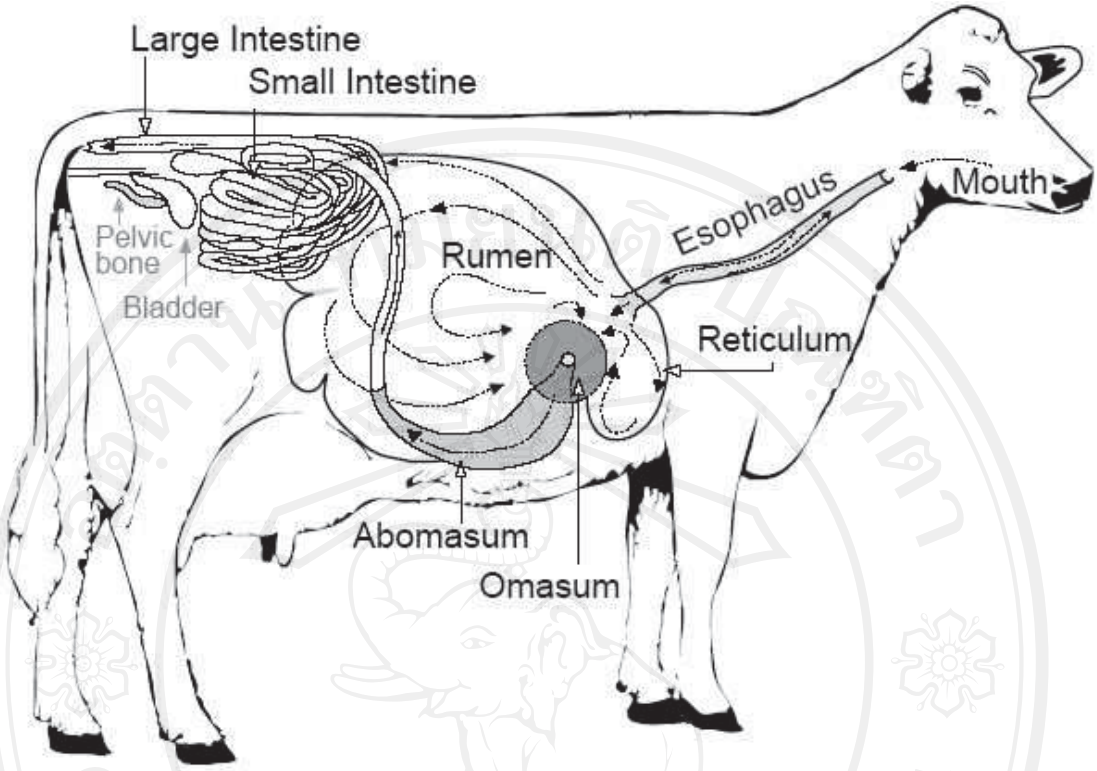
การย่อยอาหาร (digestion) หมายถึงขบวนการที่ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลงจนพอดีที่ร่างกายจะสามารถดูดซึมได้ (absorb) และนำไปใช้ประโยชน์ได้ (utilize) การย่อยอาหารในโคโดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในทางเดินอาหารแสดงในภาพ โดยที่อาหารแต่ละชนิดมีการย่อยได้ในทางเดินอาหารแต่ละส่วนไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการย่อยได้ของทางเดินอาหารในแต่ละส่วนนั้น เช่น อาหารที่มีส่วนประกอบของเยื่อใยสูงไม่สามารถถูกย่อยได้ที่กระเพาะแท้ (abomasum) และลำไส้เล็ก แต่จะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (rumen) ไส้ติ่ง (caecum) และลำไส้ใหญ่ (colon) โดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (เทอดชัย, 2542)

2.4.1 การย่อยอาหารภายในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

อาหารแต่ละชนิดนั้นมีการย่อยได้ในทางเดินอาหารแต่ละส่วนไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำย่อยที่สัตว์ขับออกมา ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ และธรรมชาติของอาหารนั้นๆ เช่น อาหารที่มีเยื่อใยสูงไม่สามารถย่อยได้ที่กระเพาะแท้และลำไส้เล็ก เพราะเอนไซม์จากตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยเยื่อใยได้ แต่จะสามารถย่อยได้บ้างที่กระเพาะรูเมน ไส้ติ่ง และลำไส้ใหญ่โดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์เกิดผลผลิตคือ (เทอดชัย, 2542)

1. กรดไขมันระเหยได้ (short chain fatty acid, SCFA หรือ volatile fatty acid, VFA)
2. โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein)
3. ก๊าซมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.1 แผนภาพแสดงทางเดินอาหารของโคนม
ที่มา : Wattiaux and Howard (no date)

2.4.2 การย่อยคาร์โบไฮเดรตภายในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

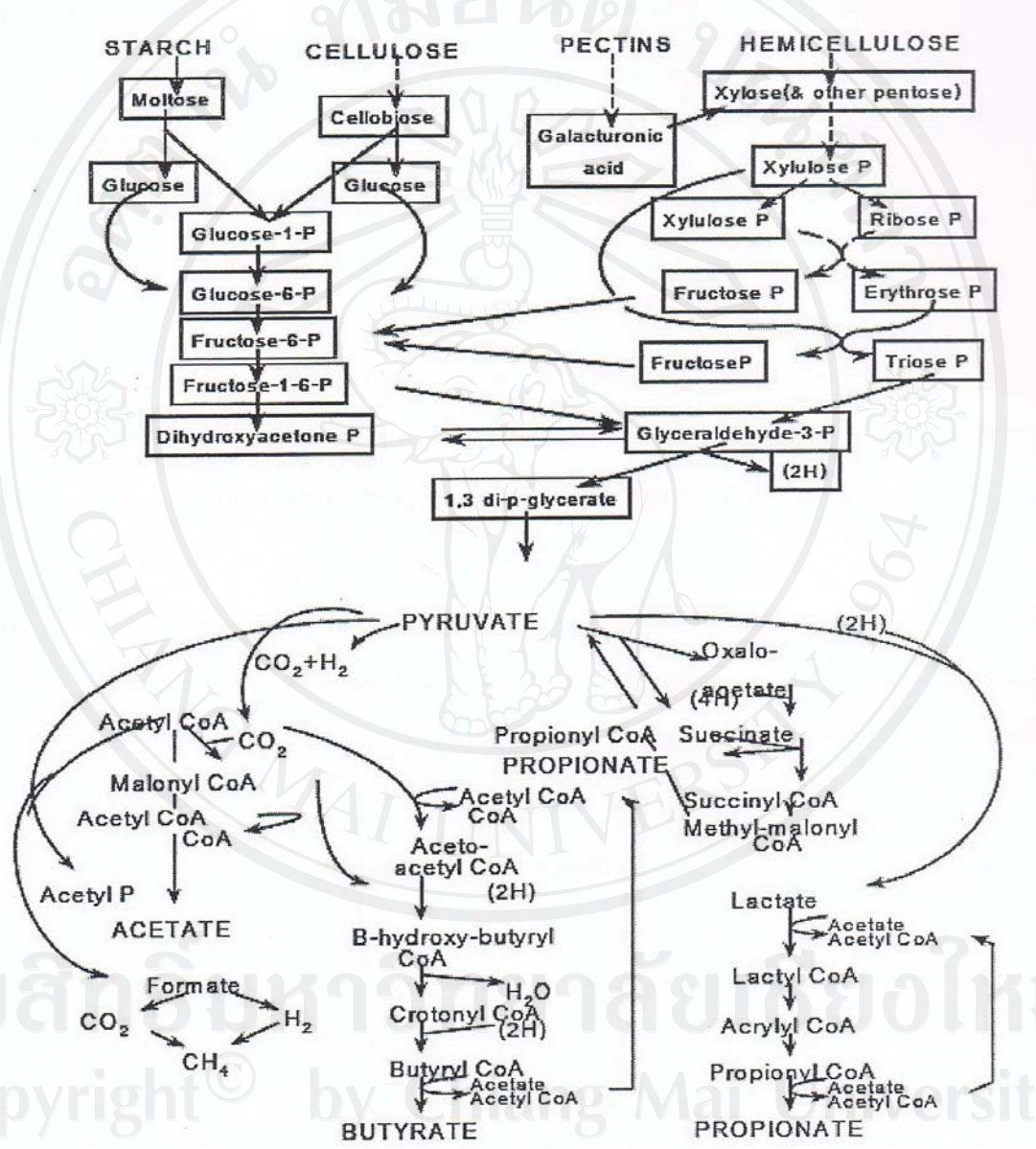
การย่อยอาหารที่เกิดขึ้นในกระเพาะหมักเกิดจากเอนไซม์ที่ผลิต โดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะส่วนนี้เท่านั้น เนื่องจากกระเพาะหมักในโคนั้นไม่มีการผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารแต่อย่างใด ขบวนการย่อยและเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมักแบ่งได้เป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้ (เทอดชัย, 2542)

1. การย่อย polysaccharide ให้เป็น monosaccharide
2. การเปลี่ยน monosaccharide ให้เป็น pyruvate
3. การเปลี่ยนไพรูเวท (pyruvate) ให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid)
4. การสังเคราะห์มีเทน (methane, CH_4)

การย่อยแป้งในกระเพาะหมักเกิดขึ้นโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ เช่น พวกแบคทีเรียและโปรโตซัว ได้ผลผลิตคือน้ำตาล (glucose) ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที จึงพบน้ำตาลพวกนี้เป็นจำนวนน้อยในกระเพาะหมัก ผลจากการเมตาบอลิซึมน้ำตาล จุลินทรีย์จะให้ผลผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นกรดไขมันระเหยได้ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ส่วนความเข้มข้นและสัดส่วนของกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและระยะเวลาในการกินอาหารของโค



ภาพ 2.2 การย่อยคาร์โบไฮเดรตภายในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ที่มา : Preston and Leng (1987)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตภายในกระเพาะรูเมน (เทอดชัย, 2542)

1. ชนิดและส่วนประกอบของธัญพืชในอาหารข้นที่โคได้รับ
2. อายุความแก่อ่อนของแป้งในธัญพืช
3. อัตราส่วนของธัญพืชในอาหารข้นที่โคได้รับ
4. ปริมาณอาหารข้นที่โคได้รับที่มีผลต่ออัตราการไหลผ่าน (rate of passage)
5. กรรมวิธีในการแปรรูปอาหาร วัตถุดิบหรือธัญพืชที่นำมาใช้ในการเลี้ยงโค

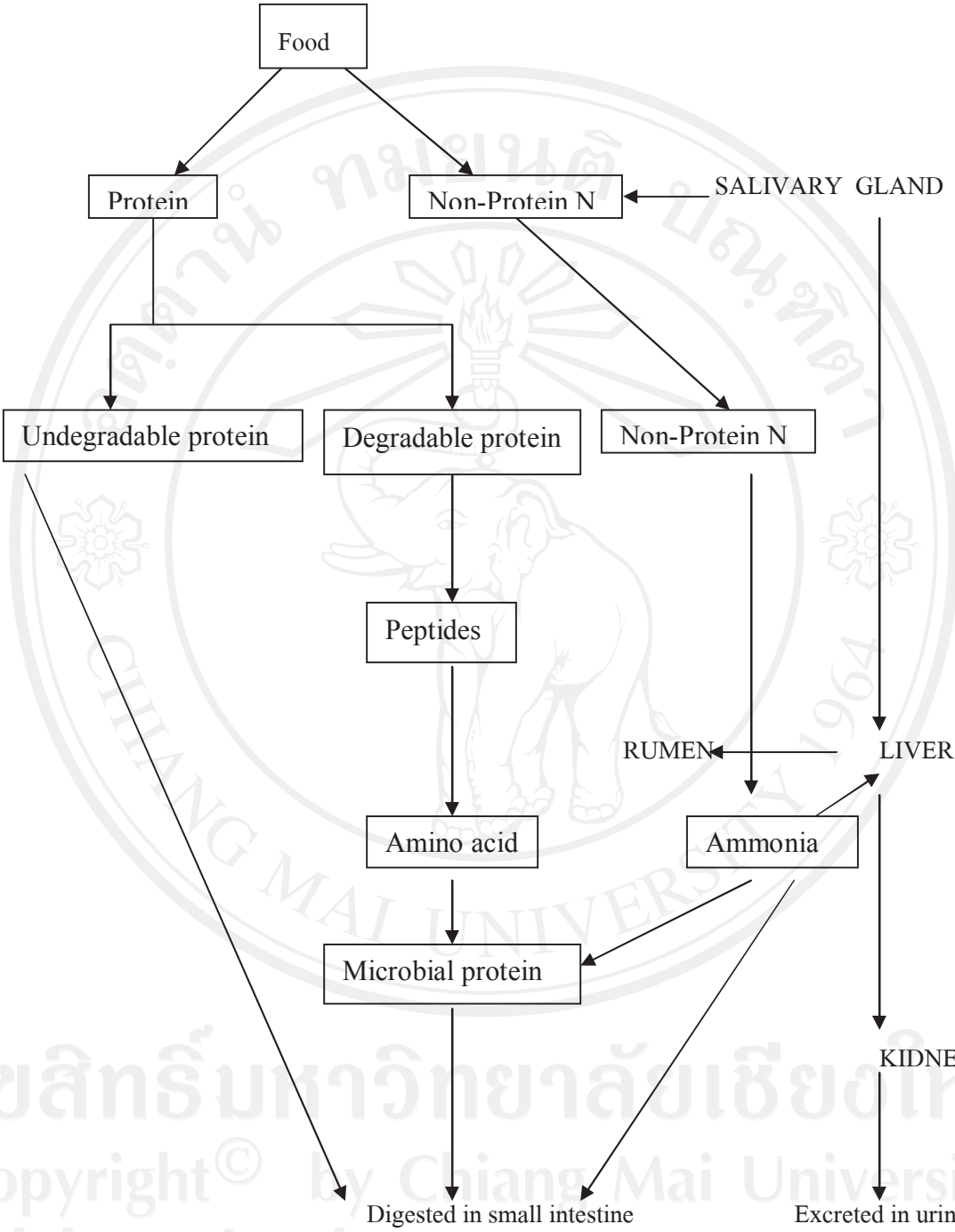
2.4.4 การย่อยสลายโปรตีนภายในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การสลายตัวของโปรตีน แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้คือ

1. ขบวนการ Proteolysis ทำการแยกรอยต่อของโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธี hydrolysis ตรง peptide bond ทำให้ได้ peptide และกรดอะมิโนบางส่วนออกมา
2. ขบวนการสลายตัวของกรดอะมิโน โดยขบวนการ deamination และผลิตกรดอินทรีย์ และแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป (เทอดชัย, 2542)

การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก คือ อาหารประเภทโปรตีนประกอบไปด้วยโปรตีนแท้ (true protein) และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) โปรตีนแท้บางส่วนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เรียกโปรตีนเหล่านี้ว่า rumen degradable protein (RDP) ซึ่งจะถูกย่อยเป็นเปปไทด์ และกรดอะมิโน แต่กรดอะมิโนบางชนิดบางส่วนจะถูกย่อยต่อไปเป็นกรดอินทรีย์ แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแอมโมเนียที่เกิดขึ้น เปปไทด์ขนาดเล็กและกรดอะมิโนอิสระจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์สังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ (microbial protein) และโปรตีนบางส่วนที่ทนทานต่อการย่อยจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักทำให้ไม่ถูกย่อยและเคลื่อนที่ผ่านไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก เรียกโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยเหล่านี้ว่า rumen undegradable protein (RUP) ส่วนไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) เมื่อเข้าไปในกระเพาะหมักจะแตกตัวเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ ซึ่งระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักสามารถวัดได้โดยวิธี Conway method (Voigt and Steger, 1967) หรือโดยวิธีการกลั่น และระดับแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์จะอยู่ในช่วง 3-8 mg/100ml (Satter and Roffler, 1975) เมื่อเซลล์ของจุลินทรีย์และโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักเคลื่อนที่ไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็กจะถูกเอนไซม์ในทางเดินอาหารย่อย และดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อไป (McDonald *et al*., 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.3 ขบวนการย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมน

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

กิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นจะแตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม pH ภายในกระเพาะหมักอาจมีอิทธิพลมากกว่าโดย pH ที่เหมาะสมต่อการเข้าสลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนของจุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 6-7 ซึ่งสามารถวัดได้โดยการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมัก (rumen fluid) ในส่วนล่างของกระเพาะ (ventral sac) มาวัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดแบบ pH scan BNC^{TM} ซึ่งมีค่าความถูกต้อง $\pm$0.1 และกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนของจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์จากแอมโมเนีย ส่วนอีก 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้กรดอะมิโนโดยตรง ประมาณ 59 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนจากอาหารจะถูกสลายในกระเพาะหมัก ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกย่อย 29 เปอร์เซ็นต์จะถูกนำไปใช้ในรูปของกรดอะมิโน อีก 71 เปอร์เซ็นต์ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนีย อย่างไรก็ตามเรื่องนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของอาหารโปรตีนแต่ละชนิด (เมธา, 2533)

2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนภายในกระเพาะรูเมน

1. ความสามารถในการสลายโปรตีน (protein solubility) โดยโปรตีนที่สลายได้มากมีโอกาสที่จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้มาก

2. วิธีการให้อาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมัก ถ้าโคได้รับอาหารในปริมาณที่มากระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาหมัก (retention time) ก็จะลดลงมีผลทำให้อาหารเคลื่อนที่ไปยังทางเดินอาหารส่วนอื่นๆ (rate of passage) เร็วขึ้น จุลินทรีย์มีโอกาสสลายโปรตีนได้ลดลงทำให้โปรตีนรอดพ้นจากการย่อยสลายจากจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดของชิ้นอาหารก็มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่อาหารจะคงอยู่ในกระเพาะหมักโดยอาหารที่มีขนาดใหญ่หรืออาหารที่ไม่ได้สับให้เล็กจะมีระยะเวลาที่อาหารจะคงอยู่ในกระเพาะหมักมากกว่าอาหารที่มีขนาดเล็ก

3. ปัจจัยจากตัวสัตว์ สำหรับสัตว์ชนิดต่างๆ กัน เช่น โค และแกะ โดยโคนมจะมีค่า retention time สูงกว่าแกะ (1.73-3.7 วัน กับ 0.8-2.2 วัน) เมื่อมี retention time สูง โอกาสที่โคจะเคี้ยวเอื้องก็มีสูงกว่าแกะ และทำให้ชิ้นอาหารมีขนาดเล็กกว่าจึงเป็นการเพิ่มโอกาสที่จุลินทรีย์จะเข้าทำการย่อยสลายอาหารได้มากขึ้นด้วย (เทอดชัย, 2542)

2.5 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในตัวสัตว์ (*In vivo* digestibility) โดยวิธีการแบบดั้งเดิม (Conventional method)

การหาค่าการย่อยได้โดยทดลองกับสัตว์โดยตรงแบบ Conventional method เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานาน โดยศึกษาในสัตว์ทดลองที่มีอายุ ขนาด และน้ำหนักใกล้เคียงกัน ไม่ตื่นตกใจง่าย ควรใช้สัตว์ทดลองมากกว่า 1 ตัว ทั้งนี้แม้ว่าจะเป็นสัตว์ชนิดเดียวกัน อายุ และเพศเดียวกัน ก็อาจมีความสามารถในการย่อยได้แตกต่างกัน การมีจำนวนซ้ำมากจะทำให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำมากขึ้น ยิ่งมีสัตว์ทดลองมากเท่าไหร่ก็จะยิ่งให้ผลที่น่าเชื่อถือมากขึ้นเท่านั้น แต่อาจทำให้สิ้นเปลืองแรงงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และค่าใช้จ่ายมาก แต่อย่างไรก็ตามควรใช้สัตว์ทดลองอย่างน้อย 4 ตัว (บุญล้อม, 2540) วิธีการศึกษาการย่อยได้แบบนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ คือ

1. ระยะก่อนการทดลอง (preliminary period) เป็นช่วงเวลาที่ให้สัตว์ และจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนได้ปรับตัวให้เข้ากับอาหารที่ศึกษา และเพื่อขับอาหารเดิมที่สัตว์ได้รับออกจากทางเดินอาหารให้หมด โดยจะให้สัตว์กินอาหารอย่างเต็มที่เพื่อวัดปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้ หลังจากนั้นจะให้สัตว์กินอาหารลดลงเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่สัตว์กินได้ สำหรับระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 10-14 วัน
2. ระยะทดลองจริง (collection period) เป็นช่วงเวลาสำหรับเก็บข้อมูล และบันทึกปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้ และมูลที่ขับออกมา โดยวิธีการสุ่ม และเก็บตัวอย่างที่สุ่มมา 5-10 เปอร์เซ็นต์ ไว้เพื่อการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อนำไปคำนวณค่าการย่อยได้ต่อไป โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 7-10 วัน หากมีการจำกัดอาหารที่ให้ (restricted feeding) และ 10-14 วันหากมีการให้อาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*)

หลังจากเสร็จขั้นตอนการเก็บตัวอย่างในช่วง collection period แล้ว นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโภชนะที่มีในอาหารที่ศึกษา และในมูลที่สัตว์ทดลองขับออกมา เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณสัมประสิทธิ์การย่อยได้จากสมการ (บุญล้อม, 2540)

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

การศึกษาการย่อยได้ในตัวสัตว์โดยวิธีนี้จำเป็นต้องทราบปริมาณอาหารที่กิน และมูลที่ขับออกมาที่แน่นอน ดังนั้นจึงควรเก็บตัวอย่างอาหาร และมูลทั้งหมดไม่ให้สูญหาย รวมทั้งบันทึกปริมาณทุกวันตลอดช่วงเก็บตัวอย่าง

2.6 การหาการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารโดยวิธีเทคนิคถุงไนลอน

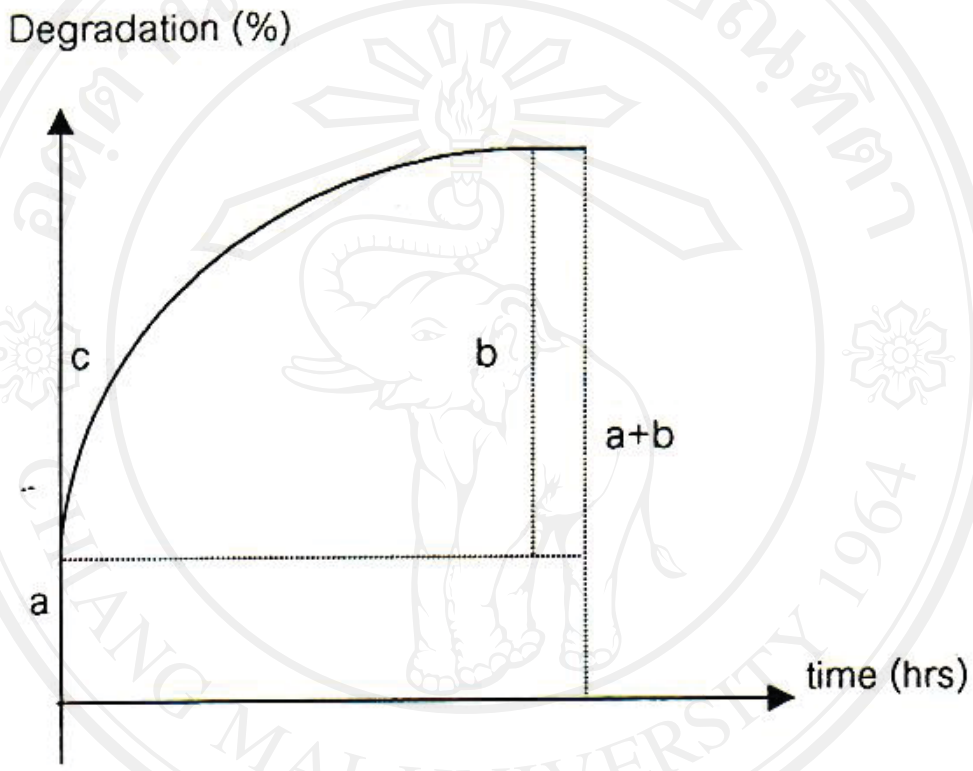
อาหารเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมน ส่วนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงคือส่วนที่ย่อยสลายได้ (degradable substance) ซึ่งจะแบ่งออกได้อีก 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่ละลายได้ (soluble material) คือส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ทันทีเมื่ออาหารตกสู่กระเพาะรูเมน ส่วนนี้ในการหาค่าด้วยวิธีใช้ถุงไนลอน มักใช้สัญลักษณ์ a
2. ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถหมักย่อยได้ (insoluble fermentable material)

ในการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะรูเมน อาหารบางชนิดโดยเฉพาะอาหารหยาบอาจมีส่วนที่ละลายได้ (a) น้อยมากหรือไม่มีเลยซึ่งค่า a อาจเป็น 0 หากอาหารนั้นถูกย่อยสลายได้ทันที ค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

degradation จะเริ่มต้นที่ชั่วโมงที่ 0 โดยมากอาหารที่มีส่วนละลายได้ (a>0) จุลินทรีย์จะไม่ต้องใช้เวลารอการเข้าย่อย (lag phase, L=0) หลังจากนั้นส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถหมักย่อยได้ จะถูกย่อยสลายต่อไปจนถึงระดับ b ดังนั้นค่าการย่อยสลายสูงสุดของอาหารคือ a+b โดยมีอัตราการย่อยสลายคือค่า c (Ørskov, 1992) อ้างโดย (เสาวลักษณ์, 2542) ดังแสดงในภาพ 2.4



ภาพ 2.4 การย่อยสลายอาหารในกระเพาะรูเมน
ที่มา: Ørskov (1992) อ้างโดย เสาวลักษณ์ (2542)

การเตรียมตัวอย่างอาหารทั้งจำพวกธัญพืชและอาหารหยาบ ควรบดตัวอย่างแห้งผ่านตะแกรงขนาด 2–3 มม. ส่วนอาหารหมัก ใช้เครื่องบดแบบเกลียว บดให้มีขนาด 5 มม. น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ คือ อาหารหยาบใช้ประมาณ 3 กรัม และ อาหารข้นใช้ประมาณ 5 กรัม บรรจุในถุงไนลอนที่มีขนาด pore size 40-60 μm และถุงมีขนาด 140x90 ม.ม. สำหรับระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่ถุงไนลอนในกระเพาะรูเมน เพื่ออธิบายอัตราการย่อยสลายที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของ degradation curve ที่จะเกิดขึ้น จึงไม่สามารถระบุช่วงเวลาที่เหมาะสมได้แน่ชัด ควรขึ้นอยู่กับประเภทของอาหารดังนี้

1. อาหารโปรตีน (อาหารข้น) ระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 2, 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง
2. อาหารหยาบ ระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง (Ørskov,1985)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการวัดผลการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน เนื่องจากรูปแบบการสลายตัวมีลักษณะเป็นเส้นโค้งในลักษณะของสมการ exponential โดยมีการสลายตัวค่อนข้างมากในระยะต้น และลดลงในระยะกลาง จนมีอัตราการสลายตัวคงที่ในระยะปลาย การวัดการสลายตัวของอาหารจึงใช้ระยะเวลาที่อินทรีย์วัตถุในอาหารมีการสลายตัวไปแล้วจนเกือบหมด โดยเฉพาะการวัดการย่อยสลายของโปรตีน จะใช้ระยะเวลาที่อัตราการย่อยสลายคงที่ ซึ่งคาดว่าอินทรีย์สารในอาหารมีการย่อยสลายมากกว่า 90% (Ørskov, 1988) ซึ่ง Ørskov *et al.* (1988) ได้สร้างโปรแกรม NEWAY เพื่อใช้ในการประมาณการย่อยสลายของอาหาร และหา fit curve เพื่อใช้ประมาณค่าส่วนละลายได้ (A) ส่วนที่ไม่ละลายแต่สลายตัวได้ (B) อัตราการย่อยสลาย (C) และเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายที่อัตราการไหลผ่านต่างๆกัน โดยโปรแกรม NEWAY มีสมการ

$$P = A + B\,(1-e^{-ct})$$

เมื่อ P = โภชนะที่หายไปที่เวลา t (degradation at time t)

A = ส่วนที่ละลายได้ (immediately soluble material)

B = ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถหมักย่อยได้ (insoluble fermentable material)

C = อัตราการย่อยสลาย (degradation rate)

1 = ระยะเวลาที่รอให้จุลินทรีย์เข้าสัมผัสอาหาร และทำการย่อยสลาย (lag phase)

e = log ฐาน 10

c = อัตราการย่อยสลาย (degradation rate)

t = ช่วงระยะเวลาต่างๆ

เนื่องจากการสลายตัวของอาหารขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่าน (outflow rate, k) ซึ่งอาหารแต่ละชนิดมี k แตกต่างกัน โดยอาหารข้น หรือวัตถุดิบอาหารข้น จะมีขนาดชิ้นเล็กหรือละเอียด จึงใช้ค่า k น้อยในการประมาณการย่อยสลาย ในขณะที่อาหารหยาบจะตกอยู่ในกระเพาะนานและมีอัตราการไหลผ่านต่ำจึงใช้ค่า k มากกว่าในการประมาณ อนึ่งข้อมูลของค่า k ในอาหารหยาบชนิดต่างๆมีจำกัดในปัจจุบันและมีความยุ่งยากในการหา เพราะอาหารหยาบแต่ละชนิดมี lag phase ต่างกัน

Ørskov *et al.* (1988) ได้รายงานว่าค่า A, B และ c ที่คำนวณได้จากสมการโดยวิธีการใช้ถุงไนลอน มีความสัมพันธ์กับปริมาณวัตถุแห้งที่สัตว์กินได้ (DMI) วัตถุแห้งที่ย่อยได้ (DMD) ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ (DDMI) และอัตราการเจริญเติบโตในเกณฑ์ที่สูง (R^2 = 0.88 0.99 และ 0.95 ตามลำดับ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Shem *et al.* (1995) ได้สร้างสมการสำหรับทำนายค่าวัตถุแห้งที่กินได้ (dry matter intake, DMI) ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ (digestibility dry matter intake, DDMI) และอัตราการเจริญเติบโต (growth rate) จากลักษณะของการสลายตัวของอาหารหยาบเขตร้อน ซึ่งพบว่า ค่าสหสัมพันธ์ของการใช้ค่าพารามิเตอร์ A, B และ c ในสมการ multiple regression กับค่า DMI, DDMI, อัตราการเจริญเติบโต และค่าดัชนีบ่งชี้ มีค่าสูง ทั้งนี้สมการที่ได้เสนอไว้คือ

DMI (kg/day) = -8.286 + 0.266A + 0.102B + 17.696c (r = 0.09)

DDMI (kg/day) = -7.609 + 0.219A + 0.080B + 24.191c (r = 0.93)

Growth rate (g/day) = -0.649 + 0.017A + 0.006B + 3.870c (r = 0.93)

Index value = A + 0.38B + 66.5c

2.7 การประเมินค่าการย่อยได้ และพลังงานโดยวิธีวัดปริมาณแก๊ส (gas production technique)

วิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่าเมื่ออาหารถูกหมักย่อย (Incubate) ในกระเพาะรูเมนจะได้ผลผลิต คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) และกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acids, VFA) ซึ่งมีสหสัมพันธ์กับการย่อยได้ของอาหารในสัตว์กระเพาะรวม Beuvink and Kogut (1993) ได้อธิบายถึงลักษณะการเกิดแก๊สในแต่ละช่วงเวลา โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังต่อไปนี้

1. initial phase ระยะนี้เป็นระยะที่แก๊สเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากอาหารส่วนที่ไม่ละลายในทันที แต่จะถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายอย่างช้าๆ ด้วยกรับวนการ hydration และ colonization
2. exponential phase แก๊สจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะนี้ เนื่องจากอาหารส่วนที่ละลายได้จะเกิดกระบวนการหมักย่อยทันที และเกิดแก๊สอย่างรวดเร็ว
3. asymptotic phase เป็นระยะซึ่งอาหารส่วนที่ไม่ละลายทันทีจะถูกหมักย่อย แต่จะหมักย่อยได้น้อย และกระบวนการเกิดขึ้นอย่างช้าๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Menke *et al.* (1979) ได้ทำการศึกษากับอาหารกว่า 200 ชนิด โดยหาการย่อยได้แบบ *in vitro* และวัดพลังงานใช้ประโยชน์ (metabolizable energy, ME) แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าวกับปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในหลอดทดลอง พบว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นกับปริมาณอาหารที่ย่อยได้มีความสัมพันธ์กันสูง จึงได้สร้างสมการ regression เพื่อนำปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นไปทำนายค่าการย่อยได้ และพลังงาน

Menke and Steingass (1988) ได้พัฒนาการวิธีการ *in vitro* gas production technique ขึ้นมาโดยยึดหลักการเดียวกับวิธีการที่เสนอโดย Tilley and Terry (1963) แต่ทั้งนี้มีความแตกต่างใน

รายละเอียดคือ เป็นการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากการบ่มอาหารตัวอย่างแทนทีการวัดปริมาณวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุที่หายไป โดยนำค่าแก๊สที่วัดได้มาทำนายค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (organic matter digestibility, OMD) พลังงานใช้ประโยชน์ (metabolizable energy, ME) และพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (net energy of lactation, NE_L) วิธีการนี้สามารถทำได้สะดวกรวดเร็ว สามารถทำได้ทีละหลายๆ ตัวอย่าง และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษามากกว่า สำหรับสมการที่ใช้ในการทำนายค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้นั้น คือ

สำหรับอาหารหยาบ

$$OMD\ (\%) = 15.38 + 0.8453GP + 0.0595XP + 0.0675XA \qquad (r = 0.91)$$

$$ME\ (MJ/kg) = 2.20 + 0.1357GP + 0.0057XP + 0.0002859(XP)^2 \qquad (r = 0.94)$$

$$NE_L\ (MJ/kg) = 0.54 + 0.0959GP + 0.0038XP + 0.0001733(XP)^2 \qquad (r = 0.93)$$

สำหรับอาหารข้น

$$OMD\ (\%) = 9.00 + 0.9991GP + 0.595XP + 0.018XA \qquad (r = 0.91)$$

$$ME\ (MJ/kg) = 1.06 + 0.157GP + 0.0084XP + 0.022XL + 0.0081XA \qquad (r = 0.94)$$

$$NE_L\ (MJ/kg) = 0.36 + 0.1149GP + 0.0054XP + 0.0139XL + 0.0054XA \qquad (r = 0.93)$$

เมื่อ GP = ปริมาณแก๊ส (มิลลิลิตร) ที่เกิดเมื่อ incubated 24 ชั่วโมง

XP = ปริมาณโปรตีน (g/kg DM)

XL = ปริมาณไขมัน (g/kg DM)

XA = ปริมาณเถ้า (g/kg DM)

ต่อมา Blümmel and Ørskov (1993) ได้ปรับปรุงวิธีการหาค่าการย่อยได้โดยวิธีการวัดแก๊สด้วยการนำค่าแก๊สที่อ่านได้ที่ช่วงเวลาต่างๆ ใน 24 ชั่วโมงมา plot graph แล้วสร้างสมการ exponential; $P = A + B\ (1-e^{-ct})$ เพื่อนำมาอธิบายค่าการย่อยได้ที่เกิดจากกระบวนการหมัก และยังพบว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นทั้งหมด (a+b) มีความสัมพันธ์กับปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (DMI) วัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ (DDMI) และอัตราการเจริญเติบโต (growth rate) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (R^2) เท่ากับ 0.88, 0.93 และ 0.95 ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่เสนอโดย Shem *et al.* (1995)

$$DMI\ (kg/day) = 1.529 + 0.45a + 0.0324b \qquad (r = 0.88)$$

$$DDMI\ (kg/day) = 0.933 + 0.301a + 0.0496b \qquad (r = 0.93)$$

$$Growth\ rate\ (g/day) = --391 + 112.5a + 6.37b \qquad (r = 0.95)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved