บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 กระบวนการผลิตเบียร์และอุตสาหกรรมเบียร์ในประเทศไทย

พระยาภิรมย์ภักดี (บุญรอด เศรษฐบุตร) เป็นผู้ริเริ่มการผลิตเบียร์เป็นอุตสาหกรรมครั้งแรกในประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2473 และตั้งบริษัทบุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด ผลิตเบียร์ออกจำหน่ายครั้งแรกในปี 2477 (ยิ่งศักดิ์, 2506) ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตเบียร์เพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ในปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานผลิตเบียร์เพิ่มมากขึ้นและมีการกระจายอยู่ทั่วไปในแต่ละภาค เช่น ภาคกลางที่กรุงเทพ ปทุมธานี และพระนครศรีอยุธยา ภาคเหนือที่จังหวัดกำแพงเพชร และภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดขอนแก่น มี 6 บริษัท ได้แก่ บริษัทบุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด บริษัทไทยอมฤตบริวเวอรี่ จำกัด บริษัทเบียร์ไทย (1991) จำกัด บริษัทไทยเอเซียแปซิฟิกบริวเวอรี่ จำกัด บริษัทขอนแก่นบริวเวอรี่ จำกัด และคาร์ลสเบอร์กบริวเวอรี่ (ประเทศไทย) จำกัด ทำให้มีผลพลอยได้จากการผลิตเบียร์เพิ่มมากขึ้น โดยในปี 2547 ทั้ง 6 บริษัทสามารถที่จะผลิตเบียร์ได้ถึง 1,631 ล้านลิตรต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง, 2547)

กากข้าวมอลต์ (Malt residue) หรือ กากเบียร์ (Brewer's grain) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเบียร์ หลังจากเอาแป้งและน้ำตาลส่วนใหญ่ออกจากข้าวมอลต์ โดย malting process (Cullison, 1979; Gohl, 1978) ส่วนที่เหลือเรียกว่า กากเบียร์ หรือกากข้าวมอลต์

วัตถุดิบในการทำเบียร์ ที่ใช้ในการผลิตมี 4 ชนิดคือ

1. ข้าวมอลต์ (Malt) ที่ได้จากการนำข้าวบาร์เลย์ (Barley) และหรือเมล็ดธัญพืชอื่นมาผ่านกระบวนการ malting process โดยขั้นแรกจะนำเมล็ดไปแช่น้ำอุ่น 2 – 3 วัน เพื่อทำให้เมล็ดงอก (Gohl, 1978) ขั้นที่สองนำไปเพาะให้งอกในสภาพที่ควบคุมได้ นาน 4 วัน ในระหว่างที่เมล็ดกำลังงอกนี้มีการเติม α – amylase เพื่อเร่งปฏิกิริยาใน malt grains และ β- amylase เพื่อเร่งปฏิกิริยาใน unmalt grain ทำให้เมล็ดข้าวบาเลย์เกิดกลิ่น รส รวมทั้งคุณสมบัติอื่นๆที่เหมาะสม หลังจากนั้นนำเมล็ดไปอบแห้งเพื่อหยุดการเจริญของเมล็ด ซึ่งมีคุณสมบัติของ malt ตามต้องการ ในบางแห่งหลังจากที่เมล็ดข้าวบาเลย์งอกจนรากยาวประมาณ 2 เซนติเมตร จะแยกเอาส่วนของรากออกมาก่อน ส่วนนี้เรียกว่า รากข้าวมอลต์ (malt culms หรือ malt sprouts) นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้เช่นเดียวกัน

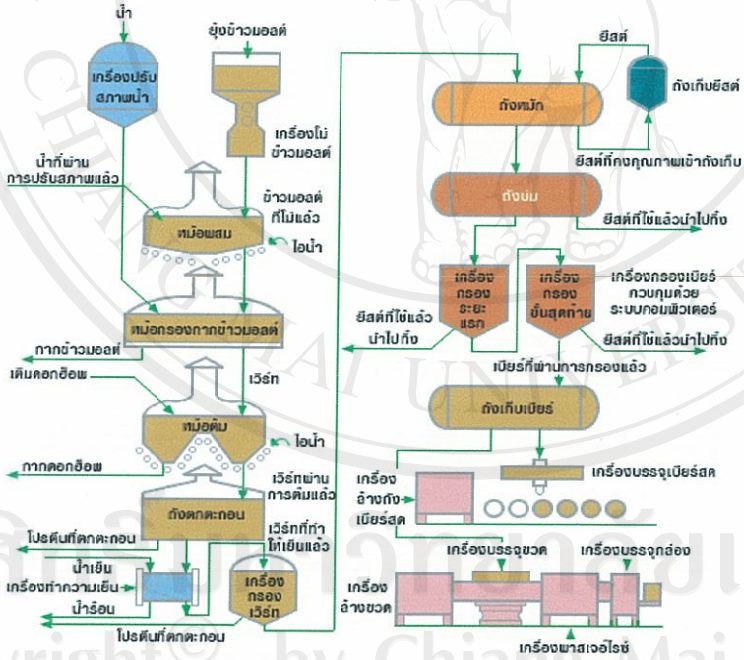
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ดอกฮอปส์ (Hops) ใส่เพื่อให้เกิดกลิ่นเฉพาะและรสขมที่มีอยู่ในเบียร์

3. น้ำ (Water) ต้องมีคุณสมบัติเหมาะสม มีเกลือแร่ต่างๆในสัดส่วนเหมาะสม

4. เชื้อยีสต์ (Yeast) ใช้ในการหมักเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นอัลกอฮอล์ โดยทั่วไปจะเป็นชนิด *Saccaromyces cerevisiae* หรือ *Saccaromyces carlsburgensis*

กระบวนการผลิตเบียร์มีขั้นตอนดังแสดงในภาพ 1 การผลิตเบียร์เริ่มจากการนำข้าวมอลต์มาบดให้เมล็ดแตกและนำไปใส่ในน้ำ ลงไปในถังผสมที่ใช้ในการผลิตเบียร์ เมื่อผสมข้าวมอลต์และน้ำลงไปในถังผสมแล้วจึงปรับอุณหภูมิให้ความร้อนที่เหมาะสม เพื่อให้เอนไซม์ที่มีอยู่ในข้าวมอลต์เปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลมอลต์โตส (Maltose) หลังจากนั้นจึงแยกเอาของเหลวออกจากกากข้าว ของเหลวดังกล่าวเรียกว่า เวิร์ท (Wort) ซึ่งจะมีความหวานของน้ำตาลอยู่ จากนั้นจึงต้มเวิร์ทให้เดือดพร้อมทั้งใส่ดอกฮอปส์ เมื่อต้มเวิร์ทจนได้ที่แล้วจะปล่อยให้ตกตะกอนก่อนหลังจากนั้นจึงทำให้เย็นลงพร้อมทั้งใส่ยีสต์และเติมลมเพื่อการเจริญเติบโตของยีสต์ แล้วนำไปหมักในถังหมัก อุณหภูมิของการหมักขึ้นอยู่กับชนิดของเบียร์ และชนิดของยีสต์ที่ใช้ การหมักจะใช้เวลาประมาณ 5 วันสำหรับท็อปยีสต์ ส่วนบ็อททิมยีสต์ใช้เวลา 7 – 10 วัน



ภาพ 1 กระบวนการผลิตเบียร์

ที่มา : Boonrawd Co. (2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการหมักแล้วจึงแยกยีสต์ออก เบียร์ที่ได้ในช่วงนี้เรียกว่า กรีนเบียร์ (Green beer) หรือยังเบียร์ (Young beer) ซึ่งจะต้องนำไปบ่มเก็บต่ออีกระยะหนึ่ง โดยการควบคุมความเย็นและแรงดันภายในถังบ่มเพื่อให้เบียร์ใสขึ้น และมีรสชาติที่กลมกล่อม หลังจากนั้นจึงนำไปกรองแยกเอาตะกอนแขวนลอยและยีสต์ที่ตกค้างออกจึงจะได้เบียร์ที่ใสและพร้อมดื่ม (เฉลิมชัย, 2527) สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง (2547) รายงานว่าแต่ละปีในประเทศไทยมีกากข้าวมอลต์เหลือจากโรงงานผลิตเบียร์ต่างๆเป็นจำนวนมาก ดังแสดงในตาราง 1 พบว่า ปริมาณเบียร์ที่ผลิตได้ในประเทศในปี พ.ศ. 2547 เท่ากับ 1,631 ล้านลิตร ซึ่งในการผลิตเบียร์ 1 ลิตรจะมีกากข้าวมอลต์เป็นผลพลอยได้อยู่ประมาณ 100 กรัม หรือเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเบียร์ที่ผลิต (Cullison, 1979) ดังนั้นเมื่อปี พ.ศ. 2547 ที่ผ่านมาจึงมีกากข้าวมอลต์จากโรงงานที่ผลิตเบียร์ประมาณ 163,100 ตัน ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ถ้าหากไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์หรือการกำจัดที่ถูกต้อง

ตาราง 1 ปริมาณเบียร์ที่ผลิตได้ในประเทศไทยปี พ.ศ. 2544 – 2547

ปี	ปริมาณเบียร์ (ล้านลิตร)	ปริมาณกากข้าวมอลต์ (ตัน)
2544	1,238	123,800
2545	1,275	127,500
2546	1,602	160,200
2547	1,631	163,100

ที่มา : ดัดแปลงจากสำนักงานเศรษฐกิจการคลัง, 2547

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกากข้าวมอลต์

กากข้าวมอลต์ที่ได้ในครั้งแรกจะมีลักษณะเปียก เรียกว่า กากข้าวมอลต์สด (Wet malt residue) มีส่วนประกอบทางเคมี คือ ความชื้น 76.30 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนหยาบ 5.70 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.60 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยหยาบ 3.60 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 1.00 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนฟรีเอ็กแทรกซ์ 11.80 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.07 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 0.12 เปอร์เซ็นต์ (Boonrawd Co., 2000) การผลิตเบียร์แต่ละท้องที่ จะมีการใช้วัตถุดิบและกรรมวิธีแตกต่างกันไปซึ่งมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของกากข้าวมอลต์ แต่ละแห่งที่ไม่เหมือนกัน กากที่เหลือหลังจากเอาส่วน wort ออกไปแล้วนำกากไปอบแห้งกากส่วนนี้จะมีข้าวโพดหรือข้าวปนอยู่ กากในสภาพสดจะมีน้ำประกอบอยู่ 70 – 75 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งจะมีความชื้น 8 – 10 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนหยาบ 25 – 27 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2 องค์ประกอบทางเคมีของกากข้าวมอลต์โดยทั่วไป (ร้อยละของวัตถุแห้ง)

โภชนะ		แหล่งข้อมูล					
		NRC (2001)	Huige (1995)	Bath et *al.*(1997)	NRC (2001)[1]	นฤมล (2541)	สุรชัย และคณะ (2542)
วัตถุแห้ง (DM)	%	90.7	92.0	92.0	21.8	91.46	93.9
อินทรีวัตถุ (OM)	%	95.7	96.0	95.2	NA	96.97	92.3
โปรตีนหยาบ (CP)	%	29.2	28.0	25.4	28.4	21.81	25.4
ไขมัน (EE)	%	5.2	7.2	6.5	5.2	7.93	8.0
เยื่อใยหยาบ (CF)	%	14.9	15.0	14.9	NA	13.98	NA
Neutral Detergent Fiber (NDF)	%	47.4	NA	NA	47.1	60.96	NA
Acid Detergent Fiber (ADF)	%	22.2	NA	24.0	23.1	20.19	NA
ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกท์ (NFE)	%	NA	45.8	NA	NA	53.88	NA
โภชนะย่อยได้รวม (TDN)	%	71.3	NA	66.0	71.6	NA	NA
พลังงานสุทธิ (NE)	Mcal/kg						
เพื่อการให้นม (NE_L)		1.71	1.70	1.50	1.71	NA	NA
เพื่อรักษาสภาพร่างกาย (NE_M)		1.84	1.70	1.52	1.81	NA	NA
เพื่อการเจริญเติบโต (NE_G)		1.21	NA	0.90	1.21	NA	NA

[1] กากข้าวมอลต์สด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เยื่อใยหยาบ 13 – 15 เปอร์เซ็นต์ ให้พลังงานในหน่วยโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total Digestible Nutrient ; TDN) ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของข้าวบาเลย์ทั้งเมล็ด (พันธิพา, 2539) ตาราง2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปของกากข้าวมอลต์ (ร้อยละของวัตถุแห้ง) นอกจากนี้กากข้าวมอลต์ยังเป็นแหล่งของไวตามินเกือบทุกชนิด ยกเว้น ไวตามินบี 12 และยังเป็นแหล่งเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) ที่ดีด้วย อย่างไรก็ตามกากข้าวมอลต์มีโปรตีนสูงแต่มีกรดอะมิโนไม่สมดุลตามชนิดของธัญพืชที่ใช้ทำข้าวมอลต์ โดยเฉพาะไลซีน (Lysine) (Almguist, 1972) ตาราง 3 แสดงกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential Amino Acid ; EAA) ที่เป็นส่วนประกอบในกากข้าวมอลต์

ภาพ 2 กากข้าวมอลต์สดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ตาราง 3 ปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นในกากข้าวมอลต์ (ร้อยละของโปรตีนรวม)

กรดอะมิโน	แหล่งข้อมูล		
	NRC, 2001	Huige, 1995	NRC, 2001[1]
Arginie	5.8	5.1	4.47
Histidine	2.0	2.3	2.25
Isoleucine	3.9	5.6	3.85
Leucine	7.9	9.8	9.61
Lysine	4.1	3.6	3.40
Methionine	1.7	1.8	1.93
Phenylalanine	4.6	5.6	5.57
Threonine	3.6	3.9	3.61
Trytophan	1.0	1.4	1.0
Valine	4.8	6.4	5.14

[1] กากข้าวมอลต์สด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การใช้กากข้าวมอลต์เป็นอาหารสัตว์

กากข้าวมอลต์เป็นผลพลอยได้จากอุสาหกรรมการผลิตเบียร์ที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนสำหรับสัตว์ มีการใช้อยู่ 2 รูปแบบคือ ในรูปของกากข้าวมอลต์สด และในรูปของกากข้าวมอลต์แห้ง ทั้งสองรูปแบบมีการนำมาใช้เป็นอาหารสำหรับโคนมเพิ่มมากขึ้น มีรายงานว่ากากข้าวมอลต์สามารถใช้ได้ 20 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งในอาหารทั้งหมด (Porter and Conrad, 1975) และ 20 – 25 เปอร์เซ็นต์ของอาหารข้นสำหรับโคนมโคเนื้อ (สาโรช, 2542)

Wahlstrom and Libal (1976) ได้ทำการทดลองเสริมกากข้าวมอลต์สดในอาหารสุกรอุ้มท้องที่ระดับ 0 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในอาหารที่มีระดับโปรตีนสูง 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวของแม่สุกรอุ้มท้องที่เสริมด้วยกากข้าวมอลต์สด 20 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าแม่สุกรอุ้มท้องที่ได้รับกากข้าวมอลต์สด 0 และ 40 เปอร์เซ็นต์ (47.6 39.5 และ 32.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ในขณะที่ขนาดครอกของลูกสุกรมีชีวิต น้ำหนักตัวของลูกสุกรแรกคลอด และหลังหย่านมไม่แตกต่างกัน

Kratzer and Earl (1980) รายงานว่า จำเป็นต้องมีการเสริมกรดอะมิโนไลซีน เพื่อให้ไก่งวงเจริญเติบโตได้ปกติ เมื่อเสริมกากข้าวมอลต์ระดับสูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์

จำรูญ (2544) ศึกษาศักยภาพการใช้กากข้าวมอลต์เป็นอาหารสุกรรุ่น โดยใช้สุกรลูกผสมจำนวน 48 ตัว ใช้แผนการทดลอง 2× 8 Factorial in CRD ทดสอบในอาหารทั้งหมด 8 ชนิด โดยการเสริมกากข้าวมอลต์ 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เสริมและไม่เสริมเอนไซม์คาร์โบไฮเดรต (carbohydrase) 0.1 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่า สมรรถภาพการผลิตของสุกรที่ได้รับกากข้าวมอลต์ 10 เปอร์เซ็นต์และเสริมเอนไซม์ดีที่สุด สำหรับสมรรถภาพการผลิตระหว่างเพศนั้นพบว่า เพศผู้ดีกว่าเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการเสริมหรือไม่เสริมเอนไซม์นั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการเสริมเอนไซม์จะทำให้สมรรถภาพการผลิตดีขึ้นและสามารถเสริมกากข้าวมอลต์ได้สูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร แต่เมื่อคำนวณต้นทุนค่าอาหารพบว่าการเสริมกากข้าวมอลต์ทำให้ต้นทุนค่าอาหารเพิ่มขึ้นเพราะต้องเสริมไขมันสัตว์ และกรดอะมิโนไลซีนในอาหารเพิ่มขึ้น เนื่องจากกากข้าวมอลต์มีพลังงานและกรดอะมิโนไลซีนในปริมาณต่ำ

ในปัจจุบันได้มีการนำเอากากข้าวมอลต์สดซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์มาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับโคนม โดยกากข้าวมอลต์สดมีลักษณะที่โคพร้อมจะกินได้โดยตรง ซึ่งพบว่าไม่มีปัญหาทางด้านโภชนะ หากมีการจัดการให้กากข้าวมอลต์สดแก่โคนมอย่างเหมาะสม สามารถที่จะใช้แทนอาหารข้นได้ 20 – 30 เปอร์เซ็นต์หรือเสริมเพิ่มเติมได้ไม่เกินวันละ 1 กิโลกรัมของวัตถุแห้ง (Murdock *et al*, 1981) ส่วนการใช้กากข้าวมอลต์แห้งมาเป็นอาหารโคนมนั้น จะต้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นำกากข้าวมอลต์สดมาผ่านกระบวนการอบด้วยไอน้ำ (The stord rotadisk drier) (Huige, 1995) เพื่อที่จะได้ออกมาในรูปกากข้าวมอลต์แห้งแล้วนำมาใช้เลี้ยงโคนม

สำหรับต่างประเทศได้มีการนำเอากากข้าวมอลต์มาใช้เป็นอาหารโคนมนานแล้ว (Merchen *et al*, 1979) เนื่องจากมีการค้นพบว่ามีโปรตีนที่มีความทนทานต่อการถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (Satter and Whitlow, 1977) ข้อดีของการใช้ กากข้าวมอลต์เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Merchene *et al*, 1979) คือ

1. เมื่อใช้กากข้าวมอลต์ร่วมกับแหล่งไนโตรเจน (Nitrogen source) เช่น ยูเรีย (Urea) ซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนที่เพียงพอแก่จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มปริมาณมากขึ้น
2. โปรตีนในกากข้าวมอลต์จะมีการสลายอย่างช้าๆภายในกระเพาะรูเมนซึ่งถือว่าเป็นข้อดี เพราะจะส่งผลให้ปริมาณโปรตีนที่ไหลผ่าน (by pass) ไปสู่ลำไส้เล็กมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นด้วย

Rogers *et al*. (1986) กล่าวว่า กากข้าวมอลต์มีความทนทานต่อการสลายตัวภายในกระเพาะรูเมน ซึ่งถือว่าเป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนหลายๆชนิด โดยเมื่อปริมาณโปรตีนที่ไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เป็นการเพิ่มปริมาณกรดอะมิโนที่จะถูกดูดซึมภายหลังการย่อยที่ลำไส้เล็กด้วย

การเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยเฉพาะโคนม ได้มีการนำกากข้าวมอลต์มาใช้เป็นอาหารกันอย่างแพร่หลายและได้มีการศึกษาที่เกี่ยวกับการใช้กากข้าวมอลต์ ได้แก่ Rounds and Klopfenstein (1975) ศึกษาการใช้กากข้าวมอลต์ในสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยใช้รูเมนเทียม (artificial rumen) พบว่าระดับความเข้มข้นของเอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3- N) เมื่อเสริมกากข้าวมอลต์ต่ำกว่าอาหารที่เสริมด้วย corn gluten meal และยังได้ศึกษาปริมาณโปรตีนที่ไหลผ่านของกากข้าวมอลต์สูงกว่ากากถั่วเหลือง (60.6 และ 30.7 เปอร์เซ็นต์)

Grieve *et al.* (1974) รายงานเกี่ยวกับการใช้กากข้าวมอลต์แห้งเป็นแหล่งของโปรตีนในอาหารข้นสูตรควบคุม ทำให้ระดับโปรตีนที่เพิ่มขึ้นจาก 12 เปอร์เซ็นต์ เป็น 14 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นตามระดับของโปรตีน

Porter and Conrad (1975) ศึกษาเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนะของกากข้าวมอลต์สด และกากข้าวมอลต์แห้งเพื่อเป็นแหล่งอาหารโปรตีนในโคนม โดยใช้โคทดลองลูกผสม 4 สายพันธุ์ แบ่งเป็นกลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกากข้าวมอลต์สดและแห้งที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ในแต่ละสูตรพบว่า ปริมาณผลผลิตน้ำนมที่ได้รับเมื่อปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (4% FCM) ไม่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(21.4 21.6 21.9 และ 21.3 กิโลกรัมต่อวัน) รวมทั้งปริมาณอาหารที่กินได้ วัตถุแห้งย่อยได้ของโคกลุ่มที่ได้รับกากข้าวมอลต์สดต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ แต่กลับมีการย่อยได้สูงสุด

Cozzi *et al.* (1994) เปรียบเทียบการทดแทนกากถั่วเหลืองด้วย corn gluten meal และกากข้าวมอลต์แห้งในอาหารโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน อาหารที่โคทดลองทุกกลุ่มได้รับมีปริมาณโปรตีนหยาบเฉลี่ย 16 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเยื่อใยที่ละลายในกรด (acid detergent fiber, ADF) 18.8 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก 33.6 41.1 และ 41.8 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารควบคุม อาหารที่เสริม corn gluten meal และอาหารที่เสริมกากข้าวมอลต์แห้ง ตามลำดับ ผลการศึกษาไม่พบความแตกต่างของปริมาณอาหารที่กิน (16.8 18.8 และ 18.2 กิโลกรัมต่อวัน) ค่าวัตถุแห้งย่อยได้ น้ำหนักตัว รวมทั้งเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันนม แต่พบว่า กรดไขมันระเหยได้บางชนิด เช่น ไอโซวาเลอเรต (isovalerate) มีปริมาณสูงที่สุดในอาหารที่เสริมด้วย corn gluten meal และยังพบว่า ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักไม่มีค่าแตกต่างกัน

Seymour and Polan (1986) ศึกษาผลของระดับพลังงานในอาหารโคนมระยะอุ้มท้องถึงระยะให้นมเมื่อเสริมกากถั่วเหลืองและกากข้าวมอลต์แห้ง เปรียบเทียบการให้อาหารที่ระดับพลังงานสูงและต่ำ พบว่าโคที่ได้รับอาหารพลังงานสูงให้ผลผลิตน้ำนมสูงกว่าโคที่ได้รับอาหารพลังงานต่ำ (21.6 และ 17.6 กิโลกรัมต่อวัน) แม่โคมีความสมบูรณ์ของร่างกายและน้ำหนักตัวดีกว่า (641 และ 591 กิโลกรัม) ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 15 ของระยะให้นม กลุ่มโคที่ได้รับอาหารพลังงานสูงให้ผลผลิตน้ำนมดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารพลังงานต่ำ (33.8 และ 31.3 กิโลกรัมต่อวัน) ปริมาณวัตถุแห้งกินได้ต่ำกว่า (23.2 และ 24.4 กิโลกรัมต่อวัน) และมีน้ำหนักตัวลดลงมากกว่า (-2.7 และ 0.9 กิโลกรัมต่อสัปดาห์)

Rogers *et al.* (1986) ศึกษาระดับของปริมาณจุลินทรีย์ และกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นภายในกระเพาะหมัก รวมถึงการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนในโคนมเพศผู้พันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน เมื่อเสริมกากข้าวมอลต์สดและแห้งในอาหารร่วมกับการให้ข้าวโพดหมัก โดยให้โคได้รับอาหารทั้งหมดมีปริมาณโปรตีนหยาบคิดเป็น 12.5 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดให้ใช้กากข้าวมอลต์สดเป็นแหล่งโปรตีนคิดเป็น 45 เปอร์เซ็นต์ของอาหารทดลอง พบว่า โคที่ได้รับอาหารเสริมด้วยกากข้าวมอลต์สดมีปริมาณจุลินทรีย์ และความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) สูงกว่าอาหารที่เสริมกากข้าวมอลต์แห้ง แต่ความเป็นกรด – ด่างภายในกระเพาะหมักต่ำกว่า ในขณะที่ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ของทั้งสองกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งภายในกระเพาะหมักเมื่อโคได้รับอาหารที่เสริมด้วยกากข้าวมอลต์สดสูงกว่าที่เสริมด้วยกากข้าวมอลต์แห้ง (56.9 และ 39.3 เปอร์เซ็นต์) อัตราการไหลผ่านของวัตถุแห้งจากกระเพาะหมักของโคที่ได้รับอาหารที่เสริมกากข้าวมอลต์สดสูงกว่ากากข้าวมอลต์แห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการให้อาหารที่เสริมด้วยกากข้าวมอลต์สดและกากข้าวมอลต์แห้งที่ระดับโปรตีน 22 และ 40 เปอร์เซ็นต์ (ร้อยละของวัตถุแห้ง) ซึ่งมีระดับโปรตีน 2 ระดับคือ 12.5 และ 14.5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ด้วยแผนการทดลอง 2 × 2 Factorial Design พบว่าโคที่ได้รับอาหารที่ระดับโปรตีนสูงกว่า (14.5 เปอร์เซ็นต์) มีค่าการย่อยได้ปรากฏ (apparent digestibility) ของไนโตรเจน และเยื่อใยที่ละลายในกรดสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างอาหารที่เสริมด้วยกากข้าวมอลต์สด และแห้ง

Merchen *et al.* (1979) ศึกษาหาระดับโปรตีนไหลผ่าน (bypass protein) ของกากข้าวมอลต์แห้งในโคนมที่เจาะกระเพาะแท้ (Abomasum) จำนวน 4 ตัว ให้ได้รับอาหารที่แตกต่างกันคือ เสริมยูเรีย 1.8 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกากข้าวมอลต์แห้ง 15.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ วัดการย่อยได้ด้วยวิธีการ Indicator method (สารบ่งชี้ที่ใช้ คือ Cr_2O_3) เก็บตัวอย่างจากกระเพาะแท้รวมทั้งตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนไหลผ่าน และองค์ประกอบอื่นที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังศึกษาโคเจาะกระเพาะแท้จำนวน 3 ตัว ด้วยแผนการทดลองแบบ 2 Replicated 3 × 3 Latin Square Design ให้อาหารแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ เสริมยูเรีย 3.11 เปอร์เซ็นต์ เสริมกากถั่วเหลือง 10.9 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับยูเรีย 1.04 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกากข้าวมอลต์แห้ง 16.3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับยูเรีย 1.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอาหารทุกสูตรมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนรวมเท่ากับ 11.5 เปอร์เซ็นต์ และโภชนะย่อยได้รวมประมาณ 60 – 65 เปอร์เซ็นต์ เก็บตัวอย่างจากกระเพาะแท้ และตัวอย่างเลือดในวันสุดท้ายของการทดลองในแต่ละช่วง ซึ่งมี 4 ช่วงการทดลอง วิเคราะห์ตัวอย่างที่สุ่มมาเพื่อหาระดับขององค์ประกอบที่มีไนโตรเจน ผลการทดลองแรกพบว่า มีปริมาณโปรตีนจากกากข้าวมอลต์ไหลผ่านไปยังทางเดินอาหารส่วนต่อไปเป็นปริมาณมาก (60.9 เปอร์เซ็นต์) ทั้งยังมีแนวโน้มที่จะมี total nitrogen และ nonammonia nitrogen ที่เดินทางไปสู่กระเพาะแท้สูงกว่าเมื่อเปรียบกับอาหารที่ผสมยูเรีย ส่วนปริมาณ bacterial nitrogen ของอาหารทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกัน การทดลองที่สองพบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองร่วมกับยูเรีย และกากข้าวมอลต์แห้งร่วมกับยูเรียมีปริมาณ total nitrogen ที่กระเพาะแท้มากกว่าการให้ยูเรียอย่างเดียว ระดับของ ammonia nitrogen ของอาหารที่ให้กากข้าวมอลต์ร่วมกับยูเรียต่ำกว่าการให้ยูเรียเพียงอย่างเดียว และการให้กากถั่วเหลืองผสมยูเรียตามลำดับ สำหรับปริมาณ bacterial nitrogen พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มว่า การให้กากข้าวมอลต์ร่วมกับยูเรียจะต่ำที่สุด

Armetano *et al.* (1986) ศึกษาการสลายตัว (degradation) ของกากข้าวมอลต์แห้ง กากข้าวมอลต์สด และกากถั่วเหลืองในโคนม วัดปริมาณอาหารที่สลายตัวในกระเพาะรูเมนโดยวิธีการใช้ถุงไนล่อนวัดปริมาณโภชนะที่เหลือ และศึกษาผลของอุณหภูมิของการอบกากข้าวมอลต์สดที่สองระดับ คือ 50 องศาเซลเซียล นาน 39 ชั่วโมง และ 150 องศาเซลเซียล นาน 19 ชั่วโมง เปรียบเทียบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กับกากข้าวมอลต์สด ปริมาณวัตถุแห้งไหลผ่าน ปริมาณไนโตรเจนรวม และปริมาณกรดอะมิโนที่เดินทางถึงลำไส้เล็กของกากข้าวมอลต์แห้งและกากถั่วเหลืองโดยใช้อาหาร 3 สูตร คือ เสริมกากถั่วเหลือง 15.8 เปอร์เซ็นต์ เสริมกากข้าวมอลต์แห้ง 24.8 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกากข้าวมอลต์แห้ง 43.8 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวของกากข้าวมอลต์แห้ง กากข้าวมอลต์สด และกากถั่วเหลือง เป็น 3.1 2.8 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าการสลายตัวของกากข้าวมอลต์แห้ง กากข้าวมอลต์สด และกากถั่วเหลืองในกระเพาะหมักเท่ากับ 42.0 73.0 และ 83.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณวัตถุแห้ง และไนโตรเจนรวมที่สลายตัวในกระเพาะหมักเมื่ออบกากข้าวมอลต์สดด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ปริมาณไนโตรเจนและวัตถุแห้งที่ไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กของอาหารทั้งสามระดับ ไม่แตกต่างกัน

Polan *et al.* (1984) ศึกษาผลของการเสริมกากข้าวมอลต์แห้ง กากข้าวมอลต์สด และกากถั่วเหลืองที่มีผลต่อผลผลิตน้ำนมของโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยนจำนวน 40 ตัว โดยให้ได้รับอาหารฐานที่มีระดับโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์ แบ่งโคออกเป็น 4 กลุ่ม ด้วยแผนการทดลอง 3 × 3 Factorial Design เสริมด้วยอาหารทดลองที่มีกากข้าวมอลต์แห้ง กากข้าวมอลต์สด และกากถั่วเหลืองในอาหารที่โปรตีน 3 ระดับ คือ 14.5 16.0 และ 17.5 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่า ผลผลิตน้ำนมของโคที่ได้รับกากข้าวมอลต์แห้งสูงกว่าที่ได้รับกากข้าวมอลต์สด อาหารเสริมกากถั่วเหลือง และอาหารฐานเพียงอย่างเดียว (29.4 28.9 26.2 และ 23.1 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) และเมื่อเปรียบเทียบโดยระดับโปรตีนในอาหารพบว่า กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง (17.5 เปอร์เซ็นต์) ให้ผลผลิตน้ำนมสูงกว่าโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 14.5 และ 16.0 เปอร์เซ็นต์ (29.6 27.8 และ 27.2 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (ร้อยละของน้ำหนักตัว) เท่ากับ 3.7 3.5 3.3 และ 2.9 เมื่อได้รับอาหารเสริมกากข้าวมอลต์แห้ง กากข้าวมอลต์สด กากถั่วเหลือง และอาหารฐานเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อร้อยมิลลิลิตร) หลังได้รับอาหารตอนเช้าเท่ากับ 10.4 14.9 และ 18.0 เมื่อได้รับอาหารเสริมกากข้าวมอลต์แห้ง กากข้าวมอลต์สด และกากถั่วเหลืองตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบโดยอาศัยระดับโปรตีนในอาหารพบว่า เพิ่มขึ้นจาก 13.2 ถึง 15.4 ตามระดับโปรตีนที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับระดับของยูเรียในพลาสมา นอกจากนี้ยังพบว่า อาหารเสริมกากข้าวมอลต์แห้งมีผลให้ค่าการย่อยได้ปรากฏของไนโตรเจนต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ

สุรชัย และคณะ (2542) ศึกษาผลของระดับการทดแทนอาหารข้นด้วยกากข้าวมอลต์แห้งต่อการให้ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม โดยทำการศึกษาการทดแทนอาหารข้นด้วยกากข้าวมอลต์แห้ง 4 ระดับ คือ 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ผลการทดลองพบว่าปริมาณการกินได้รวมของอาหารข้น และกากข้าวมอลต์แห้งเพิ่มขึ้นตามระดับการใช้กากข้าวมอลต์แห้งทดแทนโดยไม่มีความแตกต่างกัน โคนมที่ได้รับกากข้าวมอลต์แห้งทดแทนในอาหารข้นระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้ทั้งหมดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวและกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมทาบอลิก (g/kg $W^{0.75}$) แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับกากข้าวมอลต์แห้งทดแทนที่ระดับ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับกากข้าวมอลต์แห้งทดแทนที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ โคกลุ่มที่ได้รับกากข้าวมอลต์แห้งทดแทนอาหารข้นระดับ 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุ (organic matter, OM) และพลังงานรวม (gross energy, GE) ไม่ต่างจากโคกลุ่มที่ได้รับกากข้าวมอลต์แห้งทดแทนที่ระดับ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมาณการกินได้ของโปรตีนหยาบสูงกว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนหยาบ ADF มีค่าไม่แตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด – ด่าง ภายในกระเพาะหมักและความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือดหลังได้รับอาหาร 4 ชั่วโมงพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของของเหลวจากกระเพาะหมัก พบว่ามีค่าลดลงตามระดับการทดแทนอาหารข้นด้วยกากข้าวมอลต์แห้งแต่ไม่มีความแตกต่างกัน ระดับกากข้าวมอลต์แห้งที่เพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของไขมันระเหยได้ทั้งหมดจากของเหลวในกระเพาะหมักมีค่าลดลง การทดแทนอาหารข้นด้วยกากข้าวมอลต์แห้งที่ระดับ 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดสูงกว่าที่ระดับ 10 และ 30 เปอร์เซ็นต์ การทดแทนอาหารข้นด้วยกากข้าวมอลต์แห้งที่ระดับ 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความเข้มข้นของกรดอะซิติกเพิ่มขึ้น และกรดโพรพิโอนิกลดลง ในส่วนของกรดบิวทีริก ไม่มีความแตกต่างกัน การทดแทนกากข้าวมอลต์แห้งที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณน้ำนมต่อวันเพิ่มขึ้นสูงกว่ากลุ่มอื่นเมื่อปรับปริมาณน้ำนมตามเปอร์เซ็นต์ไขมันนม 3.5 เปอร์เซ็นต์ (3.5% FCM) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณโปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนด้วยกากข้าวมอลต์แห้งแบบเส้นตรง แต่ปริมาณไขมันนมไม่แตกต่างกัน

ปราโมทย์ และคณะ (2543) ศึกษาผลของระดับกากข้าวมอลต์แห้งในอาหารต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน โดยใช้โคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียนในระยะรีดนมจำนวน 24 ตัว ใช้แผนการทดสดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) ประกอบด้วย อาหารทดลอง 4 กลุ่ม คือ การใช้กากข้าวมอลต์แห้ง 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ (ร้อยละของวัตถุแห้ง) พบว่า ปริมาณอาหารที่กินได้คิดเป็นกรัมต่อน้ำหนักตัว $^{0.75}$ ของกลุ่มที่เสริมด้วยกากข้าวมอลต์แห้ง 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์สูง กว่ากลุ่มที่ได้รับกากข้าวมอลต์ 30 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุลดลงตามระดับของกากข้าวมอลต์แห้งที่เพิ่มขึ้น กลุ่มที่เสริมกากข้าวมอลต์แห้ง 20 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตน้ำนมสูงกว่ากลุ่มที่เสริมกากข้าวมอลต์แห้ง 10 เปอร์เซ็นต์ (18.7 เทียบกับ 18.4 กิโลกรัมต่อวัน) และสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับกากข้าวมอลต์แห้ง 0 และ 30 เปอร์เซ็นต์ (15.95 เทียบกับ 15.90 กิโลกรัมต่อวัน)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนเปอร์เซ็นต์โปรตีน และไขมันนมของกลุ่มที่เสริมกากข้าวมอลต์แห้ง 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น

Belibasakis *et al.* (1996) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้กากข้าวมอลต์สดที่มีต่อ ปริมาณน้ำนมองค์ประกอบของน้ำนม และองค์ประกอบของเลือดของโคนมในฤดูร้อนพบว่า วัตถุแห้งที่กินได้ โปรตีน แลคโตส และ SNF ในน้ำนมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อใช้อาหารทั้ง 2 สูตร แต่พบว่าอาหารที่มีกากข้าวมอลต์สดเป็นส่วนประกอบ เทียบกับสูตรอาหารควบคุม ปริมาณน้ำนม ไขมันนม ปริมาณของแข็งทั้งหมดในนม และปริมาณไขมันในน้ำนม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ปริมาณน้ำนมเมื่อปรับไขมันของกลุ่มที่ได้รับกากข้าวมอลต์สดสูงกว่ากับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ส่วนองค์ประกอบในน้ำเลือดพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

Dhiman *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาการให้ผลผลิตน้ำนมของโคที่ได้รับกากข้าวมอลต์แห้งเทียบกับกากข้าวมอลต์สดเมื่อมีวัตถุแห้งใกล้เคียงกันพบว่า การใช้กากข้าวมอลต์แห้งหรือกากข้าวมอลต์สดไม่ส่งผลต่อปริมาณอาหารที่กินได้ (25.6 vs. 25.1 kg/d) ปริมาณน้ำนม (40.1 vs. 40.7 kg/d) องค์ประกอบของน้ำนมและการกินอาหาร ค่า pH แอมโมเนีย กรดไขมันที่ละเหยได้ทั้งหมด และกรดไขมันที่ระเหยได้ภายในกระเพาะรูเมน ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง ประสิทธิภาพของโคที่ได้รับอาหารที่มีกากข้าวมอลต์แห้งหรือกากข้าวมอลต์สด 15 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง จะคล้ายกันเมื่อในอาหารมีวัตถุแห้งที่ใกล้เคียงกัน ที่ประเทศสหรัฐอเมริกาในช่วงเดือนกรกฎาคม 2544 ถึง เดือนมิถุนายน 2545 ราคาของกากข้าวมอลต์แห้งและกากข้าวมอลต์สดเท่ากับ US$ 145.3 และ US$ 96.9 /metric ton DM ตามลำดับ ดังนั้นหากใช้กากข้าวมอลต์สดในการเลี้ยงโคนมจะทำให้ลดต้นทุนค่ากากข้าวมอลต์ได้ US$ 49 /metric ton.

จิรวัฒน์ (2545) ศึกษาผลของการใช้อาหารทดลองที่ผสมกากข้าวมอลต์แห้งที่ระดับ 0 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธีการศึกษาการสลายตัวของโภชนะภายในกระเพาะหมักด้วยวิธีการใช้ถุงไนล่อน ประเมินค่าการย่อยได้และพลังงานที่สัตว์ได้รับด้วยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในตัวสัตว์ของอาหารทดลองที่ผสมกากข้าวมอลต์แห้งทั้ง 4 ระดับร่วมกับหญ้ารูซี่โดยวิธีการแบบดั้งเดิมเพื่อหาค่าการย่อยได้ปรากฏ และวิธีการใช้สารบ่งชี้เพื่อประเมินหาค่าการย่อยได้ที่เกิดขึ้นในตัวสัตว์จริงภายในลำไส้เล็ก โดยใช้สารเคมีไททาเนียมออกไซด์เป็นสารบ่งชี้ ศึกษาในโคนมลูกผสมพันธุ์พื้นเมือง × โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน ที่ได้รับการผ่าตัดเปิดทางเดินอาหารบริเวณกระเพาะหมัก ลำไส้เล็กส่วนต้น และลำไส้เล็กส่วนปลาย รวมทั้งศึกษาสภาพภายในกระเพาะหมักภายหลังได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 ระดับ ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการสลายตัวของโปรตีนหยาบในอาหารทดลองที่ผสมกากข้าวมอลต์แห้งที่ระดับ 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์มีค่าสูงกว่าที่ระดับ 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ปริมาณวัตถุแห้งกินได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัตถุแห้งที่สัตว์ได้รับ อัตราการเจริญเติบโต และค่าดัชนีบ่งชี้จากวิธีการใช้ถุงไนล่อนของอาหารทดลองที่ระดับ 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกับอาหารทดลองที่ระดับ 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และมีแนวโน้มลดลงตามระดับที่เพิ่มขึ้นของกากข้าวมอลต์แห้งในอาหาร การประเมินค่าการย่อยได้และพลังงานที่สัตว์ได้รับด้วยวิธีการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นพบว่า ค่าอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ พลังงานใช้ประโยชน์ พลังงานสุทธิเพื่อการให้นม ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ วัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ อัตราการเจริญเติบโต และค่าดัชนีบ่งชี้ จากวิธีการวัดปริมาณแก๊สในอาหารทดลองที่มีกากข้าวมอลต์แห้งที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าที่ระดับ 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในตัวสัตว์โดยวิธีแบบดั้งเดิม พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งในอาหารทดลองที่ผสมกากข้าวมอลต์แห้งที่ระดับ 0 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) โภชนะรวมย่อยได้ พลังงานรวม พลังงานใช้ประโยชน์ได้ และพลังงานสุทธิเพื่อการให้นมในอาหารทดลองทั้ง 4 ระดับ ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มลดลงตามระดับของกากข้าวมอลต์แห้งที่เพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีนหยาบจากวิธีการใช้สารบ่งชี้เพื่อประเมินค่าการย่อยได้ที่เกิดขึ้นโดยตัวสัตว์จริงภายในลำไส้เล็กของอาหารทดลองที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าที่ระดับ 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ปริมาณโปรตีนหยาบที่บริเวณลำไส้เล็กพบว่าไม่แตกต่างกัน การศึกษาสภาพภายในกระเพาะหมักพบว่า ความเป็นกรด – ด่าง ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนที่ผลิตได้ในกระเพาะหมักโคนมที่ได้รับอาหารที่ระดับ 0 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ 1 ชั่วโมงหลังให้อาหารเช้าสูงกว่าที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่กลับพบว่า ที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนที่ 3 ชั่วโมงหลังให้อาหารในตอนเช้าสูงกว่า 0 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กรดไขมันระเหยได้รวมของอาหารทดลองมีแนวโน้มลดลงตามระดับกากข้าวมอลต์แห้งที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) อัตราส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิกที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

สุนีย์ และคณะ (2547) ศึกษาผลของสารเสริมชีวภาพต่อการหมักไซเลจจากกากข้าวมอลต์และผลผลิต และองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม โดยทำการศึกษาการหมักไซเลจจากกากข้าวมอลต์สด ในสภาวะการใส่สารเสริมชีวภาพ เชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์ KUB-ST 10-1 และสภาวะควบคุม (ไม่ใส่เชื้อ) ในห้องปฏิบัติการ 50 กรัม และภาคสนาม 50 กิโลกรัม พบว่า การหมักกากข้าวมอลต์สดทั้งสองสภาวะในห้องปฏิบัติการ มีการลดลงของค่าพีเอชเป็น 4.2 และผลิตกรดอะซีติกในช่วง 2.3 – 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง หลังการหมัก 21 วันในสภาวะการหมักแบบใส่เชื้อผลิตกรดแลคติกสูงในช่วง 1.9 – 2.3 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่สภาวะควบคุมมีค่า 0.33 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของน้ำหนักแห้ง เมื่อทำการศึกษาในระดับ 50 กิโลกรัม พบว่า สภาวะที่ใส่เชื้อเท่านั้นที่แสดงการผลิตกรดแลกติกเป็น 2.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง หลังการหมัก 14 วัน หลังจากนั้นปริมาณกรดแลกติกลดลงจนไม่สามารถตรวจสอบได้ การศึกษาคุณค่าทางโภชนะในโคนม เมื่อใช้กากข้าวมอลต์แห้ง ไซเลจจากกากข้าวมอลต์ และไซเลจจากกากข้าวมอลต์ใส่สารเสริมชีวภาพในสูตรอาหารผสมสำเร็จ พบว่าการใช้ไซเลจจากกากข้าวมอลต์สดใส่สารเสริมชีวภาพสามารถเพิ่มการกินได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ในลักษณะแห้ง และไซเลจจากกากข้าวมอลต์ นอกจากนั้นยังพบการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของน้ำนม และไขมันนม เมื่อใช้ไซเลจจากกากข้าวมอลต์ ขณะที่ปริมาณโปรตีนและน้ำตาลในน้ำนมไม่มีความแตกต่างกัน

2.4 การย่อยอาหารในโคนม

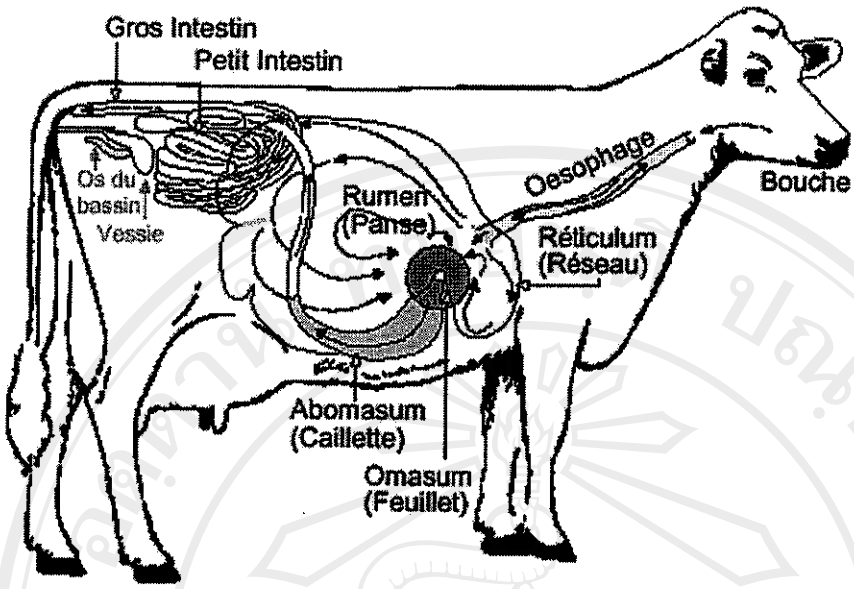
การย่อยอาหาร (digestion) หมายถึงขบวนการที่ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลงจนพอดีที่ร่างกายจะสามารถดูดซึมได้ (absorb) และนำไปใช้ประโยชน์ได้ (utilize) การย่อยอาหารในโคโดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในทางเดินอาหาร แสดงในภาพ 3 โดยที่อาหารแต่ละชนิดมีการย่อยได้ในทางเดินอาหารแต่ละส่วนไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการย่อยได้ของทางเดินอาหารในแต่ละส่วนนั้น เช่น อาหารที่มีส่วนประกอบของเยื่อใยสูงไม่สามารถถูกย่อยได้ที่กระเพาะแท้ (abomasum) และลำไส้เล็ก แต่จะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (rumen) ไส้ติ่ง (caecum) และลำไส้ใหญ่ (colon) โดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์

2.4.1 การย่อยอาหารในกระเพาะหมัก

อาหารแต่ละชนิดนั้นมีการย่อยได้ในทางเดินอาหารแต่ละส่วนไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำย่อยที่สัตว์ขับออกมา ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ และธรรมชาติของอาหารนั้นๆ เช่น อาหารที่มีเยื่อใยสูงไม่สามารถย่อยได้ที่กระเพาะแท้และลำไส้เล็ก เพราะเอนไซม์จากตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยเยื่อใยได้ แต่จะสามารถย่อยได้บ้างที่กระเพาะรูเมน ไส้ติ่ง และลำไส้ใหญ่โดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์เกิดผลผลิตคือ

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 3 แผนภาพแสดงทางเดินอาหารของโคนม
ที่มา : Wattiaux and Howard (no date)

การย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

การย่อยอาหารที่เกิดขึ้นในกระเพาะหมักเกิดจากเอนไซม์ที่ผลิต โดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะส่วนนี้เท่านั้น เนื่องจากกระเพาะหมักในโคนั้นไม่มีการผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารแต่อย่างใด ขบวนการย่อยและเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมักแบ่งได้เป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การย่อย Polysaccharide ให้เป็น Monosaccharide
- การเปลี่ยน Monosaccharide ให้เป็น Pyruvate
- การเปลี่ยนไพรูเวท (pyruvate) ให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid)
- การสังเคราะห์มีเทน (methane, CH_4)

การย่อยแป้งในกระเพาะหมักเกิดขึ้นโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ เช่น พวกแบคทีเรีย และโปรโตซัว ได้ผลผลิตคือน้ำตาล (glucose) ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที จึงพบน้ำตาลพวกนี้เป็นจำนวนน้อยในกระเพาะหมัก ผลจากการเมตาบอลิซึมน้ำตาล จุลินทรีย์จะให้ผลผลิตเป็นกรดไขมันระเหยได้ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ส่วนความเข้มข้นและสัดส่วนของกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและระยะเวลาในการกินอาหารของโคดังแสดงในตาราง 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4 สัดส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบต่อการเกิดกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก

อาหารหยาบ : อาหารข้น	กรดไขมันระเหยได้ (%)		
	กรดอะซิติก	กรดโพรพิโอนิก	กรดบิวทีริก
100 : 0	71.4	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
10 : 80	53.6	30.6	10.7

ที่มา : Phillipson (1970)

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

1. ชนิดและส่วนประกอบของธัญพืชในอาหารข้นที่โคได้รับ
2. อายุความแก่อ่อนของแป้งในธัญพืช
3. อัตราส่วนของธัญพืชในอาหารข้นที่โคได้รับ
4. ปริมาณอาหารข้นที่โคได้รับที่มีผลต่ออัตราการไหลผ่าน (rate of passage)
5. กรรรมวิธีในการแปรรูปอาหาร วัตถุดิบหรือธัญพืชที่นำมาใช้เลี้ยงโค

การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก

การสลายตัวของโปรตีน แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้คือ

- ขบวนการ Proteolysis แยกรอยต่อของโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธี hydrolysis ตรง peptide bond ทำให้ได้ peptide และกรดอะมิโนบางส่วนออกมา

- ขบวนการสลายตัวของกรดอะมิโน โดยขบวนการ deamination และผลิตกรดอินทรีย์และแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป (เทอดชัย, 2542)

การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก คือ อาหารประเภทโปรตีนประกอบไปด้วยโปรตีนแท้ (true protein) และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) โปรตีนแท้บางส่วนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เรียกโปรตีนเหล่านี้ว่า rumen degradable protein (RDP) ซึ่งจะถูกย่อยเป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน แต่กรดอะมิโนบางชนิดบางส่วนจะถูกย่อยต่อไปเป็นกรดอินทรีย์ แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแอมโมเนียที่เกิดขึ้น เปปไทด์ขนาดเล็ก และกรดอะมิโนอิสระจะถูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์สังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ (microbial protein) และโปรตีนบางส่วนที่ทนทานต่อการย่อยจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักทำให้ไม่ถูกย่อยและเคลื่อนที่ผ่านไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก เรียกโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยเหล่านี้ว่า rumen undegradable protein (RUP) ส่วนไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) เมื่อเข้าไปในกระเพาะหมักจะแตกตัวเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ ซึ่งระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักสามารถวัดได้โดยวิธี Conway method (Voigt und Steger, 1967) หรือโดยวิธีการกลั่น และระดับแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์จะอยู่ในช่วง 3 – 8 mg/100ml (Satter and Roffler, 1975) เมื่อเซลล์ของจุลินทรีย์และโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักเคลื่อนที่ไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็กจะถูกเอนไซม์ในทางเดินอาหารย่อย และดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อไป (McDonald *et al.*, 1995)

กิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นจะแตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม pH ภายในกระเพาะหมักอาจมีอิทธิพลมากกว่าโดย pH ที่เหมาะสมต่อการเข้าสลายโปรตีนของจุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 6-7 ซึ่งสามารถวัดได้โดยการเก็บของเหลวจากกระเพาะหมัก (rumen fluid) ในส่วนล่างของกระเพาะ (ventral sac) มาวัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดแบบ pH scan BNC™ ซึ่งมีค่าความถูกต้อง ±0.1 และกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนของจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์จากแอมโมเนีย ส่วนอีก 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้กรดอะมิโนโดยตรง ประมาณ 59 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนจากอาหารจะถูกสลายในกระเพาะหมัก ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกย่อย 29 เปอร์เซ็นต์จะถูกนำไปใช้ในรูปของกรดอะมิโน อีก 71 เปอร์เซ็นต์ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนีย อย่างไรก็ตามเรื่องนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของอาหารโปรตีนแต่ละชนิด (เมธา, 2533)

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก

1. ความสามารถในการสลายโปรตีน (protein solubility) โดยโปรตีนที่สลายได้มากมีโอกาสที่จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้มาก

2. วิธีการให้อาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมัก ถ้าโคได้รับอาหารในปริมาณที่มากระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาะหมัก (retention time) ก็จะลดลง มีผลทำให้อาหารเคลื่อนที่ไปยังทางเดินอาหารส่วนอื่นๆ (rate of passage) เร็วขึ้น จุลินทรีย์มีโอกาสสลายโปรตีนได้ลดลงทำให้โปรตีนรอดพ้นจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดของชิ้นอาหารก็มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่อาหารจะคงอยู่ในกระเพาะหมักโดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารที่มีขนาดใหญ่หรืออาหารที่ไม่ได้สับให้เล็กจะมีระยะเวลาที่อาหารจะคงอยู่ในกระเพาะหมักมากกว่าอาหารที่มีขนาดเล็ก

3. ปัจจัยจากตัวสัตว์ สำหรับสัตว์ชนิดต่างๆกัน 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)

2.4.4 การย่อยและการดูดซึมในลำไส้เล็ก

โปรตีนที่เข้าไปในลำไส้เล็ก ได้แก่ โปรตีนจากอาหารที่รอดพ้นจากการย่อยในกระเพาะหมัก (RUP) โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein) และโปรตีนจากทางเดินอาหาร (endogenous protein) การย่อยโปรตีนในลำไส้เล็กคล้ายกับในสัตว์กระเพาะเดี่ยว คือโปรตีนจะถูกเอนไซม์จากตับอ่อนและลำไส้เล็กเข้าย่อยโปรตีนได้เป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์สายสั้น ๆ ซึ่งจะถูกดูดซึมโดยลำไส้เล็ก และภายในผนังลำไส้เล็กจะมีเอนไซม์เปปติเดส (peptidase) ย่อยเปปไทด์ให้เป็นกรดอะมิโนและดูดซึมไปยัง portal blood ต่อไป กรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ คือ ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน หรือมีการ oxidation ต่อไปให้เป็นพลังงานในรูป ATP ส่วนพวกแอมโมเนียหรือไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen) เมื่อถูกดูดซึมจะถูกเปลี่ยนให้เป็นยูเรีย (urea) โดย Ornithine cycle และ ยูเรียส่วนใหญ่เข้าไปรวมกับ Urea N pool ในของเหลวในร่างกายซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ผ่านทางน้ำลาย และส่วนมากจะถูกขับออกไปพร้อมกับปัสสาวะ ดังนั้นไนโตรเจนที่เข้าไปในลำไส้เล็กถ้าหากมีสัดส่วนของโปรตีนแท้หรือกรดอะมิโนไม่ว่าจะเป็นโปรตีนแท้ที่รอดพ้นจากการสลายตัวในกระเพาะรูเมน (RUP) หรือโปรตีนจากจุลินทรีย์ในปริมาณสูงก็จะทำให้สัตว์ได้รับกรดอะมิโนผ่านทางลำไส้เล็กได้สูงขึ้น แต่ถ้าเป็นส่วนของโปรตีนที่ไม่ใช่ไนโตรเจน หรือแอมโมเนียร่างกายสัตว์ก็มีโอกาสได้รับกรดอะมิโนน้อย เนื่องจากไนโตรเจนที่เข้าไปในลำไส้เล็กไม่เกิดประโยชน์แก่ร่างกายมากเท่าใด (เทอดชัย, 2542)

โปรตีนที่เข้าไปในลำไส้ใหญ่ ได้แก่ โปรตีนในอาหารที่ไม่ถูกย่อยโดยลำไส้เล็ก โปรตีนจากจุลินทรีย์และโปรตีนจากทางเดินอาหาร (endogenous protein) ที่ไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก นอกจากนี้ยังมีน้ำย่อยต่าง ๆ จากลำไส้เล็กและตับอ่อน การย่อยโปรตีนในลำไส้ใหญ่คล้ายกับในกระเพาะหมัก คือ ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายและผลผลิตส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนีย ส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อใช้ประโยชน์ในร่างกายอีก และส่วนหนึ่งถูกนำไปสังเคราะห์โปรตีนของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จุลินทรีย์และโปรตีนที่เกิดขึ้นภายในลำไส้ใหญ่นี้ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ และจะถูกขับออกนอกร่างกายไปพร้อมกับมูล (เทอดชัย, 2542)

2.4.5 ประโยชน์จากการทราบตำแหน่งการย่อยของอาหาร

เนื่องจากการย่อยอาหารที่ตำแหน่งต่างๆ เกิดผลต่างกัน เช่น การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมักจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็น microbial protein ซึ่งมีคุณภาพดี เนื่องจากมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นใกล้เคียงกับความต้องการของสัตว์ (Schwab, 1995) ดังนั้นถ้าโปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปมีคุณภาพไม่ดี หรือเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen, NPN) การย่อยสลายในกระเพาะหมักจะมีประโยชน์มาก แต่ถ้าโปรตีนที่กินเข้าไปมีคุณภาพสูง การย่อยสลายในกระเพาะหมักอาจไม่มีประโยชน์มากนัก เพราะการสลายตัวของโปรตีนไปเป็นแอมโมเนียในกระเพาะหมักจะเกิดการสูญเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถนำแอมโมเนียไปใช้ได้ทั้งหมด และ microbial protein ที่เกิดขึ้นอาจมีสัดส่วนของกรดอะมิโนน้อยกว่าโปรตีนเดิมที่สัตว์กินเข้าไป ดังนั้นถ้าโปรตีนจำพวกนี้ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในตัวสัตว์ที่กระเพาะแท้ และลำไส้เล็กก็จะได้ประโยชน์มากกว่า เพราะได้กรดอะมิโนที่มีสัดส่วนที่เหมาะสมซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ได้โดยตรง (บุญล้อม, 2541)

ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักถ้าอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมจะเกิดประโยชน์มาก เนื่องจากจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ อีกทั้งยังเป็นโครงสร้างคาร์บอนในการทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเพื่อนำไปสังเคราะห์ microbial protein อย่างไรก็ตามผลจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมักก็มีการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปในรูปของแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ของ gross energy ที่สัตว์ได้รับ ดังนั้นในกรณีของอาหารหยาบที่มีเยื่อใยสูงที่ไม่สามารถย่อยที่ลำไส้เล็กได้ การย่อยในกระเพาะหมักจึงมีประโยชน์มากกว่า เพราะจะได้เป็น monosaccharide ซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ดังนั้นจึงควรให้อาหารคาร์โบไฮเดรตที่มีการย่อยสลายได้ดีในกระเพาะหมักเท่านั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.6 ความเป็นกรด – ด่าง ในกระเพาะรูเมน

ค่าความเป็นกรด – ด่าง ในกระเพาะรูเมน (ruminal pH) จะแปรปรวนไปตามชนิดของอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปและเวลาที่ทำการวัด เมื่อสัตว์กินอาหารประเภทแป้งเข้าไปในกระเพาะรูเมนจะถูกเอนไซม์จากจุลินทรีย์ย่อย ผลที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยจุลินทรีย์จะ

เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid) ส่วนหนึ่งของกรดไขมันระเหยได้จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิต และเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งกับคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างของพืช (เยื่อใย) พบว่าแป้งถูกย่อยสลายได้เร็วกว่า ให้สัดส่วนของ propionic acid และ/หรือ butyric acid สูงกว่า และทำให้ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมนลดต่ำลง เนื่องจากในกระบวนการย่อยแป้งนั้นจะเกิด lactic acid เป็นจำนวนมากและจะถูกเปลี่ยนไปเป็น propionic acid ต่อไป (เทอดชัย, 2535 ; เทอดชัย, 2542) กรดที่เกิดจากกระบวนการหมักย่อยตามทฤษฎีแล้วสามารถทำให้ความเป็นกรด – ด่าง ในกระเพาะรูเมนลดต่ำลงเหลือ 2.5 – 3.0 ได้แต่ในสภาพปกติความเป็นกรด – ด่าง ในกระเพาะรูเมนจะมีค่าอยู่ในช่วง 5.5 – 6.5 เนื่องจากฟอสเฟต (phosphate) และไบคาร์บอเนต (bicarbonate) ในน้ำลายทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (buffer) รักษาสภาพความเป็นกรด – ด่างไว้ ประกอบกับการดูดซึมกรดอย่างรวดเร็วทำให้รักษาสภาพความเป็นกรด – ด่างไว้ได้ (McDonald *et al.*, 1995) และความเป็นกรด – ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมนสามารถบ่งบอกถึงการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตได้ โดยถ้าหากความเป็นกรด - ด่างลดลงแสดงว่ามีการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตเกิดขึ้น ถ้าหากลดลงอย่างรวดเร็วแสดงว่าอาหารนั้นมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายนั้นหมายถึงมีพลังงานจำนวนมากในกระเพาะรูเมน ในทางตรงกันข้ามถ้าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ไม่ลดลงแสดงว่าคาร์โบไฮเดรตในอาหารนั้นย่อยสลายได้ยาก (เทอดชัย, 2535 ; เทอดชัย, 2542)

2.4.7 แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน

แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน (ruminal ammonia – nitrogen) เป็นสารตัวกลางระหว่างการย่อยโปรตีนโดยจุลินทรีย์และการสังเคราะห์โปรตีน ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนนั้นสามารถบ่งบอกถึงการย่อยสลายของโปรตีนจากอาหารในกระเพาะรูเมนได้ โดยถ้าหากระดับแอมโมเนียในกระเพาะหมักต่ำอาจแสดงว่าอาหารนั้นมีโปรตีนต่ำ หรือโปรตีนย่อยได้ต่ำ หรือโปรตีนสามารถทนทานต่อการย่อยสลาย มีผลทำให้การเจริญเติบโตหรือการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ต่ำลง ในทางตรงกันข้ามหากในอาหารมีโปรตีนมากเกินไป หรือมีการย่อยได้ของโปรตีนมากเกินกว่าการสังเคราะห์โปรตีน จะเกิดการสะสมแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน และมากเกินกว่าระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีน แอมโมเนียจะถูกดูดซึมผ่านกระแสเลือดไปยังตับและเปลี่ยนเป็นยูเรีย ซึ่งยูเรียบางส่วนจะกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนทางน้ำลายและซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนโดยตรง แต่ยูเรียส่วนใหญ่จะถูกขับออกทางปัสสาวะ และโปรตีนที่จุลินทรีย์ สังเคราะห์ได้นั้นเป็นโปรตีนที่สังเคราะห์มาจากแอมโมเนีย 40 – 70 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้ไนโตรเจนจากแหล่งอื่นคือ เปปไทด์ และกรดอะมิโน ในการสังเคราะห์โปรตีน (เทอดชัย, 2542 ; McDonald *et al.*, 1995)

ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนไม่ควรต่ำกว่า 5 mg/100 ml การเพิ่มระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่มีผลทำให้จุลินทรีย์มีการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้น ปกติความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมีค่าสูงสุดหลังจากสัตว์กินอาหาร 1 – 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดต่ำลง การรักษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียให้อยู่ในช่วง 3 - 8 mg/100 ml ให้นานจะทำให้มีการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ (Satter and Slyter, 1974)

2.4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด – ด่าง และแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน

ปริมาณโปรตีนจากจุลินทรีย์ที่เข้าไปยังลำไส้เล็กนั้นจะขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ (microbial protein synthesis) โดยมีปัจจัยที่สำคัญคือ แหล่งอาหารพลังงานและไนโตรเจน โดยถ้ามีแหล่งของพลังงานและไนโตรเจนเพียงพอและเหมาะสมแล้ว การสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ก็จะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (เทอดชัย, 2542)

ดังนั้น การวัดความเป็นกรด – ด่าง ในกระเพาะรูเมน (ruminal pH) ซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะการย่อยสลายแหล่งพลังงาน คือ คาร์โบไฮเดรต และการวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะการย่อยสลายโปรตีน ที่ชั่วโมงต่างๆ หลังจากสัตว์กินอาหารที่จะทำให้ทราบถึงอาหารนั้นมีความเหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์มากน้อยเพียงใด โดยถ้าการย่อยสลายทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนเกิดขึ้นอย่างสอดคล้องกัน ทำให้สันนิษฐานได้ว่าจะเกิดการสังเคราะห์โปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพ

2.5 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในโคนม (Digestibility studies in dairy cow)

การศึกษาการย่อยได้ (Digestibility studies) มีความหมายกว้างๆคือ การวัดปริมาณโภชนะหรืออาหารที่สูญหายไปในทางเดินอาหารส่วนต่างๆ ของโคโดยมีวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาคือ เพื่อประเมินความสามารถหรือประสิทธิภาพของโคในการนำเอาโภชนะหรืออาหารชนิดนั้นไปใช้ประโยชน์ และเพื่อศึกษาถึงปริมาณโภชนะที่สามารถย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารว่ามีมากน้อยเพียงใด (เทอดชัย, 2540)

การประเมินคุณค่าทางอาหารที่เป็นพื้นฐานคือ วิธีการวิเคราะห์แบบ proximate analysis (AOAC., 2000) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมานาน สามารถบอกองค์ประกอบทางเคมีได้ในระดับหนึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่มีข้อจำกัดเรื่องการวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นเยื่อใย จึงมีการพัฒนาการวิเคราะห์เยื่อใยขึ้น เรียกว่า detergent method (Van soest, 1982) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีนี้ก็ยังไม่สามารถบอกการย่อยได้ในตัวสัตว์ ตลอดจนการนำโภชนะต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ได้จริง ดังนั้นจึงมีการทดลองหาค่าการย่อยได้ทั้งในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) ได้แก่การประเมินค่าการย่อยได้และพลังงานด้วยวิธีวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น และการทดลองในตัวสัตว์โดยตรง (*in vivo*) ได้แก่ การศึกษาการย่อยได้โดยวิธีการแบบดั้งเดิมเพื่อหาการย่อยได้แบบปรากฏ และการใช้สารบ่งชี้

2.5.1 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility) โดยวิธีการแบบดั้งเดิม (convention method)

หลักการโดยทั่วไปของการศึกษาโดยวิธีการนี้คือ โคทดลองต้องมีอายุและขนาดน้ำหนักตัวใกล้เคียงกัน สุขภาพดี ไม่ตื่นตกใจง่าย ควรใช้โคทดลองมากกว่า 1 ตัว ทั้งนี้แม้ว่าจะเป็นสัตว์ชนิดเดียวกัน อายุและเพศเดียวกัน ก็อาจมีความสามารถในการย่อยอาหารที่แตกต่างกัน การมีจำนวนซ้ำมากจะทำให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องมากขึ้น แต่อาจสิ้นเปลืองแรงงานและค่าใช้จ่ายมาก แต่อย่างไรก็ตามพบว่าควรใช้สัตว์ทดลองอย่างน้อย 4 ตัว (บุญล้อม, 2540) วิธีการศึกษาการย่อยได้แบบนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วงคือ

1. **ระยะปรับตัว** (preliminary period) เป็นระยะเวลาที่ให้สัตว์ทดลองและจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมักปรับตัวให้เข้ากับอาหารที่ทำการทดลอง และเพื่อขับอาหารเดิมที่สัตว์ได้รับออกจากทางเดินอาหารให้หมด สำหรับโครยะนี้ควรใช้เวลาประมาณ 10 – 14 วัน
2. **ระยะเก็บข้อมูล** (collection period) เป็นระยะเวลาที่เก็บและบันทึกปริมาณอาหารที่สัตว์กิน และมูลที่ขับออกมาโดยวิธีการสุ่ม และเก็บตัวอย่างที่สุ่มมา 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ไว้เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อนำไปคำนวณค่าการย่อยได้โดยทั่วไประยะนี้ใช้เวลาประมาณ 7 – 10 วัน หากจำกัดปริมาณอาหารที่ให้ (restrict feeding) และ 10 – 14 วัน หากมีการให้อาหารแบบเต็มที่ (*ad lib*)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากเสร็จจากขั้นตอนการเก็บตัวอย่างในช่วง collection period แล้ว นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโภชนะที่มีในอาหารที่ศึกษาและในมูลที่โคขับออกมาเพื่อนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ที่เสนอโดยบุญล้อม (2540)

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

2.5.2 การศึกษาการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*in vivo*) โดยวิธีการใช้สารบ่งชี้ (indicator method)

การหาค่าการย่อยได้แบบดั้งเดิมบางครั้งอาจทำให้ได้ข้อมูลที่คาดเคลื่อนเนื่องจากต้องทราบปริมาณอาหารที่กินและมูลที่ขับออกมาทั้งหมด ซึ่งในระหว่างการทดลองการบันทึกปริมาณมูลที่ขับออกมาทั้งหมดนั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก วิธีการใช้สารบ่งชี้ (indicator or marker) ผสมกับอาหารที่ทำการศึกษาและใช้ปริมาณสารบ่งชี้ดังกล่าวเป็นตัวแปลในการคำนวณหาค่าการย่อยได้ ก็เป็นวิธีที่ช่วยแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ ซึ่งวิธีการหาค่าการย่อยได้โดยใช้สารบ่งชี้นั้นคล้ายคลึงกับการหาค่าการย่อยได้แบบดั้งเดิม

2.5.2.1 คุณสมบัติของสารบ่งชี้ (properties of marker)

โดยทั่วไปสารที่สามารถนำมาเป็นสารบ่งชี้ต้องมีคุณสมบัติคือ ต้องเป็นสารที่ไม่ถูกย่อยสลาย ไม่ถูกดูดซึมหรือมีผลต่อระบบทางเดินอาหารและต้องไม่มีผลต่อประชากรของจุลินทรีย์ภายในทางเดินอาหารของโคเมื่อผ่านทางเดินอาหารจะต้องเป็นเนื้อเดียวกับอาหารที่กำลังศึกษามีอัตราการไหลผ่านที่ใกล้เคียงกันโดยเฉพาะในกระเพาะหมักซึ่งเป็นแหล่งที่มีความแปรปรวนของอัตราการไหลผ่านเป็นอย่างมาก ที่สำคัญคือต้องสามารถตรวจพบได้ง่ายเมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณในอาหารหรือตัวอย่างทดลอง (Marais, 2000) และเมื่อผสมอาหารให้โคกินแล้วต้องสามารถขับออกมาได้ทั้งหมด (Rymer, 2000)

2.5.2.2 ประเภทของสารบ่งชี้

โดยทั่วไปสารบ่งชี้ที่ใช้ในการศึกษาการย่อยได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1.1 Internal indicator เป็นสาร หรือสารประกอบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยอาจอยู่ในอาหารที่สัตว์กินหรือเป็นส่วนหนึ่งของพืชอาหารสัตว์ มีราคาถูกเหมาะสำหรับศึกษาสัตว์ป่า หรือสัตว์เลี้ยงที่ปล่อยแปลงซึ่งยากต่อการให้กินสารบ่งชี้ที่ผสมในอาหาร สารบ่งชี้ประเภทนี้ที่สำคัญได้แก่ลิกนิน (lignin) ซึ่งพบว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่มีเอมไซม์ที่สามารถย่อยสลายพันธะ polymerized phenolic compound ของลิกนินได้ (Marais, 2000) แต่อย่างไรก็ตามลิกนินเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนองค์ประกอบทางเคมีของมันอาจมีความหลากหลายทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิดของพืชส่งผลให้ปริมาณที่กลับคืน (recovery rate) อาจไม่คงที่ (เทอดชัย, 24542) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร สารสีในพืช (plant chromogen) ซึ่งพบว่าสารชนิดนี้ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักและเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA) ส่วนใหญ่ได้แก่ซิลิก้า (silica) ซึ่งนิยมในการใช้หาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในไก่ และในโค (Marais, 2000) แต่การใช้เถ้าที่ไม่ละลายในกรดเป็นสารบ่งชี้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนถ้าอาหารที่ศึกษานั้นมีการปนเปื้อนด้วยดินหรือ ทราย

1.2 External indicator คือสารเคมีที่ผสมลงไปในอาหารทดลอง โดยปกติการใช้ชนิดนี้กับสัตว์นิยมให้ทางปาก หรือทางช่องเปิดบริเวณทางเดินอาหารต่างๆ ของสัตว์ (rumen fistula or intestine cannular) หรือให้โดยมีอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ (Marais, 2000) อาจมีการให้เป็นแบบครั้ง หรือเป็นจังหวะ (single pulse dose) หรือให้แบบต่อเนื่องตลอดช่วงการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้ปริมาณของสารบ่งชี้ใน digesta มีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน ช่วงเวลาที่ให้สัตว์ปรับตัวเพื่อให้มีปริมาณสารบ่งชี้ที่ขับออกมากับมูลอย่างสม่ำเสมอใช้เวลา 6 และ 8 วันในแกะและโคตามลำดับ (Marais, 2000) ซึ่งสารบ่งชี้ประเภทนี้ที่นิยมได้แก่ chromium EDTA หรือ Polyethylene glycol ซึ่งเป็นสารบ่งชี้ชนิด soluble markers ที่นิยมใช้กันมาก สารประกอบที่นิยมใช้กันมากอีกชนิดหนึ่งได้แก่ สารประกอบประเภท metal oxide และ salts ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำได้แก่ โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้เล็กน้อยในอัลคาไลน์และกรด นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดปริมาณมูลของสัตว์ทดลองที่ขับออกมา สารอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากและใช้ในการในการศึกษาครั้งนี้ คือ ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกว่าสารบ่งชี้ทุกชนิด เนื่องจากมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำละกรดเจือจาง ไม่ถูกดูดซึมโดยพืช ในแกะพบว่าไม่มีผลกระทบใดๆ แม้ว่าจะได้รับไททาเนียมออกไซด์ 2 – 3 กรัมต่อวัน นอกจากนี้ยังสามารถถูกขับออกมากับมูลได้เกือบหมด (98% recovery rate) วิธีตรวจหาไททาเนียมออกไซด์ทำได้โดยการใช้ spectrophotometer หลังจากเกิดปฏิกิริยา oxidation กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide) (Brandt *et al.*, 1983) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะโดยวิธีการใช้สารบ่งชี้ตามสมการที่เสนอโดย เทอดชัย (2540) ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ (\%)} = 100 - 100 \left| \frac{\text{\% สารบ่งชี้ในอาหาร}}{\text{\% สารบ่งชี้ในมูล}} \times \frac{\text{\% โภชนะในมูล}}{\text{\% โภชนะในอาหาร}} \right|$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

มีปัจจัยอยู่หลายประการที่สามารถทำให้อัตราการย่อยได้ของอาหารที่ให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้องเปลี่ยนแปลงไปได้ ปัจจัยเหล่านั้นได้แก่

1. ปริมาณอาหารที่สัตว์ได้รับ การเพิ่มปริมาณอาหารที่ให้กับสัตว์ หรือปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้การย่อยได้ของโภชนะที่เป็นแหล่งของพลังงานลดน้อยลง แต่การย่อยได้ของโภชนะอื่นๆ เปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนถ้าพิจารณากันในด้านของ Apparent digestibility แต่ถ้าพิจารณาในด้าน True digestibility แล้วพบว่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุจะลดลง เนื่องจากปริมาณอาหารที่มากขึ้น ทำให้อาหารเดินทางผ่านทางเดินอาหารเร็วขึ้น

2. ปริมาณเยื่อใยและ Lignin ที่มีอยู่ในอาหาร โดยทั่วไปแล้วเป็นที่ยอมรับกันว่า การย่อยได้จะลดลง ถ้าปริมาณเยื่อใยในอาหารเพิ่มขึ้น และเนื่องจากว่า ปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ Lignin ที่เพิ่มขึ้นด้วยซึ่ง Lignin นี้จะเข้าจับตัวกับ Cellulose และ Hemicellulose ทำให้เอนไซม์ของจุลินทรีย์เข้าย่อย Cellulose และ Hemicellulose ได้น้อยลง ดังนั้นถ้าอาหารมี Lignin และ/หรือมีเยื่อใยเพิ่มขึ้น การย่อยได้ก็จะลดลง

3. ความแตกต่างด้าน Species ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัวย่อยอาหารหยาบแห้งได้ดีกว่าแกะ แต่แกะย่อยอาหารข้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งไขมันได้ดีกว่าวัว สัตว์เคี้ยวเอื้องทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการย่อยวัตถุแห้ง โปรตีน Digestible energy ไม่แตกต่างกัน

4. การขาดโภชนะบางอย่าง การขาดโภชนะชนิดใดชนิดหนึ่ง อาจจะมีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนะบางอย่างลดน้อยลง เช่น การขาดโปรตีนจะทำให้ Digestible energy ลดน้อยลง ทั้งนี้อาจเนื่องจาก การขาดโปรตีนทำให้การทำงานของจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพลดน้อยลงกว่าเดิมและการขาดไวตามิน เอ จะทำให้เกิดอาการท้องร่วง

5. ความน่ากินของอาหาร จะมีผลโดยตรงต่อปริมาณอาหารที่กินได้ (Intake) ทำให้มีผลต่อเนื่องถึงอัตราการย่อยได้ด้วย

6. ความถี่ในการให้อาหาร การเพิ่มความถี่ในการให้อาหารที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การย่อยได้ดีขึ้น และอาจทำให้ Heat loss ลดน้อยลง และ N-retention ดีขึ้น

7. การเตรียมอาหารหรือการแปรรูปอาหาร วิธีการบางอย่างในการเตรียมอาหาร หรือการแปรรูปอาหาร เช่น การบด การอัดเม็ด การใช้ความร้อน จะมีผลต่อการย่อยได้ที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ความร้อนจะช่วยให้การย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตดีขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

8. The associative effect of feedstuffs เป็นปรากฏการณ์ที่อาหารบางชนิด เมื่อนำมาร่วมกับอาหารชนิดอื่นในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องแล้ว จะทำให้การย่อยได้หรือคุณค่าทางอาหารเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมที่เคยมีการย่อยได้ในระดับหนึ่งเมื่อใช้เป็นอาหารสัตว์เฉพาะอาหารชนิดนั้นๆ แต่เพียงชนิดเดียว

9. การปรับตัวให้เข้ากับอาหารชนิดใหม่ สัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีข้อแตกต่างจากสัตว์กระเพาะเดี่ยวในด้านการปรับตัวให้เข้ากับอาหารชนิดใหม่ ได้แก่ การใช้เวลาในการปรับตัวนานกว่า เนื่องจากภายในกระเพาะส่วนหน้าของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ ดังนั้น การเปลี่ยนอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงต้องมีการให้เวลาช่วงหนึ่งสำหรับจุลินทรีย์ในการปรับตัวให้เคยชินกับอาหารชนิดใหม่ ในระยะแรกของการเปลี่ยนอาหาร อาจจะพบว่า การย่อยได้น้อยลงกว่าปกติ และเมื่อเวลาผ่านไป 2 – 3 สัปดาห์ การย่อยจะดีขึ้น เนื่องจากมีการปรับตัวของจุลินทรีย์ได้ดี

2.6 การเปิดทางเดินอาหารโดทดลองสำหรับใช้ในการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ (Rumen fistulation, Duodenal and ileum cannulation for digestibility study in dairy cow)

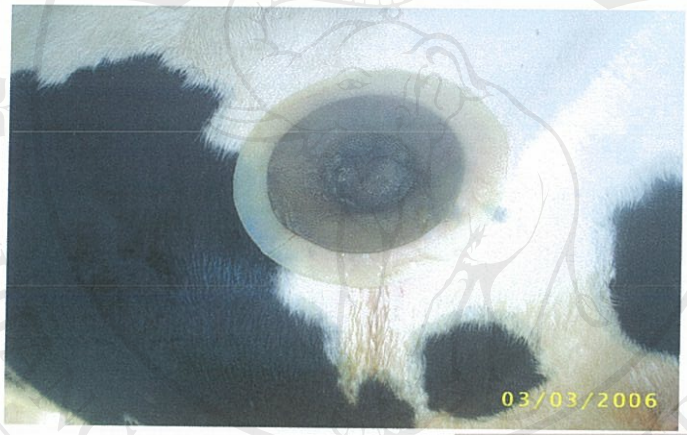
ในการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยได้ และเมตาบอลิซึมของอาหารโคนมเพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ชัดเจนในทุกส่วนของทางเดินอาหาร จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้สัตว์ทดลองที่ได้รับการผ่าตัดสอดท่อเก็บตัวอย่าง (cannula) ในส่วนต่างๆ ของทางเดินอาหารแก่ กระเพาะหมัก (rumen) ลำไส้เล็กส่วนต้น (proximal duodenum) ลำไส้เล็กส่วนปลาย (terminal ileum) ทั้งนี้เนื่องจากสรีรวิทยาการย่อยอาหาร และกายวิภาคของทางเดินอาหารของโคนมมีความซับซ้อนมากกว่าทางเดินอาหารของสัตว์ชนิดอื่น ดังในการที่จะบรรลุถึงวัตถุประสงค์ดังกล่าวจำเป็นจะต้องมีการเก็บตัวอย่างอาหาร (digesta) ที่เคลื่อนที่ผ่านทางเดินอาหารในแต่ละส่วน ตลอดจนน้ำในกระเพาะหมัก (rumen fluid) สำหรับนำมาวิเคราะห์หาโภชนะต่างๆ (เทอดชัย และทัศนีย์, 2531)

วัสดุสำหรับทำอุปกรณ์ฝาปิดกระเพาะหมักและท่อเก็บตัวอย่างจากลำไส้เล็กมีอยู่หลายชนิด ทั้งที่เป็นวัสดุแข็ง เช่น พีวีซี และวัสดุที่มีความอ่อนตัว เช่น ยาง ซิลิโคน ทั้งนี้พบว่าซิลิโคนซึ่งเป็นสารโพลิเมอร์ (polymer) ที่มีซิลิกอน (silicon) เป็นส่วนประกอบ เมื่อนำมาผ่านความร้อนจะให้สารที่มีคุณสมบัติอ่อนตัวเหมือนยางแต่มีความเหนียว สามารถคงรูปได้ตลอด ทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีใดๆ (เทอดชัย และทัศนีย์, 2531)

การผ่าตัดเพื่อเปิดท่อทางเดินอาหารบริเวณกระเพาะหมัก (rumen fistulation) สามารถทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีผ่าตัดแบบครั้งเดียว (one – stage operation) ซึ่งจะเปิดผ่าผิวหนังพร้อมกับกระเพาะหมัก แล้วสอดท่อ Fistula ในคราวเดียวกัน หรือวิธีผ่าตัดสองครั้ง (two – stage operation) ซึ่งจะเปิดผ่าผิวหนังแล้วเย็บติดผิวหนังกับกระเพาะหมักรอจนกระทั่งแผลเชื่อมติดกันสนิทจึงเปิดแผลที่กระเพาะหมักเพื่อสอดท่อ Fistula ทั้งนี้ขึ้นกับอุปกรณ์ ชนิดและขนาดของสัตว์ทดลอง เช่น แกะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นิยมใช้การผ่าตัดแบบครั้งเดียว ในขณะที่การผ่าตัดแบบสองครั้ง นิยมนำมาใช้กับการผ่าตัดสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น โค เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดอาการช่องท้องอักเสบ (peritonitis) ถึงแม้ว่าจะต้องใช้เวลามากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การผ่าตัดแบบครั้งเดียวในโคนมได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกและลดขั้นตอนการผ่าตัดลงได้ และยังป้องกันการเกิดอาการช่องท้องอักเสบได้มีประสิทธิภาพขึ้น (ทัศนีย์ และเทอดชัย, 2530) (ภาพ 4) สำหรับการผ่าตัดเพื่อสอดท่อเก็บตัวอย่างที่ลำไส้เล็กนั้นมี 2 ตำแหน่งด้วยกันคือ ที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น (proximal duodenum) และลำไส้เล็กส่วนปลาย (terminal ileum) ท่อที่ใช้สอดมีลักษณะเป็นรูปตัวที (simple–T shaped cannula) (ภาพ 5) ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างทั้งสองตำแหน่งถือเป็นตัวแทนของตัวอย่างอาหารที่เดินทางผ่านเข้าออกบริเวณลำไส้เล็ก ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บได้นี้จะสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณโภชนะของอาหารทดลองที่ตัวโคนมใช้ประโยชน์ได้จริงโดยไม่เกิดจากจุลินทรีย์



ภาพ 4 โคทดลองที่ได้เปิดทางเดินอาหารบริเวณกระเพาะหมัก (Rumen fistulated cow)

ภาพ 5 โคทดลองที่ได้ใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารบริเวณลำไส้เล็ก (Cannulated cow)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved