บทที่2

ตรวจเอกสาร

มันสำปะหลัง (Cassava**)**

มันสำปะหลังมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ***Manihot esculenta Crantz*** อยู่ในวงศ์ (Family) : Euphorbiaceae มีชื่อสามัญอื่น ๆ : Manioc, Tapioca

2.1 แหล่งกำเนิด และนิเวศวิทยา

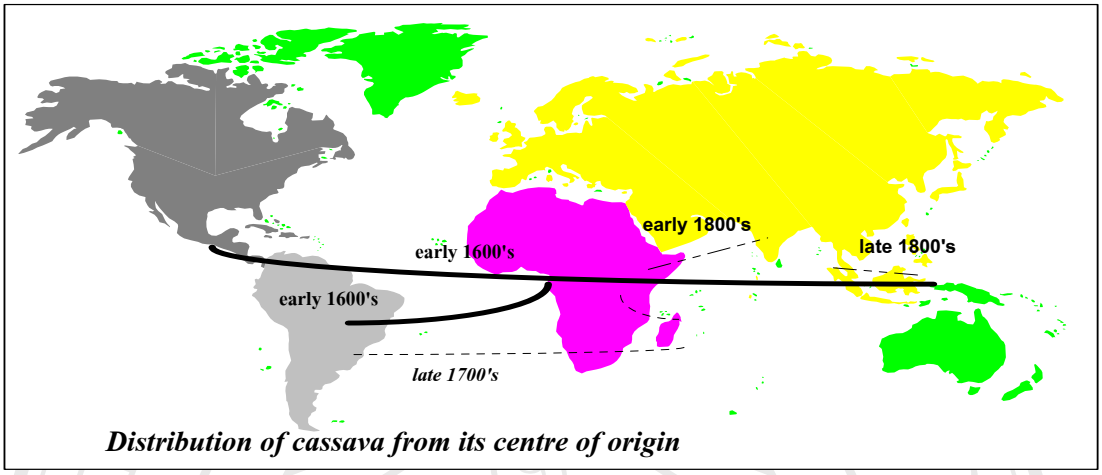
มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดในแถบอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ โดยสันนิษฐานไว้ 3 แหล่ง คือ

1. ประเทศบราซิล พบว่าในประเทศนี้มีพันธุ์ป่าของมันสำปะหลังจำนวนมาก
2. ทางเหนือของอเมริกาใต้ แถบชายฝั่งทะเลคาริบเบียน ประเทศโคลัมเบีย และเวเนซูเวลา โดยพบหลักฐานทางโบราณคดี และพบพันธุ์ป่าขึ้นอยู่บ้าง
3. บริเวณอเมริกากลาง แถบประเทศเม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัส เปรู โดยพบพันธุ์ป่า และเมล็ดมันสำปะหลังที่มีอายุเก่าแก่ประมาณ 4,000 ปี

มันสำปะหลังได้แพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดไปสู่ทวีปอัฟริกาในราวศตวรรษที่ 15 เรื่อยมาจนถึงศตวรรษที่ 18 สำหรับในทวีปเอเชียนั้นมีการแพร่กระจายของมันสำปะหลังเข้ามาสู่ประเทศอินเดียประมาณต้นศตวรรษที่ 18 จากนั้นประมาณปลายศตวรรษที่ 18 ได้มีการแพร่กระจายเข้าสู่ประเทศฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย มาเลยเซียและไทยในที่สุด ทั้งนี้เป็นไปตามการขยายอาณานิคมของชนชาติยุโรป (ภาพ 1)

มันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงละติจูด 30°N ถึง 30°S แต่แหล่งปลูกส่วนใหญ่อยู่ระหว่างช่วงละติจูด 20°N-S ต้องการอุณหภูมิเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า หากอุณหภูมิต่ำการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังจะช้า ให้ผลผลิตต่ำ เพราะไม่ทนต่อสภาพหนาวเย็น หรือมีน้ำค้างแข็ง (frost) อย่างไรก็ตามพบว่าในแถบเส้นศูนย์สูตร มีมันสำปะหลังขึ้นได้ในที่สูงจากระดับน้ำทะเลถึง 5,000 ฟุต แต่การเจริญเติบโตจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับในที่สูงระหว่าง 0 - 1,000 ฟุต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 1 การแพร่กระจายของมันสำปะหลังจากแหล่งกำเนิด

มันสำปะหลังไม่ชอบสภาพร่มเงา ถ้าอยู่ในสภาพร่มเงาผลผลิตจะต่ำ ใบหลุดร่วงง่าย อายุใบสั้นลง ชอบสภาพแดดจัด มีช่วงแสงยาว 10 - 12 ชั่วโมง จัดเป็นพืชในกลุ่ม C_3 มีอัตราการเจริญเติบโต (CGR) ระหว่าง 8 - 25 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) สูงถึง 7 - 12

มันสำปะหลังทนความแล้งได้ดี สามารถขึ้นได้ในที่มีฝนเฉลี่ยปีละ 500 -1500 มม. หรือมากกว่า แต่ไม่สามารถทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง

ดินที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ควรเป็นดินทราย หรือดินร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดี และมีความอุดมสมบูรณ์พอสมควร ทนต่อสภาพดินกรด pH ต่ำถึง 4.5 ได้ดี แต่ในดินที่มี pH มากกว่า 8 ก็ไม่เหมาะสำหรับปลูก

มันสำปะหลังถูกแบ่งตามปริมาณกรดไซยานิก (HCN) ในหัวได้ 2 ชนิด คือ

- ♦ Sweet cassava พวกที่มี HCN ต่ำ
- ♦ Bitter cassava พวกที่มี HCN สูง พวกนี้หัวมักมีสีเหลือง

และสามารถแบ่งตามอายุออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

- Short season ประเภทนี้จะเริ่มมีหัวแก่ พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 6 เดือน และไม่สามารถทิ้งไว้เกิน 9 -11 เดือน ส่วนใหญ่เป็น sweet cassava

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- Long season ประเภทนี้จะแก่เมื่อมีอายุตั้งแต่ 1 ปีขึ้นไป และสามารถปล่อยทิ้งไว้ถึง 3 - 4 ปี ได้ ส่วนใหญ่เป็น bitter cassava

2.2 แหล่งปลูก

แหล่งปลูกมันสำปะหลังของโลก มีอยู่ใน 3 ทวีปคือ อัฟริกา เอเชีย และอเมริกาใต้ โดยมีในประเทศต่าง ๆ ดังนี้ ประเทศไนจีเรีย บราซิล ไทย อินโดนีเซีย คองโก กานา อินเดีย แทนซาเนีย ยูกันดา และโมซัมบิก (ตาราง 1) สำหรับแหล่งปลูกของประเทศไทย คือ จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออก (ตาราง 2) ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยสูงเป็นลำดับที่สามของโลก ประมาณ 19 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 4.1 ของผลผลิตโลก และมีผลผลิตเฉลี่ย 2,594 - 2,908 กก. ต่อไร่

การแผ่อิทธิพลของชนชาติยุโรปมายังทวีปเอเชียทำให้มีการนำเอาปลูกมันสำปะหลังมาปลูกในภาคใต้ของประเทศไทยกว่า 70 - 80 ปีมาแล้ว และเรียกว่า “มันเทศ” แต่มีหลักฐานพบว่ามันสำปะหลังถูกนำเข้ามาปลูกครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2480 โดยนายทวน คมกฤช ได้นำพันธุ์จากประเทศมาเลเซียและฟิลิปปินส์เข้ามาปลูกทดสอบที่สถานีทดลองยางคอหงส์ สำหรับการปลูกเพื่อเป็นการค้าเริ่มแพร่หลายเมื่อประมาณ 30 ปีที่ผ่านมา โดยปลูกครั้งแรกในแถบจังหวัดภาคตะวันออกและแถบจังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี ต่อมาได้กระจายไปยังจังหวัดต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออย่างรวดเร็วด้วยสาเหตุต่าง ๆ คือ

1. การคมนาคมสะดวกขึ้น เช่น ถนนมิตรภาพและ ถนนนครราชสีมา - ชลบุรี ซึ่งทำให้มีการนำมันสำปะหลังจากภาคตะวันออกไปปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากขึ้น
2. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปัญหาการปลูกปอ เนื่องจากสาเหตุย่อย ๆ คือ
   - ราคาไม่แน่นอน
   - ขาดแหล่งน้ำแช่ฟอกปอ
   - ปัญหายุ่งยากในการจัดการแรงงาน
3. มันสำปะหลังทนแล้งได้ดีกว่าพืชอื่น
4. มันสำปะหลังสามารถขึ้นในที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5. การตั้งโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังง่ายและลงทุนไม่มากนัก
6. มันสำปะหลังไม่จำกัดเวลาการเก็บเกี่ยว คือสามารถเก็บเกี่ยวเมื่อมีแรงงานพอ หรือสามารถทิ้งไว้ในแปลงเพื่อรอราคาได้
7. สามารถปลูกได้ตลอดปี

ตาราง 1. เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตรวม และเฉลี่ยผลผลิตต่อไร่ของมันสำปะหลังในแหล่งปลูกสำคัญของโลก ในปี 2543

ประเทศ	เนื้อที่		ผลผลิตรวม		ผลผลิตเฉลี่ย
	(1,000 ไร่)	%	(1,000 ตัน)	%	(กก./ไร่)
Nigeria	19,200	15.3	32,697	18.7	1,703
Brazil	10,667	10.9	22,960	10.1	2,152
Thailand	7,068	3.9	19,049	4.1	2,695
Indonesia	8,500	6.2	16,347	2.4	1,923
Congo	6,855	3.4	15,959	2.3	2,328
Ghana	4,063	2.4	7,845	2.2	1,931
India	1,563	2.2	5,800	1.5	3,711
Tanzania	5,301	3.2	5,758	1.2	1,086
Uganda	2,388	1.6	4,966	0.9	2,080
Mozambique	5,000	0.9	4,643	0.8	929
Others	30,014		36,713		1,223
Total	**100,619**	**100**	**172,737**	**100**	**1,717**

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2545) http://oae.go.th/yearbook/2000-01/

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2. แหล่งปลูก เนื้อที่ปลูก และผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย ปี พ.ศ.2543

ภาค	จังหวัด	เนื้อที่ปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	เฉลี่ย (กก./ไร่)
เหนือ	กำแพงเพชร พิษณุโลก	1,035,360	2,669,761	2,685
ตะวันออกเฉียงเหนือ	อุดรธานี หนองคาย กาฬสินธุ์ ขอนแก่น มหาสารคาม ร้อยเอ็ด บุรีรัมย์ อุบลราชธานี นครราชสีมา ชัยภูมิ นครพนม สกลนคร	4,219,849	10,472,343	2,594
ภาคกลาง	ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ปราจีนบุรี ระยอง จันทบุรี (ตะวันออก) กาญจนบุรี ราชบุรี	2,150,742	5,922,180	2,908
รวม พ.ศ. 2543		7,405,971	19,064,284	2,695
พ.ศ. 2542		7,199,540	16,506,625	2,479
พ.ศ. 2541		6,693,742	15,590,556	2,388

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2545) http://oae.go.th/yearbook/2000-01/

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 พันธุ์

มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 1 และพันธุ์พื้นเมือง เป็นพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดในปัจจุบัน เพื่อใช้หัวทำแป้งและอาหารสัตว์ มีขนาดทรงต้นสูง 2 - 3 เมตร อายุปี 1 - 2 ลำต้นไม่แตกแขนง อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือนให้ผลผลิต 2 - 4 ตันต่อไร่ มันสำปะหลังสำหรับรับประทานคือ พันธุ์ห้านาที มีขนาดต้นสูง 2 - 3 เมตร ลำต้นสามารถแตกกิ่งแขนง อายุเก็บเกี่ยว 8 - 10 เดือน ผลผลิต 3 - 4 ตันต่อไร่ เป็นที่เข้าใจว่าทั้งสองพันธุ์ได้รับการคัดเลือกโดยธรรมชาติจากพันธุ์ที่นำเข้ามาและผ่านการปรับตัวในระยะแรก ๆ ของการปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทย

สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร และภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นหน่วยงานในประเทศไทยที่ค้นคว้าและปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังมานานกว่า 20 ปี โดยการนำพันธุ์มันสำปะหลังจาก CIAT (Centro International de Agriculture Tropical) ประเทศโคลัมเบีย และจากประเทศอินโดนีเซีย เข้ามาทำการคัดเลือก และผสมพันธุ์เพื่อปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังในประเทศไทย ขณะนี้ได้มีการเผยแพร่และจดทะเบียนพันธุ์แล้ว มันสำปะหลังที่มีลักษณะดีขึ้นจากพันธุ์มาตรฐานเดิมที่แนะนำและกสิกรนิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์ ระยอง 3 พันธุ์ระยอง 60 พันธุ์ระยอง 90 และพันธุ์ระยอง 5 จากผลงานของศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ส่วนผลงานของคณะเกษตร ได้แก่ พันธุ์ศรีราชา 1 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (ตาราง 3)

ตาราง 3. ลักษณะมันสำปะหลังพันธุ์ที่นิยมปลูก

พันธุ์	ลำต้น				ผลผลิตเฉลี่ยหัวสด (ตัน/ไร่)	% แป้ง		ระยะเวลาการเก็บต้นพันธุ์ (วัน)	แหล่งปลูก
	ลักษณะ	สี	ความสูงเฉลี่ย (ซม.)	แตกกิ่งแรกที่ความสูงต้นเฉลี่ย (ซม.)		ฤดูฝน	ฤดูแล้ง		
ระยอง 90	โค้งปานกลาง	น้ำตาลอมส้ม	150 – 200	80 - 120	4.0	25	30	15	ทุกภาคของประเทศ
เกษตรศาสตร์ 50	โค้งเล็กน้อย	เขียวเงิน	180 – 250	80 – 150	4.4	23	28	30	ทุกภาคของประเทศ
ระยอง 5	ตรง	เขียว	150 – 200	80 – 150	4.4	23	28	30	ทุกภาคของประเทศ
ระยอง 72	ตรง	เขียว	180 – 250	แตกกิ่งน้อย	5.2	22	28	30	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
					4.9	20		30	ภาคตะวันออก

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2545)

2.4 การใช้ประโยชน์

โดย ทั่วๆไปมีการนำมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ได้ 2 ทางดังนี้

1. ใช้เป็นอาหารสัตว์ โดยการแปรรูปหัวมันสำปะหลังสดให้เป็นมันสำปะหลังเส้น และมันสำปะหลังอัดเม็ด ผลิตภัณฑ์ทั้งสองอย่างจัดว่าเป็นการใช้ประโยชน์ของมันสำปะหลังที่สำคัญที่สุดของไทย
2. แปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง ปัจจุบันมีอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง 2 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลังดิบ และแป้งมันสำปะหลังดัดแปลง(modified starch) ซึ่งแป้งทั้งสองชนิดกำลังมีบทบาทเพิ่มมากขึ้น แป้งมันสำปะหลังแปรรูปสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอื่น ๆ อีกมากเช่น ผงชูรส ไลซีน สารความหวาน (กลูโคส ซอบิตอล ไฮฟรักโตส) อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมไม้อัด อุตสาหกรรมกาว นอกจากนี้ยังมีการคิดค้นพบผลิตภัณฑ์ใหม่จากมันสำปะหลัง ได้แก่ สารดูดน้ำ (high water absorbing polymer) พลาสติกที่สลายตัวทางชีวภาพ ซูโครสเดกซ์ตริน และแอลกอฮอล์

ที่มาของข้อมูล : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2545)

2.5 องค์ประกอบของมันสำปะหลังที่ใช้เป็นอาหารสัตว์

มันสำปะหลังมีคุณค่าทางโภชนะโดยเฉพาะพลังงานสูง จัดเป็นอาหารให้พลังงานแก่สัตว์ที่มีราคาถูกกว่า รำละเอียด ข้าวโพด และข้าวฟ่าง มีรายงานว่า สามารถใช้มันสำปะหลังเป็นส่วนผสมในอาหารสุกร ไก่ และโค แทนหรือลดการใช้ข้าวโพด หรือข้าวฟ่างได้ แต่อาจทำให้ได้ ผลผลิตและน้ำหนักตัวของสัตว์ลดลงบ้าง สาเหตุอาจเนื่องจากการขาดโปรตีนบางอย่าง และอาจเนื่องจากพิษของกรดไซยานิค หรือเนื่องจากประสิทธิภาพการย่อยได้ต่ำ (Wanapat *et al*, 2000a)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 มันเฮย์ (cassava hay)

มันเฮย์ผลิตได้มาจากการเก็บเกี่ยวส่วนของมันสำปะหลังครั้งแรกเมื่ออายุประมาณ 3 เดือนหลังปลูก หลังจากนั้นเก็บเกี่ยวทุกๆ 2 เดือน เป็นแหล่งที่มีระดับของโปรตีนสูง (25% ของวัตถุแห้ง) และใช้เป็นแหล่งโปรตีนเสริมในสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยเฉพาะอาหารโคเป็นอย่างดี

2.6.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะของมันเฮย์

มันสำปะหลังเป็นพืชที่สะสมอาหารในส่วนราก ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแป้ง เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์ จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนะพบว่า แป้งมัน มันเส้น มันอัดเม็ด เปลือกมัน กากมันสำปะหลัง มีระดับโปรตีนต่ำ แต่มีส่วนของแป้งหรือพลังงานสูง (เมธา และคณะ, 2538)

เมธา และฉลอง (2533) รายงานว่า จากการนำส่วนของใบมันสำปะหลังไปตากแห้ง พบว่าสามารถใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับการเลี้ยงสัตว์ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนะต่างๆในระดับสูง โดยเฉพาะเป็นแหล่งโปรตีนเสริม กล่าวคือ มีวัตถุแห้ง (dry matter, DM) 90% และมีโภชนะต่างๆเมื่อคิดเป็นวัตถุแห้ง ดังนี้ มีโปรตีนที่ย่อยได้ (digestible protein, DP) 18.3% โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient, TDN) 56% โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) 24.7% ไขมัน (ether extract, EE) 5.9% เยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF) 17.3% nitrogen free extract (NFE) 44.2% เถ้า (ash) 7.9% แคลเซียม (calcium, Ca) 1.5% ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) 0.4% เยื่อใย NDF (neutral detergent fiber) 29.6% และเยื่อใย ADF (acid detergent fiber) 24.1 % (ตาราง 4)

Wanapat *et al*. (2000a) ได้ทำการศึกษาวิจัยโดยทำการเก็บมันทั้งต้นโดยหักเหนือจากพื้น 15 - 30 เซนติเมตร ที่อายุ 3 เดือน นำมาตากแห้งเพื่อผลิตมันเฮย์ (cassava hay, CH) พบว่ามีคุณค่าทางโภชนะสูง และเมื่อเปรียบเทียบกับ alfalfa hay และกากถั่วเหลืองพบว่ามีส่วนประกอบของกรดอะมิโนในปริมาณที่สูงกว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่ง methionine (Met) isoleucine (Ile) และ lysine (Lys) ซึ่งสอดคล้องกับ Phuc *et al.* (2001) ที่ได้ทำการเปรียบเทียบกรดอะมิโน methionine และ lysine ในใบมันสำปะหลังแห้ง ถั่วอัลฟัลฟ่าแห้ง และกากถั่วเหลือง

เจริญศักดิ์ และคณะ (2531) ศึกษาปริมาณโปรตีนในใบมันสำปะหลังทั้งหมด 13 พันธุ์ พบว่า มีโปรตีนหยาบในใบเฉลี่ย 23.7% ถือว่าเป็นใบพืชที่มีโปรตีนสูง สามารถนำมาเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารสัตว์ทดแทนโปรตีนที่มีราคาสูง เช่นกากถั่วเหลือง แต่การนำใช้ใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งโปรตีนยังมีอยู่น้อย ทั้งๆที่ปริมาณใบมันสำปะหลังที่เป็นผลพลอยได้จากการปลูกมันสำปะหลังมีอยู่ในปริมาณมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2 การปลูก การเก็บเกี่ยว และการจัดทำมันเฮย์

จากการศึกษาของ Wanapat *et al.* (1997, 2000a, 2000b, 2000c) ได้แสดงรายละเอียดในการปลูกและการจัดทำมันเฮย์ไว้โดยการปลูกมันสำปะหลังสำหรับการทำมันเฮย์มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้ของมันสำปะหลังทั้งต้นโดยมีหัวมันเป็นผลพลอยได้

ตาราง 4. องค์ประกอบทางเคมีของใบมันแห้ง และมันเฮย์

Item	ใบมันแห้ง [1]	มันเฮย์ [2]
DM %	90.0	86.3
	.....% of DM.....	
Digestible protein , DP	18.3	-
Total digestible nutrient, TDN	56.0	-
Crude protein, CP	24.7	25.0
Crude fiber, CF	17.3	-
Neutral detergent fiber,NDF	29.6	44.3
Acid detergent fiber,ADF	24.1	30.3
Acid detergent lignin ,ADL	-	5.8
Ether extract, EE	5.9	-
Nitrogen free extract ,NFE	44.2	-
Ash	7.9	17.5
Ca	1.5	2.4
P	0.4	0.03
Secondary compounds		
Tannins	7.3	3.9
Hydrocyanic acid, mg%	0.59 [3]	0.35

Source: [1/] เมธา และฉลอง (2533)

[2/] Wanapat *et al*. (2000a)

[3/] Phuc *et al*. (2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Wanapat *et al.* (2001) ได้แสดงให้เห็นว่าการปลูกมันสำปะหลังที่ระยะ 60 x 40 ซม.โดยเริ่มเก็บเกี่ยวที่อายุ 3 เดือน และเก็บเกี่ยวหลังจากนั้นในทุก 2 เดือนโดยหักส่วนต้นเหนือจากพื้นดินประมาณ 10 ซม. และนำไปผึ่งแดดหรือสับก่อนผึ่งแดดเพื่อให้มีระดับวัตถุแห้งที่ 75 - 85% โดยใช้ระยะเวลาในการผึ่ง 2 - 3 วัน แต่เมื่อทำการสับจะช่วยลดระยะเวลาของการผึ่งแดดลง ที่สำคัญคือผึ่งให้ใบแห้งกรอบและส่วนของก้านและลำต้นเริ่มเหี่ยว ในการผึ่งแดดจะสามารถลดปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) ได้ถึง 90% และจะเพิ่มความน่ากินและมีอายุการเก็บได้นานขึ้น

จากการศึกษาเบื้องต้นโดย เมธา และคณะ (2543) พบว่า การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่มีอายุตั้งแต่ 2 - 3 เดือนเพื่อผลิตมันเฮย์ โดยหักให้สูงจากพื้นดินประมาณ 10 - 15 ซม.และหลังจากนั้นทำการเก็บทุกๆ 2 - 3 เดือนหลังจากการเก็บครั้งแรก พบว่า ผลผลิตของมันเฮย์สดได้ 990 - 2,060 กก/ไร่/ปี หรือคิดเป็นน้ำหนักแห้งได้เท่ากับ 246.2 - 528.2 กก./ไร่/ปี และระยะปลูก 50 x 30 ซม. มีแนวโน้มการให้ผลผลิตมันเฮย์มากกว่าระยะปลูก 60 x 30 และ 100 x 30 ซม. และการเก็บ มันเฮย์หลังจากปลูก 2 หรือ 3 เดือน และเก็บทุกๆ 2 เดือน หลังจากเก็บเกี่ยวครั้งแรก พบว่า ปริมาณมันเฮย์ที่เก็บได้ไม่แตกต่างกัน แต่เก็บได้มากกว่าการเก็บมันเฮย์หลังจากปลูก 3 เดือน และเก็บทุกๆ 3 เดือนจากการเก็บเกี่ยวครั้งแรก

Froelich (Wanapat, personal contact) พบว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบมันที่เก็บเมื่ออายุ 3 เดือน มีค่าโปรตีนหยาบ 32 % เยื่อใย 7% NDF 20 % และ ADF 13% ตามลำดับ และพบว่าการเก็บผลผลิตใบมันตามการเก็บเกี่ยวเมื่ออายุประมาณ 10 เดือน จะได้ผลผลิต 1.3 กก./เฮกตาร์ แต่เมื่อมีการปลูกวิธีใหม่ และเก็บเกี่ยวเมื่ออายุเริ่มต้นที่ 3 เดือน และทุกๆ 2 เดือน จะได้ผลผลิต 5 - 8 ตัน/เฮกตาร์ โดยน้ำหนักสดหรือประมาณ 1.5 - 2.4 ตัน/เฮกตาร์โดยน้ำหนักแห้ง

Bezkorowajnyi *et al.* (1986) ได้ศึกษาโดยการเก็บใบมันสำปะหลังเมื่ออายุ 6 เดือนและเก็บในส่วนล่างของต้นประมาณครึ่งหนึ่ง สามารถเก็บใบมันแห้งได้ถึง 50 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อไร่ต่อการเก็บเกี่ยว 2 ครั้ง

สุนีย์ (2539) ได้ศึกษาโดยเก็บเกี่ยวหัวมันที่อายุ 8 เดือนจะได้ปริมาณของใบมันทั้งหมดถึง 925 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นใบมันแห้งมากถึง 308 กิโลกรัมต่อไร่หรือประมาณ 2 ตัน/ เฮกตาร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.3 มันเฮย์เป็นแหล่งของโปรตีนและสารประกอบคอนเด้นท์แทนนินส์

มันเฮย์มีสารประกอบคอนเด้นส์แทนนินส์ (condensed tannins , CT) หรือโพรแอนไธไซยานิดินส์ (proanthocyanidins, PC) ซึ่งพบได้ทั่วไปในพืชเขตร้อน CT เป็นสารประกอบฟีโนลิกส์ (phenolics) ซึ่งสามารถละลายได้ง่ายในน้ำและสามารถตกตะกอนโปรตีนได้ โดยพบว่า CT และโปรตีนจะจับกันอยู่ในรูปของ tannins-protein complexes (TPC) ด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยเฉพาะ

อย่างยิ่งที่สภาวะเป็นด่าง TPC จะคงสภาพที่ pH 3.5 - 7.0 และจะเกิดการแตกตัวเมื่อระดับ pH < 3.0 และ > 8.0 (Reed, 1995)

เมธา และคณะ (2543) รายงานว่าในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเพื่อทำมันเฮย์ในระยะเวลา 3 เดือนหลังการปลูก พบว่ามีโปรตีนหยาบเป็นองค์ประกอบสูง 25 % และมีกรดอะมิโนเป็นส่วนประกอบอยู่สูง จากการศึกษาความสามารถของการกินได้และการย่อยได้ของโคพบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามันเฮย์มีความน่ากินและสามารถย่อยได้ดีและ สารประกอบคอนเด้นส์แทนนินส์มีปริมาณสูงในใบมัน แต่มีระดับต่ำในมันเฮย์ที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุน้อย

Barry and Manley (1984) และ Reed (1995) รายงานว่า ถ้ามี CT เป็นองค์ประกอบในอาหารเกิน 6 % ของวัตถุแห้ง ปริมาณการกินได้และการย่อยได้จะลดลง แต่ถ้าระดับของ CT อยู่ที่ในช่วงระหว่าง 2 - 4 % ของวัตถุแห้ง จะช่วยในการป้องกันการถูกย่อยของโปรตีนในกระเพาะรูเมน นั่นคือเป็นการเพิ่มโปรตีนส่วนหนึ่งไม่ย่อยสลายในรูเมนและผ่านไปยังลำไส้เล็กได้ในปริมาณที่มากขึ้น (rumen by - pass protein)

Jones and Mangan (1977) พบว่า CT ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนของไนโตรเจนสู่รูเมนและเพิ่มอัตราการหลั่งของน้ำลายและนอกเหนือจากนั้นยังช่วยเพิ่มจำนวนการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในรูเมนอีกด้วย

Wanapat and Chanjula (2002, unpublished data) พบว่าการเสริมมันเฮย์ที่มี CT เป็นองค์ประกอบในระดับสูงขึ้นมีผลให้ประชากรโปรตัวซัวในรูเมนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และประชากรของแบคทีเรียกลุ่มย่อยสลายเซลลูโลสและโปรตีนมีแนวโน้มสูงขึ้น

2.6.4 การใช้มันเฮย์เป็นอาหารสัตว์

Koakhunthod *et al.* (2001) ได้ศึกษาการใช้มันเฮย์เป็นแหล่งโปรตีนในรูปแบบของอาหารก้อนคุณภาพสูงในโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียนที่อยู่ในระยะกลางถึงระยะปลายของการให้นม พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อย ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม รวมทั้งมีการเพิ่มจำนวนการสังเคราะห์จุลินทรีย์สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับหรือได้รับการเสริมอาหารก้อนคุณภาพสูงที่ไม่มีมันเฮย์เป็นองค์ประกอบ

Wanapat *et al.* (2000a) พบว่าการเพิ่มปริมาณมันเฮย์จาก 0.6 เป็น 1.7 กก./ตัว/วัน สามารถลดอาหารข้นจาก 0.1 เป็น 1.6 กก/ตัว/วันตามลำดับ (ตาราง 5.) โดยไม่มีผลกระทบต่อการผลิตน้ำนม และยังพบว่า การให้สัตว์ได้รับมันเฮย์โดยให้กินเต็มที่จะให้ผลเช่นเดียวกัน และยังสามารถลดอาหารข้นลงได้ด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อจากนั้น Wanapat *et al*. (2000a) ได้ศึกษาผลการเสริมมันเฮย์ในระดับต่างกันใน โคนมโดยใช้โคลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน จำนวน 6 ตัว ทำการสุ่มเพื่อเข้าแผนการทดลองแบบ Change - over - design และเสริมมันเฮย์ 3 ระดับ คือ 0 0.8 1.7 กก. วัตถุแห้ง/ตัว/วัน ส่วนอาหารข้นได้รับระดับเดียวกัน(สัดส่วนอาหารข้นต่อน้ำนมคือ 1:2) ขณะที่ฟางหมักยูเรีย 5% ให้กินแบบเต็มที่ ผลการทดลองพบว่าการเสริมมันเฮย์สามารถลดการใช้อาหารข้นลงได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม (12.5 12.12 และ 12.6 กก./ตัว/วัน) และช่วยเพิ่ม 3.5% FCM อย่างมีนัยสำคัญ (14.21 15.70 14.9 กก./วัน) ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วการเสริมมันเฮย์สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันในน้ำนมโดยเฉพาะที่ระดับการเสริมมันเฮย์ 1.7 กก./ตัว/วัน ส่วนของอาหารข้นที่ใช้สามารถลงได้ถึง 27% เมื่อใช้ระดับการเสริมมันเฮย์ 1.7 กก./ตัว/วัน

ตาราง 5. Effect of cassava hay (CH) supplementation levels on ruminal pH, NH_3-N, milk yield in late lactating cows fed urea-treated rice straw (UTRS) as a roughage

CH replacement of urea-tread straw	CH0	CH8	CH15	C18	CH100	SEM
Cassava hay DM intake, (kg/d)	-	0.56	1.13	1.70	5.2	0.20
Condensed tannin intake,(g/d)	0	1.44	2.90	4.37	13.36	5.26
Concentrate saving, (kg/d)	-	0.10	1.30	1.60	3.1	-
Urea-tread straw	6.8	6.4	6.7	8.0	-	2.80
Ruminal pH	7.2	7.0	7.0	7.0	6.8	0.1
Ruminal, NH_3-N, mg/100ml	17	13	13	16	7.0	0.52
Milk yield, (kg/d)	6.3	6.1	5.4	6.1	5.4	0.24

CH0 = Urea-treated rice straw (UTRS 0 ad lib.+ Conc: Milk yield ,1:2)+ 0 CH.

CH8 = UTRS ad lib.+ Conc: Milk (1:2) + CH at 0.56 kg DM /hd/d.

CH15 = UTRS ad lib.+ Conc: Milk (1:3) + CH at 1.13 kg DM /hd/d.

C18 = UTRS ad lib.+ Conc: Milk (1:2) + CH at 1.70 kg DM /hd/d.

CH100 = Cassava hay ad lib. + Cassava root (cassava chip +3 %urea) at 2 kg/d

Source: Wanapat et *al*. (2000a)

Wanapat *et al*. (2000b) รายงานว่าการเสริมมันเฮย์เพื่อทดแทนอาหารข้นในโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียนที่ได้รับหญ้ารูซี่จำนวน 6 ตัว ที่อยู่ในระยะกลางของการให้นม พบว่าผลผลิต

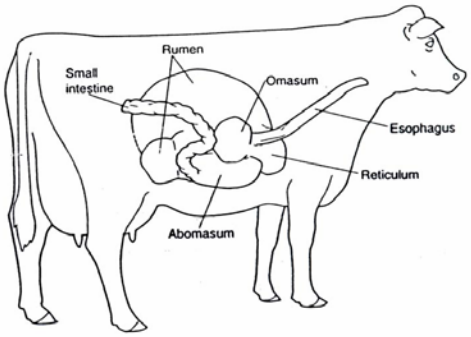
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำนมไม่มีความแตกต่างกันขณะที่เปอร์เซ็นต์โปรตีน น้ำตาลแลคโตสและของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันมีปริมาณสูงที่สุดในโคนมที่ได้รับมันเฮย์ 1.0 กก./ตัว/วัน ผลที่เห็นชัดต่อการเสริมมันเฮย์จะช่วยลดอาหารข้นลงได้ถึง 42% นับว่าเป็นลู่ทางในการลดต้นทุนลง

2.7 การย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การย่อยอาหาร (digestion) หมายถึงการเตรียมอาหารให้มีขนาดเล็กและพอดีที่ร่างกายจะสามารถดูดซึม (absorb) และนำไปใช้ประโยชน์ (utilize) การย่อยอาหารของโค โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในทางเดินอาหารดังแสดงในภาพ 2 โดยที่อาหารแต่ละชนิดมีการย่อยได้ในทางเดินอาหารแต่ละส่วนไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการย่อยได้ของทางเดินอาหารในแต่ละส่วนนั้น ตัวอย่างเช่น อาหารที่ส่วนประกอบประเภทเยื่อใยสูงไม่สามารถย่อยได้ที่กระเพาะแท้ (abomasum) และลำไส้เล็ก เพราะโคไม่สามารถผลิตเอนไซม์ที่ย่อยเยื่อใยได้ดีแต่อาหารที่มีเยื่อใยสูงจะย่อยสลายในกระเพาะหมัก (rumen)ไส้ติ่ง (caecum) และลำไส้ใหญ่ (colon) โดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์

กระเพาะรูเมนมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โปรโตซัว และฟังไจ เมื่ออาหารเข้าสู่กระเพาะรูเมนส่วนหนึ่งจะถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์จะได้กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid , VFA) จุลินทรีย์ (microbial protein) และแก๊ส โดยแก๊สจะถูกขับออกโดยการเรอ กรดไขมันระเหยได้ส่วนใหญ่จะซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนและจุลินทรีย์กับอาหารส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะเคลื่อนที่ไปยังกระเพาะแท้ (abomasum) และลำไส้เล็ก ทั้งจุลินทรีย์และอาหารจะถูกย่อยโดยเอนไซม์จากกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก และถูกดูดซึมบริเวณลำไส้เล็ก ส่วนในลำไส้ใหญ่เป็นอีกแห่งที่มีกระบวนการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ โดยกรดไขมันระเหยได้จะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้ใหญ่ แต่เซลล์จุลินทรีย์จะถูกขับออกทางมูลพร้อมกับอาหารที่ไม่ถูกย่อย (McDonald *et al*., 1995)



ภาพ 2 : ภาพแสดงทางเดินอาหารของโค

ที่มา : Herren (1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.1 การย่อยโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.7.1.1 การย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมน

การสลายตัวของโปรตีนแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้คือ

1. ขบวนการ Proteolysis แยกรอยต่อของโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธี hydrolysis ที่ peptide bond ทำให้ได้ peptide และกรดอะมิโนบางส่วน

2. ขบวนการสลายตัวของกรดอะมิโน โดยขบวนการ deamination และผลิตกรดอินทรีย์และแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป (เทอดชัย , 2542)

การย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมน (ภาพ 3) คือ การย่อยอาหารโปรตีนที่ประกอบด้วยโปรตีนแท้ (true protein) และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) โปรตีนแท้บางส่วนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่งเรียกโปรตีนเหล่านี้ว่า rumen degradable protein (RDP) ซึ่งจะถูกย่อยเป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน แต่กรดอะมิโนบางชนิดบางส่วนจะถูกย่อยต่อไปเป็นกรดอินทรีย์ แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแอมโมเนียที่เกิดขึ้น เปปไทด์ขนาดเล็ก ๆ และกรดอะมิโนอิสระ จะถูกใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ในการนำไปสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ (microbial protein) และโปรตีนบางส่วนมีความทนทานต่อการย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนทำให้ไม่ถูกย่อยและเคลื่อนที่ผ่านไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็กได้ โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยนี้เรียกว่า rumen undegradable protein (RUP) ส่วนไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) เมื่อเข้าไปในกระเพาะรูเมนจะแตกตัวเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ เมื่อโปรตีนจุลินทรีย์และโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมนเคลื่อนที่ไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็กจะถูกเอนไซม์ในทางเดินอาหารของสัตว์ย่อยและดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป (McDonald *et al*., 1995)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก

1. **ความสามารถในการสลายโปรตีน (protein solubility)** โปรตีนที่สลายได้มากมีโอกาสที่จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้มากขึ้น
2. **วิธีการให้อาหาร** เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก ถ้าโคได้รับอาหารในปริมาณมาก ระยะเวลาที่อาหารจะอยู่ในกระเพาะหมัก (retention time) จะลดลง มีผลทำให้อาหารเคลื่อนที่ไปยังทางเดินอาหารส่วนต่อไปเร็วขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จุลินทรีย์มีโอกาสสลายโปรตีนลดลง รวมถึงอาหารที่มีผลต่อการคงอยู่ในกระเพาะหมักด้วยเช่นกัน

3. **ปัจจัยจากตัวสัตว์** สัตว์ต่างชนิดกัน เช่น โคและแกะ โคจะมีค่า retention time สูงกว่าแกะ (1.37 - 3.7 วัน และ 0.8 - 2.2 วันตามลำดับ) เมื่อมี retention time สูงโอกาสที่โคจะเคี้ยวเอื้องอาหารจึงมีมากกว่าและทำให้ชิ้นอาหารมีขนาดเล็กกว่าจึงเป็นการเพิ่มโอกาสให้จุลินทรีย์เข้าย่อยอาหาร มากขึ้นด้วย

2.7.1.2 การย่อยโปรตีนในลำไส้เล็ก

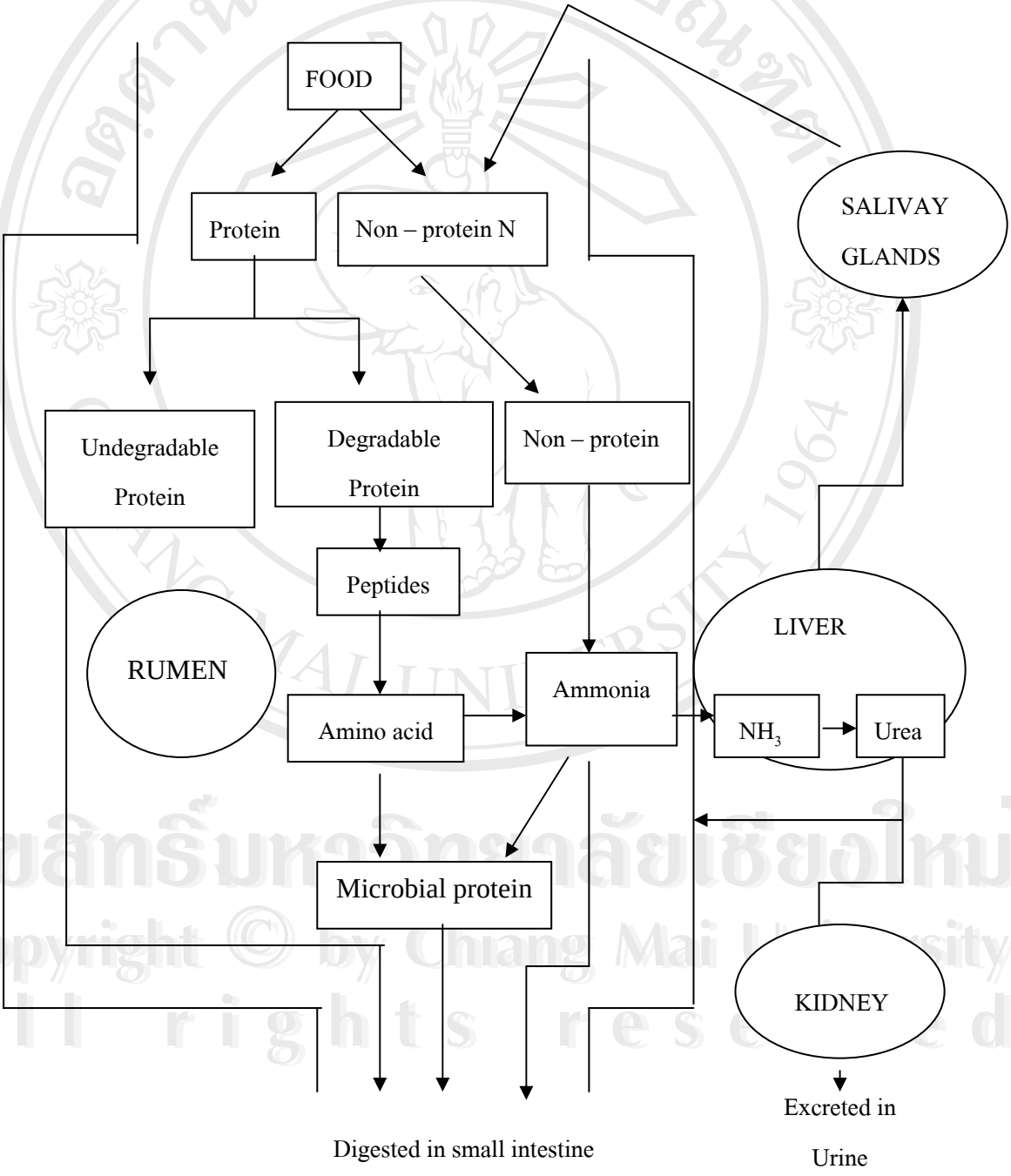
โปรตีนที่เข้าไปในลำไส้เล็กได้แก่โปรตีนจากอาหารที่รอดพ้นจากการย่อยในกระเพาะรูเมน (RUP) โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein) และโปรตีนจากทางเดินอาหาร (endogenous protein) การย่อยโปรตีนในลำไส้เล็กจะคล้ายกับในสัตว์กระเพาะเดี่ยว คือโปรตีนจะถูกเอนไซม์จากตับอ่อนและลำไส้เล็กเข้าย่อยโปรตีนได้เป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์สายสั้น ๆ ซึ่งจะถูกดูดซึมโดยลำไส้เล็ก และภายในผนังลำไส้เล็กจะมีเอนไซม์เปปติเดส (peptidase) ย่อยพวกเปปไทด์สายสั้น ๆ ให้เป็นกรดอะมิโน และดูดซึมต่อไปยัง portal blood ต่อไป กรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมนี้ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คือนำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรท และไขมัน หรือถูกออกซิเดชัน (oxidiation) ต่อไปและให้พลังงานที่อยู่ในรูป ATP ส่วนแอมโมเนียหรือไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non – protein nitrogen) เมื่อถูกดูดซึมจะถูกเปลี่ยนเป็นยูเรีย (urea) โดย ornithine cycle และยูเรียส่วนใหญ่เข้าไปรวมกับ urea N pool ในของเหลวในร่างกายซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ ส่วนมากจะถูกขับออกไปพร้อมกับปัสสาวะ ดังนั้นไนโตรเจนที่เข้าไปใน ลำไส้เล็ก ถ้าหากมีสัดส่วนของโปรตีนแท้หรือกรดอะมิโนไม่ว่าจะเป็นกรดอะมิโนจากโปรตีนที่รอดพ้นจากการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (RUP) หรือโปรตีนจากจุลินทรีย์ในปริมาณสูงก็จะทำให้สัตว์มีโอกาสที่จะได้รับกรดอะมิโนเพื่อนำไปใช้แก่ร่างกายผ่านทางลำไส้เล็กสูงขึ้น แต่ถ้าเป็นส่วนของไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนหรือแอมโมเนียร่างกายสัตว์ก็มีโอกาสที่จะได้รับกรดอะมิโนน้อย เนื่องจากไนโตรเจนที่เข้าไปในลำไส้เล็กนั้นไม่เกิดประโยชน์แก่ร่างกายมากเท่าใดนัก (เทอดชัย , 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.1.3 การย่อยโปรตีนในลำไส้ใหญ่และไส้ติ่ง

โปรตีนที่เข้าไปในลำไส้ใหญ่และบริเวณไส้ติ่งได้แก่โปรตีนจากอาหารที่ไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก โปรตีนจากจุลินทรีย์และโปรตีนจากทางเดินอาหาร (endogenous protein) ที่ไม่ถูกย่อยใน

ลำไส้เล็ก นอกจากนี้ยังมีน้ำย่อยต่าง ๆ จากลำไส้เล็กและตับอ่อน การย่อยโปรตีนในลำไส้ใหญ่และไส้ติ่งคล้ายกับในกระเพาะรูเมน นั่นก็คือจุลินทรีย์จะเป็นตัวย่อยสลายและผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นแอมโมเนีย ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมเข้าไปในกระแสเลือดกลับเข้าไปใช้ประโยชน์ในร่างกายอีก และส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนโดยจุลินทรีย์ พบว่าโปรตีนที่เกิดขึ้นใน ลำไส้ใหญ่และไส้ติ่งนี้ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ และจะถูกขับออกนอกร่างกายไปพร้อมกับมูล (เทอดชัย, 2542)



ภาพ 3: การย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมน ; ที่มา : McDonald *et al.* (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8. การย่อยคาร์โบไฮเดรตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

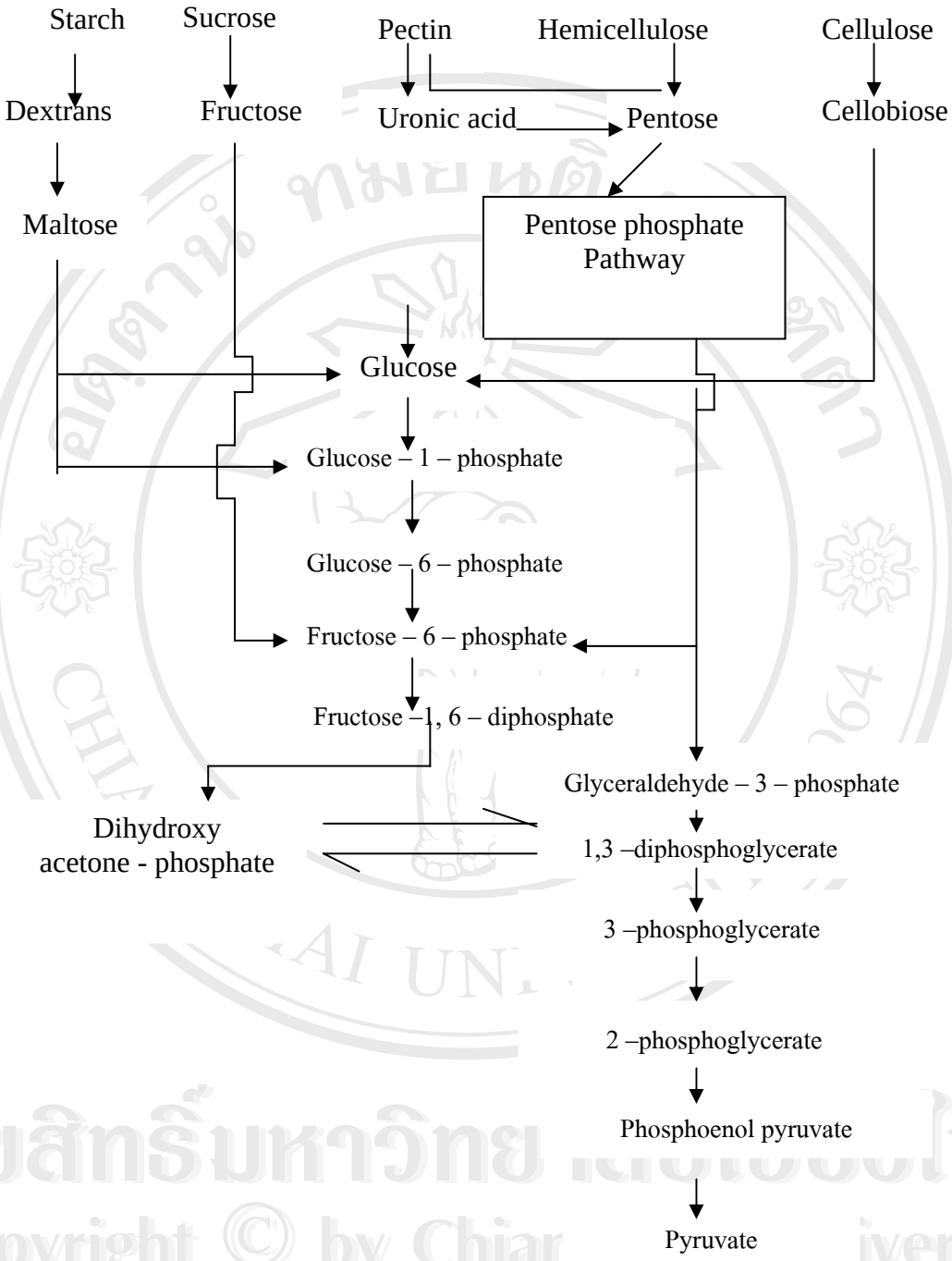
2.8.1 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตของสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างของพืช (structural carbohydrate) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และเพกติน (pectin) และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non – structural carbohydrate) ได้แก่ แป้ง และน้ำตาล เมื่ออาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเข้าสู่กระเพาะรูเมนจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ ในขั้นแรกน้ำตาลเชิงซ้อน (polysaccharide) จะถูกเอนไซม์ย่อยพันธะที่เชื่อมหน่วยของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ให้เป็นน้ำตาลขนาดต่าง ๆ และสุดท้ายได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ขั้นที่สองน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ย่อยได้จะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวท (pyruvate) อย่างรวดเร็ว โดยน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 ตัว (hexose) จะถูกเปลี่ยนโดย Embden Meyerhof pathway ส่วนน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 ตัว (pentose) จะถูกเปลี่ยนโดย Pentose phosphate pathway (ภาพ 4) และในขั้นตอนสุดท้ายไพรูเวทที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยได้ (VFA) ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid ; C_2) กรดโพรไพโอนิก (propionic acid ; C_3) และกรดบิวทีริก (butyric acid ; C_4) นอกจากนี้จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide ; CO_2) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นมีเทน (methane) ต่อไป (ภาพ5) กรดไขมันระเหยได้เหล่านี้ส่วนหนึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้สังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ และส่วนหนึ่งจะดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปยังตับ โดยกรดอะซิติกและกรดบิวทีริกจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยผ่านกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) และสังเคราะห์เป็นไขมัน ส่วนกรดโพรไพโอนิกจะเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์กลูโคสโดยกระบวนการ gluconeogenesis (เทอดชัย , 2542)

2.8.2 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในลำไส้เล็ก

คาร์โบไฮเดรตที่เข้าไปในลำไส้เล็ก จะเป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมนและคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน คาร์โบไฮเดรตประเภทแป้งจะถูกย่อยโดยเอนไซม์จากลำไส้เล็ก ตับอ่อน และเอนไซม์ในผนังลำไส้ไปเป็นกลูโคส และสัตว์สามารถดูดซึมกลูโคสไปเป็นแหล่งพลังงานได้โดยตรง ส่วนคาร์โบไฮเดรตประเภทเยื่อใย คือ เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะไม่สามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์จากลำไส้เล็ก แต่จะถูกย่อยเพียงเล็กน้อยโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่อยู่บริเวณส่วนปลายของลำไส้เล็ก (เทอดชัย, 2542)

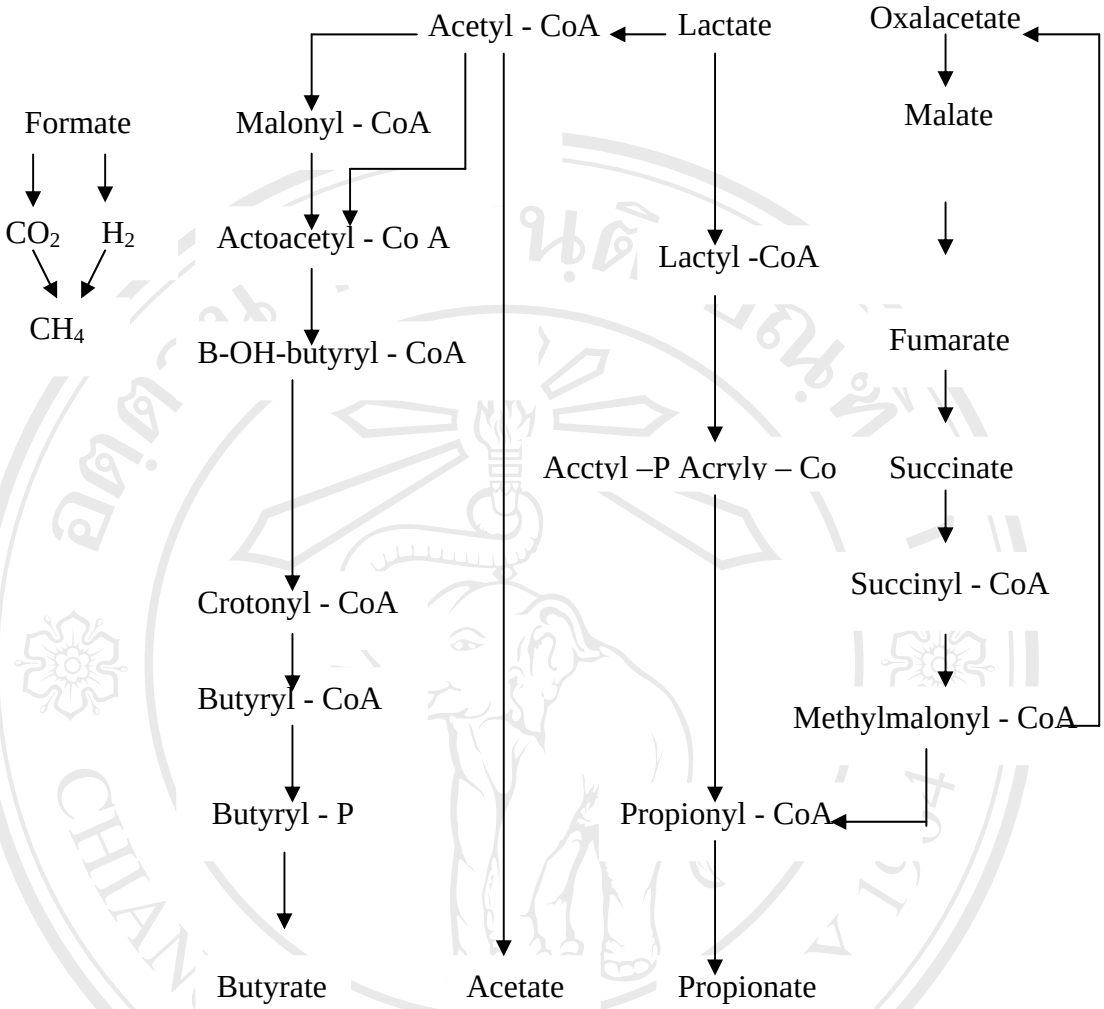
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 4: การย่อย polysaccharide เป็น monosaccharide และเปลี่ยนเป็น pyruvate

ที่มา : Conn and Stumpf (1972)



(1) วิธี Direct reductive pathway เกิดขึ้นในขณะที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับธัญพืชเป็นจำนวนมาก

(2) วิธี Dicarboxylic acid pathway เกิดขึ้นในขณะสัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับอาหารหยาบ

ภาพ 5: การสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะรูเมน

ที่มา : Conn and Stumpf (1972)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.3 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในลำไส้ใหญ่และไส้ติ่ง

คาร์โบไฮเดรตที่เข้าไปในสำไส้ใหญ่และไส้ติ่ง จะเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทเยื่อใย คือ เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ และอาจจะมีแป้งที่รอดพ้นจากการย่อยในลำไส้เล็กอยู่บ้าง การย่อยคาร์โบไฮเดรตในลำไส้ใหญ่และไส้ติ่งจะเกิดจากการย่อยจุลินทรีย์เหมือนในกระเพาะรูเมนทุกประการ ผลผลิตที่ได้คือกรดไขมันระเหยได้ และโปรตีนจุลินทรีย์ โดยกรดไขมันระเหยได้นั้นสัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ แต่โปรตีนจุลินทรีย์สัตว์ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ (เทอดชัย, 2542)

2.9. ความเป็นกรด - ด่าง ในกระเพาะรูเมน

ค่าความเป็นกรด - ด่างภายในกระเพาะรูเมน (ruminal pH) จะแปรปรวนไปตามชนิดของอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปและเวลาที่ทำการวัด เมื่อสัตว์กินอาหารประเภทแป้งเข้าไปในกระเพาะรูเมนจะถูกเอนไซม์จากจุลินทรีย์ย่อย ผลที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยจุลินทรีย์จะเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid) ส่วนหนึ่งของกรดไขมันระเหยได้จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตและเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งกับคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างของพืช (เยื่อใย) พบว่าให้ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมนลดต่ำลงเนื่องจากกระบวนการย่อยแป้งนั้นจะเกิด lactic acid ปริมาณมากและจะถูกเปลี่ยนไปเป็น propionic acid ต่อไป (เทอดชัย , 2535 ; 2542) กรดที่เกิดจากกระบวนการหมักย่อยตามทฤษฎีแล้วสามารถทำให้ความเป็นกรด - ด่างในกระเพาะรูเมนลดต่ำลงเหลือ 2.5 - 3.0 ได้ แต่ในสภาพปกติความเป็นกรด - ด่างในกระเพาะรูเมนจะมีค่าอยู่ในช่วง 5.5 - 6.5 เนื่องจากฟอสเฟต (phosphate) และไบคาร์บอเนต (bicarbonate)ในน้ำลายจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (buffer)รักษาสภาพความเป็นกรด - ด่างไว้ ประกอบกับการดูดซึมกรดอย่างรวดเร็วทำให้สามารถรักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างไว้ได้ (McDonald *et al.*,1995) และความเป็นกรดด่าง (pH) ในการเพาะรูเมนสามารถบ่งบอกถึงการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตได้ นั้นก็คือ ถ้าความเป็นกรด-ด่างลดลงแสดงว่ามีการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตเกิดขึ้น ถ้าลดลงอย่างรวดเร็วแสดงว่าอาหารนั้นมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายซึ่งหมายถึงมีพลังงานปริมาณมากในกระเพาะรูเมน ในทางตรงกันข้ามถ้าหากความเป็นกรด - ด่าง (pH) ไม่ลดลงหรือลดลงเล็กน้อยแสดงว่าคาร์โบไฮเดรตในอาหารนั้นย่อยสลายได้ยาก (เทอดชัย , 2535 ; 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9.1 แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน

แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน(ruminal ammonia-nitrogen ; NH_3-N) เป็นสารตัวกลางระหว่างการย่อยโปรตีนโดยจุลินทรีย์และการสังเคราะห์โปรตีน ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนนั้นบ่งบอกถึงการย่อยสลายของโปรตีนจากอาหารในกระเพาะรูเมนได้ โดยหากระดับแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนต่ำอาจแสดงว่าในอาหารนั้นมีโปรตีนต่ำ หรือโปรตีนมีการย่อยได้ต่ำ และอาจเป็นเพราะว่าโปรตีนสามารถทนทานต่อการย่อย มีผลทำให้การเจริญเติบโตหรือการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ต่ำลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากในอาหารมีโปรตีนมากเกินไปหรือมีการย่อยได้ของโปรตีนมากเกินกว่าการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์จะเกิดการสะสมแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน และมากเกินกว่าระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีน แอมโมเนียจะถูกดูดซึมผ่านกระแสเลือดไปยังตับและเปลี่ยนเป็นยูเรีย ซึ่งยูเรียบางส่วนจะกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนทางน้ำลายและซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนโดยตรงแต่ยูเรียส่วนใหญ่จะถูกขับออกจากร่างกายสัตว์ทางปัสสาวะ และโปรตีนที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ได้นั้นเป็นโปรตีนที่สังเคราะห์มาจากแอมโมเนีย 40 - 70 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นจะใช้ไนโตรเจนจากแหล่งอื่นคือ เปปไทด์ และกรดอะมิโน ในการสังเคราะห์โปรตีน (เทอดชัย, 2542; McDonald *et al*.,1995)

ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ไม่ควรต่ำกว่า 5 mg/100 ml (Satter and Roffler,1975) การเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่มีผลทำให้จุลินทรีย์ มีการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้น ปกติความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมีค่าสูงสุดหลังจากสัตว์กินอาหารไปแล้ว 1 - 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดต่ำลง การรักษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียให้อยู่ในช่วง 3 - 8 mg/100 ml ให้นานขึ้น จะทำให้มีการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ (Satter and Slyter , 1974)

2.9.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด – ด่าง และแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน

ปริมาณโปรตีนจากจุลินทรีย์ที่เข้าไปยังลำไส้เล็กนั้นจะขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ (microbial protein synthesis)โดยมีปัจจัยที่สำคัญคือ แหล่งอาหารพลังงานและไนโตรเจน โดยถ้ามีแหล่งของพลังงานและไนโตรเจนเพียงพอเหมาะสมแล้วการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ก็จะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (เทอดชัย , 2542)

ดังนั้นการวัดความเป็นกรด - ด่าง ในกระเพาะรูเมน (ruminal pH) จะบ่งบอกถึงลักษณะการย่อยสลายแหล่งพลังงานคือคาร์โบไฮเดรต และการวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนซึ่งจะบ่งบอกถึงลักษณะการสลายโปรตีน ที่ชั่วโมงต่าง ๆ หลังจากสัตว์กินอาหารที่จะทำให้ทราบถึง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารนั้นมีความเหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์มากน้อยเพียงใด โดยถ้าการย่อยสลายทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนเกิดขึ้นอย่างสอดคล้องกันทำให้สันนิษฐานได้ว่าจะเกิดการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ

ศิวพรและคณะ (2547) ได้ศึกษาผลของการใช้ มันเฮย์ในสูตรอาหารข้นที่ระดับ 0 20 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ต่อนิเวศวิทยารูเมนและปริมาณการกินได้ของฟางมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ ใช้ โคเนื้อลูกผสมที่ผ่าตัดเจาะกระเพาะรูเมน จากการทดลอง พบว่า เมื่อระดับของมันเฮย์ในสูตรอาหารข้นเพิ่มขึ้น ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ ค่าความเป็นกรด-ด่างในรูเมน ($P>0.05$) ในทุกกลุ่มทดลอง ส่วนความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) และนอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อระดับของมันเฮย์ในสูตรอาหารข้นเพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มจำนวนประชากรซูโอสปอร์เชื้อรา ($P<0.05$) ในขณะที่จำนวน ประชากรโปรโตซัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปิ่น (2547) ได้ศึกษาผลของระดับการเสริมมันเฮย์ร่วมกับฟางหมักยูเรียต่อนิเวศวิทยา และความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะในกระบือปลัก โดยใช้กระบือปลักที่โตเต็มที่ เพศผู้ตอน มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 426 ± 50 กิโลกรัม สุ่มโคให้ได้รับอาหารตามแผนการทดลอง 4 x 4 Latin square design โดยทำการศึกษาผลของระดับการเสริมมันเฮย์ 4 ระดับ ได้แก่ เสริมที่ระดับ 0, 25, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ช่วงการทดลอง แต่ละช่วงใช้เวลา 21 วัน โดย 14 วันแรกเป็นการปรับตัวสัตว์ และ 7 วันหลังเป็นระยะเก็บตัวอย่าง จากการทดลองพบว่า ผลการเสริมมันเฮย์เพิ่มขึ้นช่วยรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภายในกระเพาะรูเมนที่ สูงกว่า และมีอุณหภูมิที่คงที่ (38-39 ^{0}C) และพบว่าในกลุ่มที่ได้รับการเสริมมันเฮย์มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ประชากรแบคทีเรียเซลลูโลไลติก และโปรติโอไลติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ประชากรโปรโตซัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีน และปริมาณการกินได้โภชนะที่ย่อยได้เพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมมันเฮย์ร่วมกับฟางหมักยูเรีย ดังนั้นการใช้มันเฮย์มีผลเพิ่มการใช้ประโยชน์ของโภชนะเมื่อใช้ร่วมกับฟางหมักยูเรีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.10 การศึกษาการย่อยได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

คุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์สามารถวัดได้โดยการวิเคราะห์ทางเคมีแต่ในระหว่างกระบวนการย่อยอาหาร ดูดซึมอาหาร และเมตาโบลิซึม จะมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารไป เพราะฉะนั้นการให้อาหารตามความต้องการของสัตว์จำเป็นต้องมีการศึกษาการย่อยได้ของอาหารเพื่อที่จะได้ให้อาหารตรงความต้องการของสัตว์ โดยการศึกษาในขั้นแรกจะเป็นการวิเคราะห์

ส่วนประกอบทางเคมีหรือโภชนะต่าง ๆ ของอาหาร และขั้นที่สองจะเป็นการศึกษาการย่อยได้ของอาหารเพื่อทราบปริมาณโภชนะที่สัตว์ได้รับหรือสูญเสียไป การย่อยได้หาได้จากโภชนะที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่ถูกขับออกมาทางมูลซึ่งถือว่าถูกย่อยและถูกดูดซึมเข้าร่างกายสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามส่วนประกอบต่าง ๆ ในมูลที่ขับออกมานั้นไม่ได้มาจากอาหารที่กินเข้าไปอย่างเดียว จะมีบางส่วนที่มาจากเอนไซม์ สารอื่น ๆ ที่ถูกขับออกมาจากทางเดินอาหารและเป็นเซลล์ในทางเดินอาหารที่หลุดลอกออกมาซึ่งจะทำให้การศึกษาการย่อยได้นั้นคลาดเคลื่อนได้ ค่าที่ใช้ในการศึกษาการย่อยได้ของอาหารนั้นแสดงได้ใน 2 ลักษณะคือ ค่าการย่อยได้ปรากฏ (apparent digestibility) และค่าการย่อยได้ที่แท้จริง (true digestibility) ขึ้นอยู่กับว่าจะคิดถึงโภชนะที่ขับออกและหลุดลอกออกมาจากทางเดินอาหาร (metabolic component) หรือไม่ แต่ส่วนใหญ่ในทางปฏิบัติจะไม่นิยมทำในลักษณะการย่อยได้ที่แท้จริงเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง (ter Meulen , no date)

การศึกษาการย่อยได้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถของสัตว์ในการนำโภชนะหรืออาหารชนิดนั้น ๆ ไปใช้ประโยชน์ ทราบถึงปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ในอาหารแต่ละชนิดว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด และอาจมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของการเตรียมอาหาร การเสริมสารต่าง ๆ อัตราส่วนของวัตถุดิบต่าง ๆ อิทธิพลของชนิด และอายุของสัตว์ และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหารอีกด้วย (เทอดชัย, 2542)

2.10.1. การประเมินค่าการย่อยได้ และพลังงานโดยวิธีวัดปริมาณแก๊ส (Gas production technique)

วิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่าเมื่ออาหารถูกหมักย่อย (incubate)ในกระเพาะรูเมนจะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน(CH_4) และกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acids, VFA) ซึ่งมีสหสัมพันธ์กับการย่อยได้ของอาหารในโคนม (Beuvink and Kogut,1993) ได้อธิบายถึงลักษณะการเกิดแก๊สในแต่ละช่วงเวลาโดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาดังต่อไปนี้

1. Initial phase เป็นระยะที่แก๊สเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากอาหารส่วนที่ไม่ละลายในทันที แต่จะถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายอย่างช้าๆด้วยกระบวนการ hydration และ colonization
2. Exponential phase จะเกิดขึ้นแก๊สอย่างรวดเร็วในระยะนี้ เนื่องจากอาหารส่วนที่ละลายได้จะเกิดขบวนการหมักย่อยทันทีและเกิดแก๊สขึ้นอย่างรวดเร็ว
3. Asymptotic phase เป็นระยะซึ่งอาหารส่วนที่ไม่ละลายทันทีจะถูกหมักย่อย แต่จะหมักย่อยได้น้อย และกระบวนการเกิดขึ้นอย่างช้าๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Menke *et al*., (1979) ได้ศึกษากับอาหารมากกว่า 200 ชนิด โดยหาการย่อยได้แบบ *in vitro* และวัดค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าวกับปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในหลอดทดลอง พบว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นกับปริมาณอาหารที่ย่อยได้มีความสัมพันธ์กันสูง จึงได้สร้างสมการ regression เพื่อนำปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นไปทำนายค่าการย่อยได้ และพลังงาน

Menke and Steingass (1988) ได้พัฒนาวิธี *In vitro* gas production technique ขึ้นมาโดยยึดหลักการเดียวกับวิธีการที่เสนอโดย Tilley and Terry (1963) แต่มีความแตกต่างในเรื่องรายละเอียด คือ เป็นการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากการบ่มอาหารตัวอย่างแทนที่การวัดปริมาณ วัตถุแห้งและอินทรียวัตถุที่หายไป โดยนำค่าแก๊สที่วัดได้มาทำนายค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (organic matter digestibility, OMD) ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) และค่าพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (net energy for lactation, NE_L) วิธีนี้สามารถทำได้สะดวกรวดเร็ว สามารถทำได้ทีละหลายๆตัวอย่าง และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษามากกว่า สำหรับสมการที่ใช้ในการทำนายค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของอาหารข้น เป็นดังนี้

OMD (%) = 9.00+0.9991GP+0.0595XP+0.0181XA (r = 0.91)

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

NE_L (MJ/kg) = - 0.36+0.1149GP+0.0054XP+0.0139XL–0.0054XA (r = 0.93)

เมื่อ GP = ปริมาณแก๊ส (มิลลิลิตร) ที่เกิดเมื่อถูก incubate 24 ชม.

XP = ปริมาณโปรตีน (g/kg DM)

XL = ปริมาณไขมัน (g/kg DM)

XA = ปริมาณเถ้า (g/kg DM)

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

การหาการย่อยได้โดยทดลองกับสัตว์โดยตรงแบบ conventional method เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานาน โดยศึกษาในโคทดลองที่มีอายุ ขนาด และน้ำหนักตัวที่ใกล้เคียงกัน มีสุขภาพดี ไม่ตื่นตกใจง่าย ควรใช้โคทดลองมากกว่า 1 ตัว ทั้งนี้แม้ว่าจะเป็นสัตว์ชนิดเดียวกัน อายุ และเพศเดียวกัน ก็อาจมีความสามารถในการย่อยได้แตกต่างกัน การมีจำนวนซ้ำมากจะทำให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น ยิ่งมีสัตว์ทดลองมากเท่าไรก็จะยิ่งให้ผลที่น่าเชื่อถือมากขึ้นเท่านั้น แต่อาจทำให้สิ้นเปลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แรงงาน และค่าใช้จ่ายมาก แต่อย่างไรก็ตาม ควรใช้โคทดลองอย่างน้อย 4 ตัว (บุญล้อม, 2540) วิธีการศึกษาการย่อยได้แบบนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ คือ

1. ระยะก่อนการทดลอง (preliminary period) เป็นช่วงเวลาที่ให้สัตว์ และจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนได้ปรับตัวให้เข้ากับอาหารที่ศึกษาและเพื่อขับอาหารเดิมที่สัตว์ได้รับออกจากทางเดินอาหารให้หมด โดยจะให้สัตว์กินอาหารอย่างเต็มที่เพื่อวัดปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้ หลังจากนั้นจะให้สัตว์กินอาหารลดลงเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่สัตว์กินได้ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 10 - 14 วัน
2. ระยะการทดลองจริง (collection period) เป็นช่วงเวลาสำหรับเก็บข้อมูล และบันทึกปริมาณอาหารที่สัตว์กิน และมูลที่ขับออกมา โดยวิธีการสุ่ม และเก็บตัวอย่างที่สุ่มมา 5-10 เปอร์เซ็นต์ไว้เพื่อการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและนำไปคำนวณค่าการย่อยได้ต่อไป โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 7 - 10 วัน หากจำกัดปริมาณอาหารที่ให้ (restricted feeding) และ 10 - 14 วันหากมีการให้อาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*)

หลังจากเสร็จขั้นตอนการเก็บตัวอย่างในช่วง collection period แล้ว นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโภชนะที่มีในอาหารที่ศึกษา และในมูลที่โคขับออกมาเพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณสัมประสิทธิ์การย่อยได้จากสมการ (บุญล้อม, 2540)

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

การศึกษาการย่อยได้ในตัวสัตว์โดยวิธีนี้จำเป็นต้องทราบปริมาณอาหารที่กินและมูลที่ขับออกที่แน่นอน ดังนั้นจึงควรเก็บตัวอย่างอาหารและมูลทั้งหมดไม่ให้สูญหาย รวมทั้งบันทึกปริมาณทุกวันตลอดช่วงการเก็บตัวอย่างด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.10.3 การศึกษาการย่อยได้โดยใช้สารบ่งชี้

การศึกษาการย่อยได้โดยใช้สารบ่งชี้ (indicator method) เป็นวิธีการคล้ายกับการศึกษาการย่อยได้แบบดั้งเดิมแต่ไม่จำเป็นต้องเลี้ยงสัตว์ในคอกหรือกรงทดลองและไม่จำเป็นต้องเก็บรวบรวมปริมาณมูลที่ขับถ่ายออกมาทั้งหมด สามารถเก็บเพียงตัวอย่างบางส่วนเพื่อนำไปวิเคราะห์และคำนวณหาค่าการย่อยได้ต่อไป โดยใช้สารบ่งชี้ (indicator หรือ marker) ตามหลักการที่ว่าปริมาณ

สารบ่งชี้ในอาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะมีปริมาณเท่าเดิมตลอดไม่สูญหายหรือตกค้างในทางเดินอาหารแต่ปริมาณโภชนะต่าง ๆ จะสูญหายไปตามทางเดินอาหารในแต่ละส่วน ทำให้สัดส่วนหรือความเข้มข้นของสารบ่งชี้ต่อโภชนะจะเพิ่มขึ้น และสามารถคำนวณหาค่าการย่อยได้ตามสมการดังต่อไปนี้

ในกรณีที่ทราบปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด แต่ไม่ทราบปริมาณของมูลที่ขับถ่ายออกมาทั้งหมดสามารถใช้ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารบ่งชี้ในอาหารและในมูล เพื่อคำนวณหาปริมาณมูลที่ขับถ่ายออกมาทั้งหมดได้โดยสมการ

$$\text{Fecal output (g DM /d)} = \frac{\text{indicator consumed (g/d)}}{\text{indicator concentration in faeces (g/gDM)}}$$

ในกรณีที่ไม่ทราบปริมาณอาหารที่กินและปริมาณมูลที่ขับถ่ายออกมาทั้งหมด สามารถคำนวณหาการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ได้โดยสมการ

$$\text{Nutrient digestibility (\%)} = 100 - \left[100 \times \frac{\text{\% indicator in feed}}{\text{\% indicator in faeces}} \times \frac{\text{\% nutrient in faeces}}{\text{\% nutrient in feed}} \right]$$

สารบ่งชี้ที่ใช้ในการศึกษาการย่อยได้ต้องมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ไม่ถูกย่อย ดูดซึม หรือสูญหายไปในทางเดินอาหาร เดินทางผ่านทางเดินอาหารด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกับอาหาร ไม่ทำให้ทางเดินอาหารเป็นอันตราย ไม่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหาร และสามารถวิเคราะห์ทางเคมีได้ง่าย สารบ่งชี้ที่นิยมได้แก่ ไทนาเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide, TiO_2) โครมิกออกไซด์ (chromic oxide, Cr_2O_3) ลิกนิน (lignin) และเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA) เป็นต้น (เทอดชัย , 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.10.4 การศึกษาการย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหาร

การศึกษาการย่อยได้สองวิธีข้างต้นเป็นการศึกษาการย่อยได้ตลอดทางเดินอาหาร (total tract digestibility) ซึ่งเป็นการคำนวณการย่อยได้จากปริมาณโภชนะที่กินเข้าไปจากอาหารและปริมาณโภชนะที่ขับออกทางมูล แต่เนื่องจากในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารมีการย่อยได้

การดูดซึม และการนำอาหารไปใช้ประโยชน์ที่ต่างกัน จึงต้องศึกษาการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหาร เช่น กระเพาะรูเมน ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ โดยการศึกษาในสัตว์ที่ได้รับการผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารที่กระเพาะรูเมน (rumen fistulae) ลำไส้เล็กส่วนต้นและลำไส้ส่วนปลาย (intestinal cannulae) (เทอดชัย, 2530 ; เกรียงศักดิ์ และคณะ, 2533 ;เทอดชัย และทัศนีย์ , 2531 ; ทัศนีย์และเทอดชัย , 2532 ; จิรวัฒน์ , 2545) และศึกษาโดยเก็บตัวอย่างอาหารจากท่อเก็บตัวอย่างอาหารไปวิเคราะห์หาสารบ่งชี้ แล้วคำนวณหาปริมาณโภชนะที่กินเข้าไปในแต่ละส่วนของทางเดินอาหาร และขับออกทางมูลเพื่อคำนวณหาการย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารต่อไป ผลจากการศึกษาการย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารสามารถนำไปใช้ในการให้อาหารสัตว์ได้อย่างถูกต้องตามที่สัตว์ต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการนำเอาวัตถุดิบอาหารที่มีการย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารที่แตกต่างกันมาจัดสัดส่วนประกอบเป็นอาหารสัตว์โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้โภชนะจากวัตถุดิบแต่ละชนิดถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับทางเดินอาหารแต่ละส่วนอย่างแท้จริง (เทอดชัย และ ter Meulen , 2542)

2.10.5 ประโยชน์จากการทราบตำแหน่งของการย่อยอาหาร

เนื่องจากการย่อยอาหารที่ตำแหน่งต่าง ๆ เกิดผลต่างกัน เช่น การย่อยสลายอาหารโปรตีนในกระเพาะหมักจะถูกนำไปใช้สังเคราะห์เป็น microbial protein ซึ่งมีคุณภาพค่อนข้างดีเพราะมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นใกล้เคียงกับความต้องการของสัตว์ (Schwab, 1995) ดังนั้นถ้าโปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปมีคุณภาพไม่ดีหรือเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen , NPN) การย่อยสลายในกระเพาะหมักจะมีประโยชน์มาก แต่ถ้าโปรตีนที่กินเข้าไปมีคุณภาพสูงการย่อยสลายในกระเพาะหมักอาจไม่มีประโยชน์มากนัก เพราะการสลายตัวของโปรตีนไปเป็นแอมโมเนียในกระเพาะหมัก มีการสูญเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถจับแอมโมเนียไปใช้ได้ทั้งหมด และ microbial protein ที่เกิดขึ้นอาจจะมีสัดส่วนของกรดอะมิโนด้อยกว่าโปรตีนเดิมที่สัตว์กินเข้าไป ดังนั้นถ้าโปรตีนประเภทนี้ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในตัวสัตว์ที่กระเพาะแท้และลำไส้เล็กก็จะเกิดประโยชน์มากกว่า เพราะได้กรดอะมิโนที่มีสัดส่วนเหมาะสมซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมได้โดยตรง (บุญล้อม, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.11 การเปิดทางเดินอาหารโคทดลองสำหรับใช้ในการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ (Rumen fistulation, Duodenal and Ileum cannulation for digestibility study in cattle)

ในการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยได้ และขบวนการเมตาบอลิซึมของอาหารในโคให้ได้ผลการศึกษาที่ชัดเจนในทุกส่วนของทางเดินอาหาร จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้สัตว์ทดลองที่ได้รับการผ่าตัดสอดท่อเก็บตัวอย่าง (cannula) ในส่วนต่างๆของทางเดินอาหาร ได้แก่ กระเพาะรูเมน (rumen) ลำไส้เล็กส่วนต้น (proximal duodenum) ลำไส้เล็กส่วนปลาย (terminal ileum) เนื่องจากสรีรวิทยาการย่อยอาหาร และกายวิภาคของทางเดินอาหารของโคมีความซับซ้อนมากกว่าสัตว์ชนิดอื่นๆ ในการที่จะศึกษาให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว จำเป็นจะต้องมีการเก็บตัวอย่างอาหาร (digesta) ที่เคลื่อนที่ผ่านทางเดินอาหารในแต่ละส่วน ตลอดจนน้ำในกระเพาะรูเมน (rumen fluid) สำหรับนำมาวิเคราะห์โภชนะต่างๆ (เทอดชัย และทัศนีย์, 2531) รวมถึงการใช้โคทดลองเพื่อศึกษาการประเมินค่าพลังงาน และการย่อยได้ของอินทรียวัตถุโดยวิธีวัดแก๊ส ส่วนวัสดุสำหรับทำอุปกรณ์ฝาปิดกระเพาะรูเมน และท่อเก็บตัวอย่างจากลำไส้เล็กมีอยู่หลายชนิด ทั้งที่เป็นวัสดุแข็งเช่น พีวีซี (P.V.C.) และวัสดุที่มีความอ่อนตัวเช่น ยาง ซิลิโคน ทั้งนี้พบว่าซิลิโคนซึ่งเป็นสารโพลิเมอร์ (polymer) ของสารประกอบอินทรีย์ (organic compound) ที่มีซิลิกอน (silicon) จับตัวอยู่ด้วย เมื่อนำมาผ่านความร้อนจะให้สารที่มีคุณสมบัติอ่อนตัวเหมือนยางแต่มีความเหนียวสูง สามารถคงรูปได้ตลอด ทนต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีใดๆ (เทอดชัย และทัศนีย์, 2531)

การผ่าตัดเพื่อเปิดท่อทางเดินอาหารบริเวณกระเพาะรูเมนทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีการผ่าตัดแบบครั้งเดียว (one-stage operation) ซึ่งจะเปิดผ่าผิวหนังพร้อมกับกระเพาะรูเมน แล้วสอดท่อ fistula ในคราวเดียวกัน หรือวิธีการผ่าตัดสองครั้ง (two stage operation) ซึ่งจะเปิดผ่าผิวหนังแล้วเย็บติดผิวหนังกับกระเพาะรูเมน รอจนกระทั่งแผลเชื่อมกันสนิท จึงเปิดแผลที่กระเพาะรูเมนเพื่อสอดท่อ fistula ทั้งนี้ขึ้นกับอุปกรณ์ ชนิด และขนาดของสัตว์ทดลองเช่น แกะ นิยมใช้การผ่าตัดแบบครั้งเดียว ในขณะที่การผ่าตัดแบบสองครั้งนิยมนำมาใช้กับสัตว์ที่มีขนาดใหญ่เช่น โคเพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดอาการช่องท้องอักเสบ ถึงแม้ว่าจะต้องใช้เวลามากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการผ่าตัดแบบครั้งเดียวในโคได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวก และลดขั้นตอนการผ่าตัดลงได้ และป้องกันการเกิดอาการช่องท้องอักเสบได้มีประสิทธิภาพขึ้น (ทัศนีย์ และเทอดชัย, 2530) สำหรับการผ่าตัดเพื่อสอดท่อเก็บตัวอย่างที่ลำไส้เล็กนั้น มี 2 ตำแหน่ง คือ ที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น (proximal duodenum) และลำไส้เล็กส่วนปลาย (terminal ileum) ท่อที่ใช้สอดมีลักษณะเป็นรูปตัวที (simple - T shaped cannula) ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างทั้งสองตำแหน่งถือเป็นตัวแทนของตัวอย่างอาหารที่เดินทางผ่านเข้าและออกจาก บริเวณลำไส้เล็ก ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บได้นี้จะสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณโภชนะของอาหารทดลองที่ตัวโคใช้ประโยชน์ได้จริง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved