บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ฝ้ายและการผลิตฝ้าย

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลและเมล็ดฝ้าย

ฝ้ายมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Gossypium spp.* ส่วนที่สำคัญที่สุดของฝ้ายที่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดคือผลฝ้ายหรือสมอฝ้าย (boll หรือ capsule) ที่มีลักษณะกลมหรือรูปไข่ สมอฝ้ายจะเจริญอย่างรวดเร็วหลังจากไข่ได้รับการผสมแล้ว และจะโตเต็มที่ใช้เวลาประมาณ 21 วัน จากนั้นอีก 21–35 วันจึงแก่เต็มที่ เมื่อสมอฝ้ายแก่ผนังจะแห้งและปริออกตามรอยของ carpel จำนวนพูหรือช่อง (locule) ของสมอฝ้ายจะมี 3-5 พู และแต่ละพูจะมี 6-9 เมล็ด (ภาพที่ 1) ส่วนเมล็ดฝ้ายประกอบด้วยต้นอ่อน (embryo) ใบเลี้ยง (cotyledon) และเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) อาหารที่สะสมในใบเลี้ยงส่วนใหญ่เป็นพวกไขมันและโปรตีน เมล็ดฝ้ายปกคลุมด้วยเส้นใย 2 ชนิด คือเส้นใยยาวสีขาวครีมซึ่งใช้ประโยชน์ในการปั่นเป็นด้ายสำหรับทอผ้า เรียกว่า lint และเส้นใยสั้นสีขาวติดกับเมล็ดเรียกว่า linter เส้นใยแต่ละเส้นเกิดจากเซลล์ชั้นนอกของเปลือกเมล็ดฝ้าย โดยเส้นใยจะเจริญขยายความยาวในระยะ 15–25 วันแรกหลังจากได้รับการผสมเกสร หลังจากนั้นเป็นการเพิ่มความหนาของเส้นใยโดยการสะสมเซลลูโลส โดยใช้เวลาอีก 25–40 วัน เมื่อสมอฝ้ายแก่จะเริ่มแตก ความชื้นจะลดลงทำให้เส้นใยมีการบิดตัว ซึ่งการบิดตัวของเส้นใยนี้เองช่วยให้การปั่นด้ายดีขึ้น (ชูศักดิ์, 2541 ; งามชื่น, 2542)

ลิขสิทธิ์ ยอใหม่
Copyright © University
All ri rved

ภาพที่ 1 สมอฝ้ายที่แก่เต็มที่และปุยฝ้าย

ที่มา : ชูศักดิ์ (2541)

2.1.2 สถานการณ์การผลิตฝ้ายของโลกและประเทศไทย

สถานการณ์การผลิตฝ้ายของโลกในปี 2541 แสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่า ทั่วโลกมีเนื้อที่เก็บเกี่ยวฝ้ายรวมเท่ากับ 207,375,000 ไร่ และมีผลผลิตรวมเท่ากับ 51,793,000 ตัน ประเทศที่มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวและมีผลผลิตฝ้ายมากที่สุด ได้แก่ ประเทศอินเดีย จีน สหรัฐอเมริกา ปากีสถาน และอูเบกิสถาน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2543)

ส่วนในประเทศไทยนั้นในปีเพาะปลูก 2541/42 มีพื้นที่เพาะปลูกฝ้าย 186,466 ไร่ มีผลผลิตรวมทั้งประเทศ 40,406 ตัน และมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 225 กิโลกรัมต่อไร่ แหล่งที่มีการเพาะปลูกฝ้ายมากที่สุด คือภาคเหนือมีเนื้อที่เพาะปลูกฝ้าย 40,298 ไร่ รองลงมาคือภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเนื้อที่เพาะปลูก 50,831 และ 34, 593 ไร่ ตามลำดับ ส่วนในด้านผลผลิตภาคเหนือมีผลผลิตฝ้ายมากที่สุด รองลงมาคือภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีผลผลิต 20,862, 11,836 และ 7,708 ตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2) จังหวัดที่มีเนื้อที่เพาะปลูกฝ้ายมากได้แก่ พะเยา แพร่ น่าน เลย สระแก้ว สุโขทัย กาญจนบุรี เพชรบูรณ์ ลพบุรี และนครสวรรค์ (ตารางที่ 3) ส่วนจังหวัดอื่น ๆ ก็มีการปลูกกระจายทั่วไป (กรมวิชาการเกษตร, 2527 ; ประสงค์, 2542 ; สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม, 2542 ; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2543)

ตารางที่ 1 เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของฝ้าย ของประเทศผู้ผลิตฝ้ายที่สำคัญ และรวมทั้งโลก ในปี 2541

ประเทศ	เนื้อที่เก็บเกี่ยว(ไร่)	ผลผลิต(ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.)
อินเดีย	56,688,000	7,720,000	136
จีน	29,688,000	12,000,000	404
สหรัฐอเมริกา	27,119,000	7,705,000	284
ปากีสถาน	18,313,000	4,686,000	256
อูเบกิสถาน	9,563,000	3,220,000	337
รวมทั้งโลก	207,375,000	51,793,000	250

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 เนื้อที่ปลูกและผลผลิตฝ้ายของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2539/40 – 2541/42

ปีเพาะปลูก	เนื้อที่ปลูก (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)		
	2539/40	2540/41	2541/42	2539/40	2540/41	2541/42
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	52,689	40,298	34,593	11,087	8,782	7,708
ภาคเหนือ	181,978	125,860	101,042	39,603	27,634	20,862
ภาคกลาง	102,149	65,710	50,831	24,452	14,997	11,836
ภาคใต้	-	-	-	-	-	-
รวมทั้งประเทศ	336,816	231,868	186,466	75,142	51,413	40,406

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2543)

ตารางที่ 3 เนื้อที่เพาะปลูกและผลผลิตฝ้าย 10 จังหวัดที่มีการปลูกมาก ปีเพาะปลูก 2541/42

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)
พะเยา	19,323	3,362
แพร่	16,054	2,633
น่าน	14,995	3,044
เลย	14,688	3,319
สระแก้ว	14,082	3,168
สุโขทัย	13,333	3,120
กาญจนบุรี	10,476	2,409
เพชรบูรณ์	10,413	2,655
ลพบุรี	7,459	2,111
นครสวรรค์	7,202	1,563

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3 การใช้ประโยชน์และความสำคัญของฝ้าย

สมอฝ้ายที่แก่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งปุยฝ้ายและเมล็ดฝ้าย ภายในสมอฝ้ายประกอบไปด้วยเมล็ดที่มีปุยฝ้ายหรือเส้นใย (lint) และเส้นใยสั้น ๆ ที่ติดอยู่กับเมล็ด (linter) เมื่อนำไปหีบเอาปุยฝ้ายออกจากเมล็ดจะได้ปุยฝ้ายประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถ

นำมาใช้ประโยชน์ได้มากมายโดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอ และจะได้เมล็ดฝ้ายเป็นผลพลอยได้ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมล็ดฝ้ายประกอบด้วย เส้นใยสั้น (linter) เปลือกเมล็ด (hull) และเนื้อเมล็ด (meat) เส้นใยสั้นสามารถนำไปใช้ทำผ้าซึมซับ ทำเบาะ ผ้า สักหลาด พรม และอุตสาหกรรมเซลลูโลส เช่น ทำเส้นใยประดิษฐ์ ฟิล์มเอ็กซเรย์ พลาสติก เปลือกเมล็ดฝ้ายสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ ทำปุ๋ยอินทรีย์ อุตสาหกรรมพลาสติก และยางเทียม เนื้อเมล็ดฝ้ายมีประมาณ 64–71 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ด เป็นส่วนสำคัญของเมล็ดฝ้ายที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ในการนำไปสกัดน้ำมันใช้เป็นน้ำมันประกอบอาหาร และใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ส่วนกากเมล็ดฝ้ายที่เป็นผลพลอยได้เหลือจากการสกัดน้ำมัน มีปริมาณโปรตีนสูงสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ย หรือเป็นอาหารมนุษย์ได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2527 ; สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม, 2542 ; ประสงค์, 2542)

2.1.4 กระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย

น้ำมันเมล็ดฝ้าย (cottonseed oil) ได้จากการนำเมล็ดฝ้ายที่หีบเอาปุยฝ้ายออกแล้วมาสกัดน้ำมันโดยวิธีการบีบออกหรือใช้สารละลายสกัด น้ำมันฝ้ายดิบที่ได้ในขั้นแรกจะมีสีน้ำตาลแดง และเมื่อนำไปผ่านกระบวนการกลั่นใสจะได้น้ำมันใสสีเหลืองอ่อน โดยทั่วไปเมล็ดฝ้ายมีน้ำมันประมาณ 15–24 เปอร์เซ็นต์ กระบวนการสกัดน้ำมันเมล็ดฝ้ายได้แสดงไว้ในภาพที่ 2 ซึ่งแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ (กรมวิชาการเกษตร, 2527 ; ประสงค์, 2542)

1. การทำความสะอาด (cleaning) นำเมล็ดฝ้ายที่ส่งเข้าโรงงานกำจัดสิ่งแปลกปลอม เศษดิน ฝุ่น ก้อนอิฐ และเศษไม้ต่าง ๆ โดยใช้พัดลมและตะแกรงร่อนออกไป

2. การแยกเส้นใยสั้น (delint) เมล็ดฝ้ายจะถูกส่งเข้าเครื่องตัดเส้นใยสั้นออกจะได้เส้นใยสั้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดฝ้ายขาว สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ

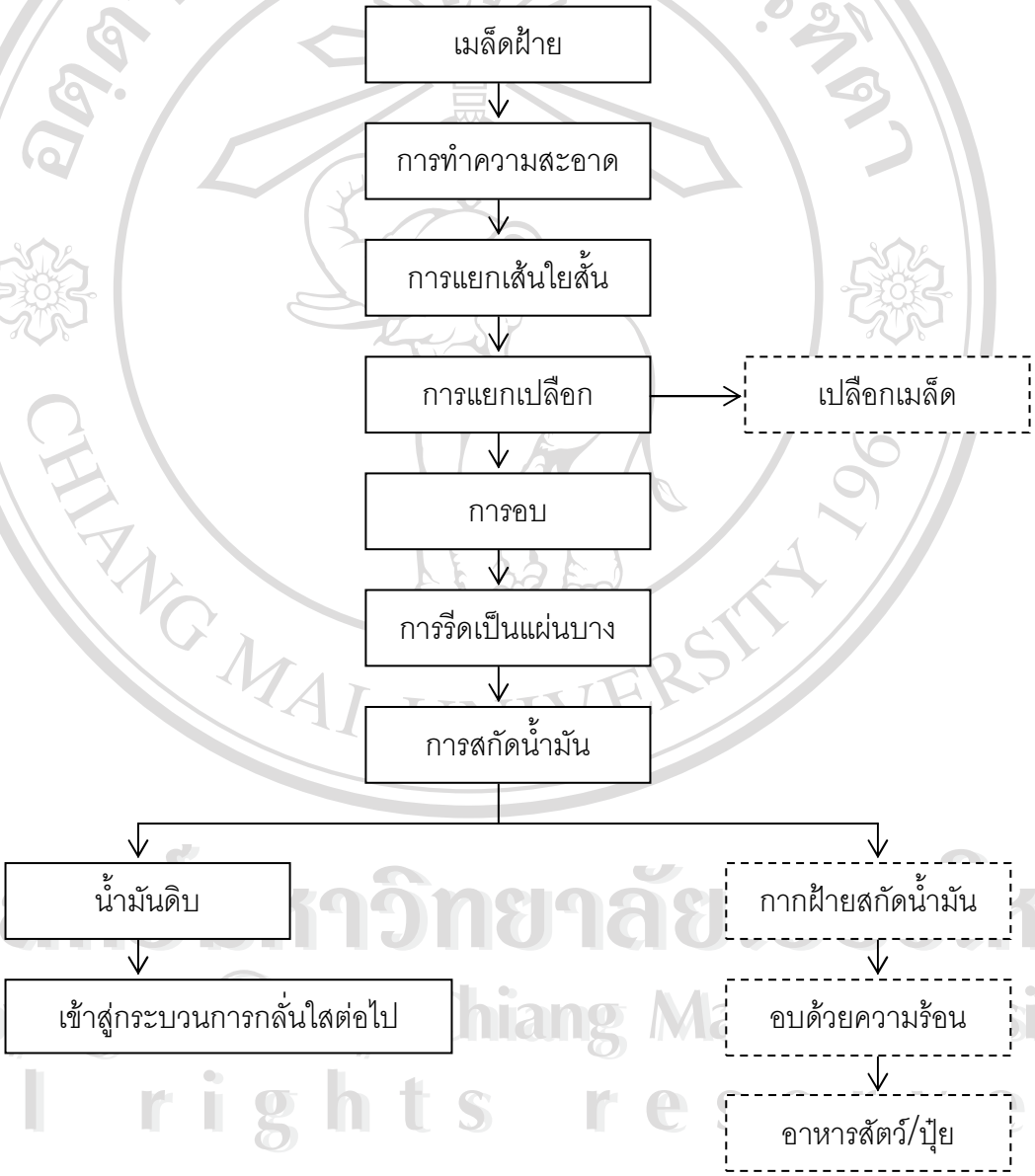
3. การแยกเปลือก (dehulling) เมื่อเมล็ดฝ้ายผ่านการตัดปุย 2 ครั้งแล้วจะมีเปลือกสีดำนำไปผ่านเครื่องกระเทาะเปลือกเพื่อให้เปลือกแตกออกจากกัน แล้วผ่านเครื่องแยกเปลือกออกจะเหลือเนื้อและเปลือกบางส่วน

4. การอบ (cooker) นำเนื้อเมล็ดฝ้ายผ่านเข้าเครื่องอบด้วยความร้อนให้ผนังเซลล์แตกเพื่อบีบหรือสกัดให้ได้ปริมาณน้ำมันออกมาก ๆ

5. การรีดให้เป็นแผ่น (flake) เพื่อต้องการให้พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับตัวทำละลายมากที่สุดแล้วจึงนำไปสกัดน้ำมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

6. การสกัดน้ำมัน (sovent extraction) ใช้สารละลายอินทรีย์ n-hexane เป็นตัวสกัดเอาน้ำมันออกจากเนื้อของเมล็ดฝ้าย โดยนำเนื้อของเมล็ดฝ้ายเข้าเครื่องสกัดแล้วฉีด n-hexane ผ่านเนื้อเมล็ดฝ้าย น้ำมันจะถูกสกัดออกมารวมกับ n-hexane ทำการแยก n-hexane ออกโดยผ่านการกลั่นและควบแน่น น้ำมันที่ได้จะเป็นน้ำมันฝ้ายดิบและนำไปเข้ากระบวนการกลั่นใสต่อไป เนื้อเมล็ดฝ้ายที่เหลือจากการสกัดน้ำมันเรียกว่ากากเมล็ดฝ้าย (cottonseed meal) จะทำการอบด้วยความร้อนให้แห้ง สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์และเป็นปุ๋ยได้



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2 แสดงกรรมวิธีการสกัดน้ำมันฝ้าย

ที่มา : ดัดแปลงจาก ประสงค์ (2542)

2.2 กากเมล็ดฝ้าย

กากเมล็ดฝ้าย (cottonseed meal, CSM) เป็นส่วนเหลือที่ได้จากการนำเอาเมล็ดฝ้ายผ่านกระบวนการเอาน้ำมันออก โดยเมล็ดฝ้าย 1 ตัน สกัดน้ำมันได้ 200 กิโลกรัม ได้กากเมล็ดฝ้าย 500 กิโลกรัม และเปลือกเมล็ดฝ้าย 300 กิโลกรัม สามารถแบ่งกากเมล็ดฝ้ายได้ 2 ชนิด ตามกระบวนการผลิต คือ กากฝ้ายสกัดน้ำมัน (solvent extracted cottonseed meal) เป็นส่วนที่เหลือจากการเอาน้ำมันออกจากเมล็ดฝ้ายโดยวิธีการสกัดด้วยสารเคมี และกากฝ้ายอัดน้ำมัน (machanical extracted cottonseed meal) เป็นส่วนเหลือจากการบีบหรืออัดน้ำมันออกจากเมล็ดฝ้ายโดยการใช้เครื่องมือกล (Göhl, 1981)

2.2.1 องค์ประกอบทางโภชนะของกากเมล็ดฝ้าย

องค์ประกอบทางโภชนะของกากเมล็ดฝ้าย แสดงไว้ในตารางที่ 4 พบว่า องค์ประกอบทางโภชนะของกากเมล็ดฝ้ายจะแปรปรวนตามปัจจัยต่าง ๆ อันได้แก่ แหล่งที่ปลูก การกระเทาะเปลือก และวิธีการสกัดน้ำมัน โดยกากเมล็ดฝ้ายไม่กระเทาะเปลือกมีโปรตีนอยู่ระหว่าง 23.0–26.9 เปอร์เซ็นต์ และมีเยื่อใยอยู่สูงถึง 24.0–25.6 เปอร์เซ็นต์ กากเมล็ดฝ้ายกระเทาะเปลือกมีโปรตีน 40.3–47.7 เปอร์เซ็นต์ และมีเยื่อใย 12.0–15.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวิธีการสกัดน้ำมันที่ต่างกันทำให้ปริมาณไขมันที่เหลืออยู่ในกากเมล็ดฝ้ายต่างกัน โดยการอัดน้ำมันเมล็ดฝ้ายด้วยเครื่องมือกลนั้นจะทำให้กากเมล็ดฝ้ายที่ได้มีไขมันอยู่สูงถึง 5.4 – 6.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการสกัดน้ำมันฝ้ายด้วยสารเคมีจะมีไขมันเหลืออยู่น้อยกว่าการอัดน้ำมันโดยเครื่องมือกล โดยจะมีไขมันอยู่ในช่วง 0.6 – 0.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีผลถึงระดับพลังงานในกากเมล็ดฝ้ายด้วย ส่วนการย่อยได้ของกากเมล็ดฝ้ายนั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 พบว่า กากเมล็ดฝ้ายไม่กระเทาะเปลือกมีการย่อยได้ของโปรตีนรวม เยื่อใยรวม ไขมัน และคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยง่าย เท่ากับ 75.0, 38.0, 95.0 และ 66.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ต่ำกว่ากากเมล็ดฝ้ายกระเทาะเปลือกที่มีการย่อยได้เท่ากับ 83.0, 45.0, 97.0 และ 74.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Göhl, 1981)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางโภชนะของกากเมล็ดฝ้าย

Cottonseed	As % of dry matter					
	DM	CP	CF	Ash	EE	NFE
Cake with hull, Bombay	87.7	23.0	24.7	6.6	5.5	40.2
Cake with hull, Egyptian	87.9	26.4	24.2	6.6	5.7	37.1
Cake with hull, Israel	91.4	26.9	24.0	5.0	6.8	37.3
Cake with hull, Uganda	88.0	26.2	25.6	6.2	5.7	36.3
Cake without hull, Israel	92.3	47.7	12.5	6.6	5.4	27.8
Meal without hull, Iraq	94.3	40.3	15.7	6.8	0.6	36.6
Meal without hull, USA	89.9	46.1	15.1	7.1	0.7	31.0

ที่มา : (Göhl, 1981)

ตารางที่ 5 การย่อยได้ของกากเมล็ดฝ้ายในแกะ

Cottonseed	Digestibility (%)			
	CP	CF	EE	NFE
Cake with hull, expressed	75.0	38.0	95.0	66.0
Cake without hull, expressed	83.0	45.0	97.0	74.0

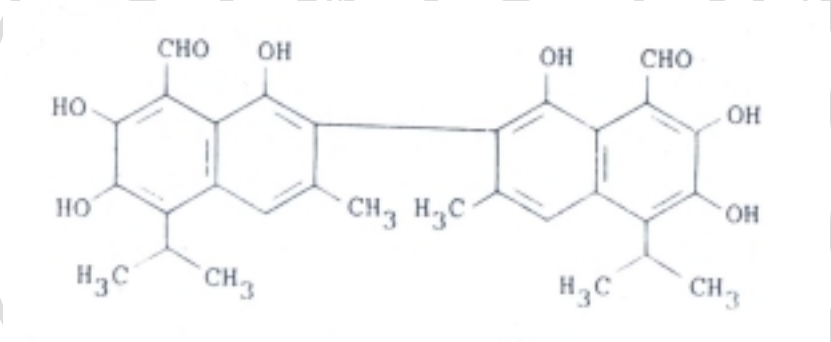
ที่มา : ดัดแปลงจาก Göhl (1981)

2.2.2 สารกอสซิปอลในกากเมล็ดฝ้าย

ในกากเมล็ดฝ้ายมีสารพิษที่ชื่อว่าสารกอสซิปอล (gossypol) เป็นสาร phenolic compound ประกอบด้วย aromatic ring (benzene) จับกับ hydroxyl group โครงสร้างทางเคมีของสารกอสซิปอล แสดงไว้ในภาพที่ 3 มีมวลโมเลกุล เท่ากับ 518.54 (Budavari *et al.*, 1989) สารพิษชนิดนี้จะมีอยู่ในทุกส่วนของต้นฝ้ายและจะมีมากในเม็ดสีเหลืองของเนื้อเมล็ดฝ้าย (ภาพที่ 4) (Cheeke, 1999) ในเมล็ดฝ้ายโดยทั่วไปจะพบสารกอสซิปอลในรูปสารกอสซิปอลอิสระ (free gossypol) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์ เมื่อนำเมล็ดฝ้ายไปผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันหรือการบดที่เกิดความร้อนจะทำให้กากเมล็ดฝ้ายที่ได้มีปริมาณสารกอสซิปอลอิสระลดลงเนื่องจาก formyl group ของสารกอสซิปอลอิสระไปจับกับหมู่อะมิโนที่ตำแหน่งอิพซิลอนของไลซีน (ε-amino group of

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

lysine) ในกากเมล็ดฝ้ายกลายเป็นสารกอสซิปอลพันธะ (bound gossypol) ที่มีโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถถูกดูดซึมผ่านทางเดินอาหารของสัตว์ได้ จึงไม่ทำให้เกิดอาการเป็นพิษ (Evan, 1985 ; Velasquez-pereia *et al.*, 1998 ; McDonald *et al.*, 1995) โดยทั่วไปในกากเมล็ดฝ้ายจะมีสารกอสซิปอลอิสระ สูงกว่า 0.04 g/kgDM วิธีการสกัดน้ำมันมีผลทำให้กากเมล็ดฝ้ายที่ได้มีสารกอสซิปอลอิสระต่างกันไป (ตารางที่ 6) โดยในกากเมล็ดฝ้ายอัดน้ำมันโดยเครื่องมือกลมีสารกอสซิปอลอิสระสูงกว่ากากเมล็ดฝ้ายสกัดน้ำมันโดยสารเคมี คือ 1.03 และ 0.92 g/kgDM ตามลำดับ (Evan, 1985)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของสารกอสซิปอลอิสระ
ที่มา : Budavari *et al.* (1989)

ภาพที่ 4 สารกอสซิปอลในเม็ดสีเหลืองในเมล็ดฝ้าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่มา : Cheeke (1999)

ตารางที่ 6 ปริมาณสารกอสซิปอลในกากเมล็ดฝ้าย

Gossypol	Cottonseed cake	Cottoseed meal
Bound gossypol, g/kg DM	8.71	10.88
Free gossypol, g/kg DM	1.03	0.92

ที่มา : Evan (1985)

2.2.3 อาการเป็นพิษเนื่องจากสารกอสซิปอลอิสระ

ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวมีความทนทานต่อสารกอสซิปอลอิสระได้ต่ำกว่าสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถในการลดปริมาณสารกอสซิปอลอิสระให้ต่ำลงได้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากสัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับสารกอสซิปอลอิสระมากจนเกินความสามารถในการลดปริมาณลงได้ ก็จะทำให้สัตว์เกิดอาการเป็นพิษจากสารกอสซิปอลอิสระ (Reiser and Fu, 1962 ; Lindsey *et al*., 1980 ; Arieli,1998 ; Mena *et al*., 2001) อาการเป็นพิษจากสารกอสซิปอลอิสระมีผลทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง อัตราการเจริญเติบโตลดลง ในระยะยาวจะทำให้อวัยวะต่าง ๆ เช่น หัวใจ ปอด ตับ ถูกทำลายและทำให้สัตว์ตายได้ ในไก่ไข่ที่ได้รับสารนี้เข้าไปไข่ที่ได้เมื่อเก็บไว้นานไข่แดงจะเป็นสีเขียวมะกอก (olive-green yolk) เนื่องจากปฏิกิริยาของธาตุเหล็กในไข่แดงกับสารกอสซิปอลอิสระ นอกจากนี้ยังทำให้สัตว์เพศผู้เป็นหมันได้ เนื่องจากมีการสร้างอสุจิน้อยลง (Cheeke, 1999 ; แพรวพรรณ และดรุณี, 2542) ทำให้สัตว์ท้องผูก มีอาการหายใจรุนแรงเนื่องจากเลือดนำพาออกซิเจนได้น้อยลง และเกิดโลหิตจาง เนื่องจากสารกอสซิปอลอิสระไปจับกับธาตุเหล็กในเลือด (Göhl, 1981 ; McDonald *et al*., 1995)

กากเมล็ดฝ้ายมีสารกอสซิปอลอยู่ในช่วง 0.05 – 0.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดพิษต่อสัตว์ได้ ดังนั้นควรใช้กากเมล็ดฝ้ายหรือเมล็ดฝ้ายเลี้ยงโคนม โคเนื้อ และกระบือ ไม่เกิน 2-3 กิโลกรัมต่อวัน หรือในอาหารควรมีสารกอสซิปอลไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในโคพ่อพันธุ์ควรหลีกเลี่ยงการใช้กากเมล็ดฝ้ายหรือเมล็ดฝ้าย (เมธา, 2535)

ปริมาณสารกอสซิปอลอิสระในอาหารไก่รุ่นมีได้ไม่เกิน 0.03 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอาหารสุกรมีได้ไม่เกิน 0.01 เปอร์เซ็นต์ และในลูกสัตว์เคี้ยวเอื้องจะตอบสนองต่อพิษมากกว่าสัตว์ที่โตเต็มที่เนื่องจากกระเพาะรูเมนยังพัฒนาไม่เต็มที่ จึงแนะนำว่าในลูกสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีอายุต่ำกว่า 5 เดือน ควรใช้กากเมล็ดฝ้ายไม่เกิน 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ในอาหารข้น (Göhl, 1981 ; Cheeke,1999) ในประเทศอังกฤษได้มีการกำหนดปริมาณสารกอสซิปอลอิสระในอาหารลูกสุกรและไก่ไข่ไม่เกิน 20

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

mg/kg สุกรไม่เกิน 60 mg/kg ลูกสัตว์เคี้ยวเอื้องและไก่เนื้อไม่เกิน 100 mg/kg และสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่เกิน 500 mg/kg (McDonald *et al.*, 1995)

2.2.4 การลดปริมาณสารกอสซิปอลอิสระ

การลดปริมาณสารกอสซิปอลอิสระในกากเมล็ดฝ้ายสามารถทำได้หลายวิธี คือ การปรับปรุงพันธุ์ฝ้ายให้เป็นฝ้ายพันธุ์ไร้ต่อมซึ่งจะมีปริมาณสารกอสซิปอลอิสระลดลง (Cheeke, 1999 ; เกียรติศักดิ์ และคณะ, 2540 ก ; 2540 ข ; 2540 ค) การเติมธาตุเหล็กในรูป ferrus sulphate โดยธาตุเหล็กจะไปจับกับสารกอสซิปอลอิสระเป็นสารกอสซิปอลพันธะ (Göhl, 1981 ; Cheeke, 1999 ; แพรวพรรณ และดรุณี, 2542) การผ่านความร้อนสามารถทำให้ระดับสารกอสซิปอลอิสระลดลงได้เนื่องจากความร้อนจะทำให้สารกอสซิปอลอิสระจับตัวกับกรดอะมิโนกลายเป็นสารกอสซิปอลพันธะ (Göhl, 1981 ; McDonald *et al.*, 1995) และการสกัดสารกอสซิปอลออกด้วยสารเคมีต่าง ๆ เช่น สกัดด้วยสารผสมระหว่าง hexane, acetone และน้ำในอัตราส่วน 44 : 53 : 5 หรือสกัดด้วย aqueous acetone และตามด้วย dry acetone สกัดด้วย butanol-hydrochloric acid solution และสกัดด้วยสารผสมระหว่าง isopropanol and hexane ในอัตราส่วน 1 : 1 แล้วตามด้วย acetone (เพิ่มศักดิ์, 2523 ; ศรีสกุล, 2539 ; Eskin, 1995)

2.2.5 องค์ประกอบทางโภชนะของกากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลือง

องค์ประกอบทางโภชนะของกากเมล็ดฝ้ายเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง แสดงไว้ในตารางที่ 7 พบว่า ปริมาณวัตถุแห้งของกากเมล็ดฝ้ายสูงกว่ากากถั่วเหลือง คือ 92.00 และ 89.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณแป้งของกากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลืองเท่ากันคือ 90.00 เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่โครงสร้าง (%NSC) ปริมาณไขมันของกากเมล็ดฝ้ายสูงกว่ากากถั่วเหลือง คือ 3.15 และ 1.60 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ตามลำดับ ปริมาณเถ้าของกากเมล็ดฝ้ายใกล้เคียงกับกากถั่วเหลืองคือ 7.00 และ 7.20 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนรวมของกากเมล็ดฝ้ายต่ำกว่ากากถั่วเหลืองคือ 46.10 และ 49.90 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนที่สลายตัวในกระเพาะรูเมน (RDP) ของกากเมล็ดฝ้ายต่ำกว่ากากถั่วเหลือง คือ 57.00 และ 65.00 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนรวม (%CP) ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ (SolCP) ของกากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลืองเท่ากันคือ 20.00 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนรวม (%CP) ปริมาณไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) ของกากเมล็ดฝ้ายต่ำกว่ากากถั่วเหลืองคือ 40.00 และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

55.00 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนที่ละลายได้ (%SolCP) พลังงานในรูปยอดโภชนะที่ย่อยได้ (TDN) ของกากเมล็ดฝ้ายต่ำกว่ากากถั่วเหลืองเล็กน้อยคือ 2.71 และ 3.04 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ตามลำดับ ส่วนพลังงานเมทาบอไลซ์ (ME) พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_M) และพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NE_G) ของกากเมล็ดฝ้าย (2.71, 1.79 และ 1.16 Mcal/kg ตามลำดับ) ต่ำกว่ากากถั่วเหลืองเล็กน้อยเช่นกัน (3.04, 2.06 และ 1.40 Mcal/kg ตามลำดับ) (NRC, 1996)

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางโภชนะและพลังงานของกากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลือง

Composition	Cottonseed meal	Soybean meal
Dry matter (%)	92.00	89.00
Starch (%NSC)	90.00	90.00
Fat (%DM)	3.15	1.60
Ash (%DM)	7.00	7.20
Crude protein (CP), %DM	46.10	49.90
Rumen degradable protein (RDP), %CP	57.00	65.00
Soluble protein (SolCP), %CP	20.00	20.00
Non-protein nitrogen (NPN), %SolCP	40.00	55.00
Total digestible nutrient (TDN), %DM	75.00	84.00
Metabolizable energy (ME), Mcal/kg	2.71	3.04
Net energy for maintenance (NE_M), Mcal/kg	1.79	2.06
Net energy for gain (NE_G), Mcal/kg	1.16	1.40

ที่มา : ดัดแปลงจาก NRC (1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนของกากเมล็ดฝ้ายเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองนั้น แสดงไว้ในตารางที่ 8 พบว่ากากเมล็ดฝ้ายมีเมทไธโอนีน (methionine) และไลซีน (lysine) ต่ำกว่ากากถั่วเหลือง (0.63 และ 3.85 %RUP และ 1.01 และ 5.36 %RUP ตามลำดับ) แต่มีอาร์จีนีน (arginine) สูงกว่ากากถั่วเหลือง (10.40 และ 6.55 %RUP) ส่วนกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ มีในระดับใกล้เคียงกัน (NRC, 1996) ไลซีนเป็นกรดอะมิโนที่มักขาดหรือมีอยู่ในปริมาณที่น้อย (first limiting amino acid) ในกากเมล็ดฝ้าย และเมื่อโคได้รับอาหารที่มีกากเมล็ดฝ้ายเป็นองค์ประกอบจะมีปริมาณไลซีนที่จะถูกดูดซึมได้ต่ำกว่ากากกั่วเหลือง (Clark *et al*., 1987) เนื่องจากกุ่มอะมิโนของไลซีนจับตัวกับสาร

กอสซิปอลอิสระเกิดเป็นสารประกอบที่มีขนาดใหญ่ จึงไม่สามารถถูกดูดซึมในทางเดินอาหารได้ (Reiser and Fu, 1962) ดังนั้นในการใช้กากเมล็ดฝ้ายเป็นอาหารสำหรับสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต สัตว์ที่อยู่ในระยะตั้งท้อง หรือสัตว์ที่กำลังให้ผลผลิต ควรเสริมกรดอะมิโนประเภทไลซีนและเมทไธโอนีนจากวัตถุดิบแหล่งอื่นเช่น ปลาป่น เนื้อและกระดูกป่น หรือเสริมในรูปแอลไลซีน (L-lysine) และดีแอลเมทไธโอนีน (DL-methionine) เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นให้เพียงพอแก่ความต้องการของสัตว์ (รวีวรรณ์, 2541 ; McDonald *et al*., 1995)

ส่วนแร่ธาตุที่พบในกากเมล็ดฝ้ายเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง แสดงไว้ในตารางที่ 9 พบว่า กากเมล็ดฝ้ายมีฟอสฟอรัส แมกนีเซียม โซเดียม โคบอลต์ ซิลิเนียม และสังกะสีสูงกว่ากากถั่วเหลือง ส่วนกากถั่วเหลืองมีแคลเซียม โปแตสเซียม กำมะถัน ทองแดง เหล็ก และแมงกานีสสูงกว่ากากเมล็ดฝ้าย สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส (Ca : P) ของกากเมล็ดฝ้าย เท่ากับ 1 : 6 ส่วนกากถั่วเหลืองสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส เท่ากับ 1 : 2 (NRC, 1996)

ตารางที่ 8 กรดอะมิโนในกากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลือง

Amino acid (% RUP)[1]	Cottonseed meal	Soybean meal
Methionine	0.63	1.01
Lysine	3.85	5.36
Arginine	10.40	6.55
Threonine	3.45	3.52
Leucine	6.33	7.23
Isoleucine	3.77	4.65
Valine	5.27	5.09
Histidine	3.14	2.82
Phenylalanine	5.85	4.94
Tryptophan	1.74	1.64

[1]เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน

ที่มา : NRC (1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 9 แร่ธาตุในกากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลือง

Mineral	Cottonseed meal	Soybean meal
Calcium (%DM)	0.20	0.40
Phosphorus (%DM)	1.16	0.71
Magnesium (%DM)	0.65	0.31
Chlorine (%DM)	0.00	0.00
Potassium (%DM)	1.65	2.22
Sodium (%DM)	0.07	0.04
Sulfur (%DM)	0.42	0.46
Cobalt (mg/kg)	0.53	0.12
Copper (mg/kg)	16.50	22.40
Iodine (mg/kg)	0.00	0.00
Iron (mg/kg)	162.00	185.00
Manganese (mg/kg)	26.90	35.00
Selenium (mg/kg)	0.98	0.51
Zinc (mg/kg)	74.00	57.00

ที่มา : NRC (1996)

2.3 การใช้กากเมล็ดฝ้ายในอาหารสัตว์

2.3.1 การใช้กากเมล็ดฝ้ายในอาหารสุกร

Schell *et al.* (2000) ได้ศึกษาถึงผลการใช้กากเมล็ดฝ้ายแทนที่กากถั่วเหลือง ที่ระดับ 0, 7.5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรสาวที่อยู่ในระยะการพัฒนาการเป็นสัดครั้งแรก พบว่า การใช้กากเมล็ดฝ้ายแทนที่กากถั่วเหลืองมีผลทำให้อายุการเป็นสัดครั้งแรกสั้นลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสุกรมีอายุการเป็นสัดครั้งแรกเท่ากับ 186, 181 และ 177 วัน ตามลำดับ ปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) คือ 3.3, 3.1 และ 3.5 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P>0.05$) และมีคุณภาพซากไม่แตกต่างกับการใช้กากถั่วเหลือง 100 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Cervantes *et al.* (1999) ได้ทำการศึกษาถึงระดับการใช้กากเมล็ดฝ้ายแทนที่กากถั่วเหลือง ที่ระดับ 15, 30 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากในสุกรรุ่น โดยการทดลองแรกเป็นการใช้กากเมล็ดฝ้ายแทนที่กากถั่วเหลืองในระดับ 15, 30 และ 45 เปอร์เซ็นต์ และใช้ไลซีนสังเคราะห์ปรับระดับไลซีนให้เท่ากับกลุ่มควบคุม พบว่าสามารถใช้กากเมล็ดฝ้ายแทนกากถั่วเหลืองได้ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ของกากถั่วเหลือง ซึ่งไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินอาหาร อัตราการแลกน้ำหนัก ความหนาของไขมันสันหลัง และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน การทดลองที่สองใช้กากเมล็ดฝ้ายแทนที่กากถั่วเหลือง ที่ระดับ 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถใช้กากเมล็ดฝ้ายแทนที่กากถั่วเหลืองได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของกากถั่วเหลือง โดยไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากใด ๆ ของสุกร

2.3.2 การใช้กากเมล็ดฝ้ายในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ฉลอง และคณะ (2534) ได้ทำการศึกษาผลการใช้ความร้อนต่อการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของโปรตีนของกากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลือง พบว่า กากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลืองมีโปรตีน 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมน 81.7 และ 90.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังจากใช้ความร้อนโดยการตากแดดนาน 6 ชั่วโมง ทำให้กากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลืองมีการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนลดลงเป็น 67.5 และ 66.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการอบกากเมล็ดฝ้ายโดยตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที การย่อยสลายของโปรตีนจะต่ำสุดคือ 56.9 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับกากถั่วเหลืองการอบที่อุณหภูมิ 120, 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที จะมีการย่อยสลายของโปรตีนจะต่ำสุดเท่ากันคือ 55.3 เปอร์เซ็นต์

เมธา และคณะ (2534) ได้ทำการศึกษาการเสริมกากเมล็ดฝ้ายที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 0.2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ในโคพื้นเมืองและกระบือที่ปล่อยแทะเล็มในทุ่งหญ้ารูซี่ เปรียบเทียบกับการเสริมอาหารข้นที่มีโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์ในอัตรา 0.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของกระบือสูงกว่าโคพื้นเมืองอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) คือ 606 และ 456 กรัมต่อวัน ตามลำดับ และระหว่างกลุ่มที่ได้รับการเสริมกากเมล็ดฝ้ายและอาหารข้นมีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 516 และ 514 กรัมต่อวัน ตามลำดับ แต่สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมอาหารมีอัตราการเจริญเติบโต 483 กรัมต่อวัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จินดา และคณะ (2535) ได้ศึกษาการใช้กากเมล็ดฝ้าย และเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารข้นร่วมกับอาหารสำเร็จจากบริษัท เลี้ยงแม่โคพันธุ์ผสมโฮลส์ไตน์ฟรีเซี่ยนที่กำลังให้นม โดยแม่โคทุกตัวจะเลี้ยงปล่อยให้แทะเล็มในแปลงหญ้า พบว่า แม่โคที่กินอาหารข้นที่ผสมกากเมล็ดฝ้าย 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตน้ำนมและเปอร์เซ็นต์ไขมันนมสูงกว่า แต่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในนมต่ำกว่าแม่โคที่กินอาหารข้นที่ผสมเมล็ดฝ้าย 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ปริมาณอาหารข้นที่โคกินเพื่อใช้ผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

จินดา และคณะ (2537) ได้ทำการศึกษาการใช้เมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนเทียบกับกากถั่วเหลือง ในการขุนโคนมพันธุ์ผสมขาว-ดำ เพศผู้ โดยแบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะหลังหย่านม ถึงน้ำหนัก 250 กิโลกรัม ให้อาหารข้นมีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และระยะที่สองคือน้ำหนักตัว 250 กิโลกรัมขึ้นไปจนถึงสิ้นสุดการทดลองประมาณ 1 ปี ให้อาหารข้นมีโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่า ปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าการใช้กากเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนทำให้อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารสูงกว่าการใช้เมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน

Wanapat ***et al.*** (1996) ได้ทำการศึกษาการเสริมกากเมล็ดฝ้ายในโคที่กำลังให้นม ที่ระดับ 2, 3, 4 และ 5 กิโลกรัมต่อวัน และให้กินฟางข้าวเป็นอาหารหยาบ และเสริมมันเส้น 5 กิโลกรัมต่อวัน พบว่า ปริมาณการกินฟางข้าวลดลง (จาก 1.25 เหลือ 0.88 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว) ตามระดับการเพิ่มการเสริมกากเมล็ดฝ้ายที่สูงขึ้น (จาก 2 เป็น 5 กิโลกรัมต่อวัน) โดยไม่มีผลกระทบต่อความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน (ruminal pH) และองค์ประกอบของน้ำนม และการเสริมกากเมล็ดฝ้ายที่ทำให้มีปริมาณผลผลิตนมเพิ่มขึ้นสูงสุดคือ การเสริมที่ระดับ 4 กิโลกรัมต่อวัน (เพิ่มจาก 8.56 เป็น 11.3 กิโลกรัมต่อวัน)

Blackwelder ***et al.*** (1998) ได้ทำการศึกษาการใช้กากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลือง ที่เสริมและไม่เสริมโปรตีนที่ไม่สลายตัวในกระเพาะรูเมน (RUP) ในการเลี้ยงโคนม อาหารหยาบประกอบด้วยข้าวโพดและถั่วอัลฟาฟาหมักในสัดส่วน 80 : 20 พบว่า การใช้กากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลืองทำให้มีปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมไม่แตกต่างกัน โคกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม RUP มีปริมาณการกินอาหารมากกว่า และการเสริม RUP ทำให้มีปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น และกลุ่มที่กินอาหารที่มีกากเมล็ดฝ้ายจะมีกอสซิปอลในเลือดสูงกว่ากลุ่มที่มีกากถั่วเหลือง แต่ก็ยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์ จากผลดังกล่าวทำให้ทราบว่าสามารถใช้กากเมล็ดฝ้ายแทนกากถั่วเหลืองได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Yahaya *et al.* (1999) ได้ทำการศึกษาผลการเสริมและไม่เสริมกากเมล็ดฝ้ายอัดน้ำมันวันละ 2 กิโลกรัม และระยะเวลาการทำงานวันละ 4 และ 6 ชั่วโมง ต่อปริมาณการกินและการย่อยได้ของวัตถุแห้ง การเจริญเติบโต และสมรรถภาพการทำงานของโคงาน พบว่า การเสริมกากเมล็ดฝ้ายวันละ 2 กิโลกรัม ทำให้มีการกินวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น 2.4 กิโลกรัม การย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงขึ้น 1.9 เปอร์เซ็นต์ มีการกินน้ำมากขึ้น และโคที่ได้รับการเสริมกากเมล็ดฝ้ายจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นวันละ 0.02 กิโลกรัม แต่โคที่ไม่ได้รับการเสริมกากเมล็ดฝ้ายจะสูญเสียน้ำหนักไปวันละ 0.01 กิโลกรัม ส่วนระยะเวลาการทำงาน (4 และ 6 ชั่วโมง) ไม่มีผลต่อปริมาณการกินและการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และไม่มีความแตกต่างทางด้านประสิทธิภาพการทำงาน (ตารางเมตรต่อนาที) แต่มีผลต่อปริมาณการกินน้ำ

Meyer *et al.* (2000) ได้ศึกษาการใช้กากเมล็ดฝ้ายเอ๊กทรูด (extruded-expelled cottonseed meal) เป็นแหล่งโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (RUP) เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง และปลาป่นกับเลือดป่นผสมกัน ในโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ โดยมีอาหารทดลอง 4 สูตร ดังนี้ 1. อาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน มีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ และมี RUP 35 เปอร์เซ็นต์ 2. อาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน มีโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ และมี RUP 35 เปอร์เซ็นต์ 3. อาหารที่ใช้กากเมล็ดฝ้ายเอ๊กทรูดเป็นแหล่งโปรตีน มีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ และมี RUP 40 เปอร์เซ็นต์ และ 4. อาหารที่ใช้ปลาป่นกับเลือดป่นเป็นแหล่งโปรตีน มีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ และมี RUP 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณผลผลิตน้ำนมไม่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณน้ำนมเท่ากับ 36.7, 37.6, 37.2 และ 37.2 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ และองค์ประกอบน้ำนมไม่แตกต่างกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้กากเมล็ดฝ้ายเอ๊กทรูดแทนที่กากถั่วเหลืองและปลาป่นผสมเลือดป่นได้

Chowdhury (2001) ได้ทำการศึกษาการเสริมกากเมล็ดฝ้ายอัดน้ำมัน (cottonseed cake) ที่ระดับ 0, 0.5 และ 1 กิโลกรัมต่อวัน ในโคเพศผู้ ที่มีฟางข้าวผสมยูเรียและกากน้ำตาลเป็นอาหารหยาบ พบว่า การเสริมกากเมล็ดฝ้ายทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งโดยรวมเพิ่มขึ้น แต่กินฟางข้าวลดลง การย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่การย่อยได้ของไนโตรเจนและเยื่อใยที่ละลายในกรด (ADF) เพิ่มขึ้นตามระดับของกากเมล็ดฝ้ายที่เพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นของกากเมล็ดฝ้าย 1 กรัมทำให้ N-intake และ N-balance เพิ่มขึ้น 0.626 และ 0.625 mg/kg$W^{0.75}$ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

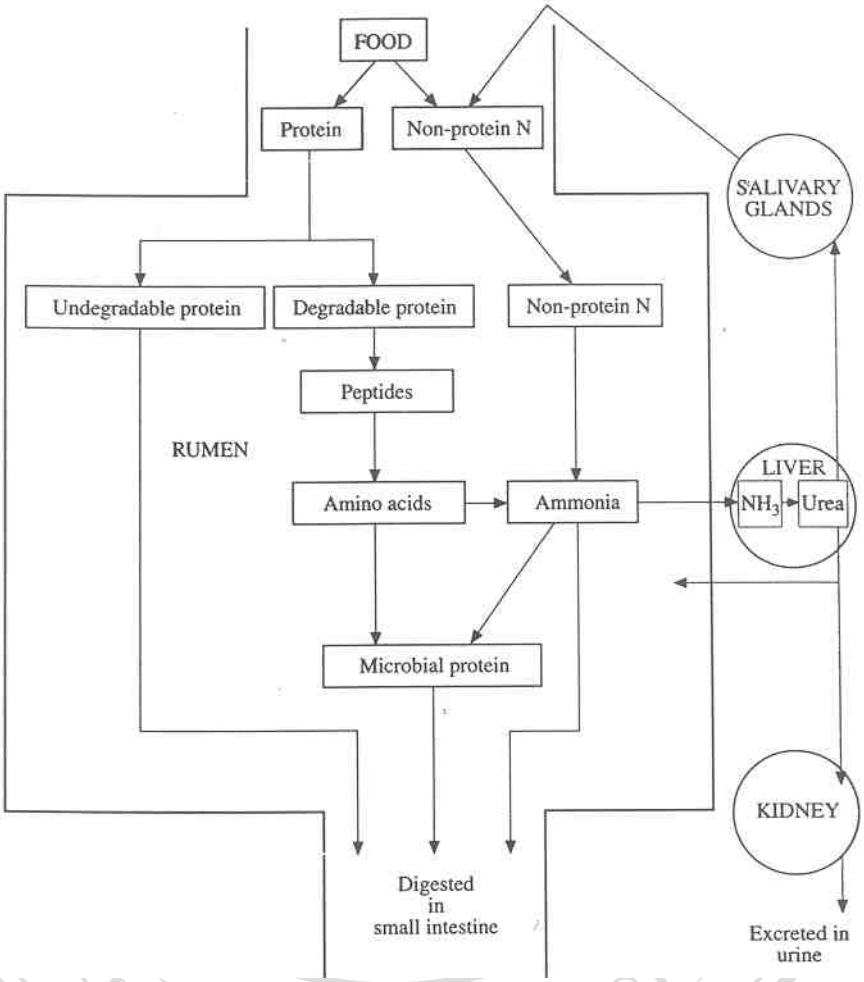
กระเพาะรูเมนมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โปรโตซัว และฟังไจ เมื่ออาหารเข้าสู่กระเพาะรูเมน ส่วนหนึ่งจะถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ได้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) เซลล์จุลินทรีย์ และก๊าซ โดยก๊าซจะถูกขับออกโดยการเรอ ส่วนกรดไขมันระเหยได้ส่วนใหญ่จะซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน และเซลล์จุลินทรีย์กับอาหารส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะเคลื่อนที่ไปยังกระเพาะแท้ (abomasum) และลำไส้เล็ก ทั้งเซลล์จุลินทรีย์และอาหารจะถูกย่อยโดยเอนไซม์จากกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก และถูกดูดซึมบริเวณลำไส้เล็ก ส่วนในลำไส้ใหญ่เป็นอีกแห่งที่มีกระบวนการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ โดยกรดไขมันระเหยได้จะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้ใหญ่ แต่เซลล์จุลินทรีย์จะถูกขับออกทางมูลพร้อมกับอาหารที่ไม่ถูกย่อย (McDonald *et al.*, 1995)

2.4.1 การย่อยโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.4.1.1 การย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมน

ขั้นตอนการย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมน แสดงไว้ในภาพที่ 5 คือ อาหารประเภทโปรตีนประกอบด้วยโปรตีนแท้ (true protein) และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) โปรตีนแท้บางส่วนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน เรียกโปรตีนเหล่านี้ว่า rumen degradable protein (RDP) ซึ่งจะถูกย่อยเป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน แต่กรดอะมิโนบางชนิดบางส่วนจะถูกย่อยต่อไปเป็นกรดอินทรีย์ แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแอมโมเนียที่เกิดขึ้น เปปไทด์ขนาดเล็ก ๆ และกรดอะมิโนอิสระ จะถูกใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ในการนำไปสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ (microbial protein) และโปรตีนบางส่วนมีความทนทานต่อการย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนทำให้ไม่ถูกย่อยและเคลื่อนที่ผ่านไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็กได้ เรียกโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยนี้ว่า rumen undegradable protein (RUP) ส่วนไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) เมื่อเข้าไปในกระเพาะรูเมนจะแตกตัวเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ เมื่อเซลล์จุลินทรีย์และโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมนเคลื่อนที่ไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็กจะถูกเอนไซม์ในทางเดินอาหารของสัตว์ย่อยและดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป (McDonald *et al.*, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5 การย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมน

ที่มา : McDonald *et al.* (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1.2 การย่อยโปรตีนในลำไส้เล็ก

โปรตีนที่เข้าไปในลำไส้เล็ก ได้แก่ โปรตีนจากอาหารที่รอดพ้นจากการย่อยในกระเพาะรูเมน (RUP) โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein) และโปรตีนจากทางเดินอาหาร (endogenous protein) การย่อยโปรตีนในลำไส้เล็กคล้ายกับในสัตว์กระเพาะเดี่ยว คือโปรตีนจะถูกเอนไซม์จากตับอ่อนและลำไส้เล็กเข้าย่อยโปรตีนได้เป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์สายสั้น ๆ ซึ่งจะถูกดูดซึมโดยลำไส้เล็ก และภายในผนังลำไส้เล็กจะมีเอนไซม์เปปติเดส (peptidase) ย่อยพวกเปปไทด์สายสั้น ๆ ให้เป็นกรดอะมิโน และดูดซึมต่อไปยัง portal blood ต่อไป กรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมนี้ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คือ การนำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรท และไขมัน หรือการที่ถูกออกซิเดชัน (oxidiation) ต่อไปและให้พลังงานที่อยู่ในรูป ATP ส่วนพวกแอมโมเนียหรือไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen) เมื่อถูกดูดซึมจะถูกเปลี่ยนเป็นยูเรีย (urea) โดย Ornithine cycle และยูเรียส่วนใหญ่เข้าไปร่วมกับ Urea N pool ในของเหลวในร่างกายซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ และส่วนมากจะถูกขับออกไปพร้อมกับปัสสาวะ ดังนั้นไนโตรเจนที่เข้าไปในลำไส้เล็กถ้าหากมีสัดส่วนของโปรตีนแท้หรือกรดอะมิโนไม่ว่าจะเป็นกรดอะมิโนจากโปรตีนที่รอดพ้นจากการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (RUP) หรือโปรตีนจากจุลินทรีย์ในปริมาณสูงก็จะทำให้สัตว์มีโอกาสที่จะได้รับกรดอะมิโนเพื่อนำไปใช้แก่ร่างกายผ่านทางลำไส้เล็กสูงขึ้น แต่ถ้าเป็นส่วนของไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนหรือแอมโมเนียร่ายกายสัตว์ก็มีโอกาสที่จะได้รับกรดอะมิโนน้อย เนื่องจากไนโตรเจนที่เข้าไปในลำไส้เล็กนั้นไม่เกิดประโยชน์แก่ร่างกายมากเท่าใด (เทอดชัย, 2542)

2.4.1.3 การย่อยโปรตีนในลำไส้ใหญ่

โปรตีนที่เข้าไปในลำไส้ใหญ่ ได้แก่ โปรตีนจากอาหารที่ไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก โปรตีนจากจุลินทรีย์ และโปรตีนจากทางเดินอาหาร (endogenous protein) ที่ไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก นอกจากนี้ยังมีน้ำย่อยต่าง ๆ จากลำไส้เล็กและตับอ่อน การย่อยโปรตีนในลำไส้ใหญ่คล้ายกับในกระเพาะรูเมนคือจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายและผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นแอมโมเนีย ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมเข้าไปในกระแสเลือดกลับเข้าไปใช้ประโยชน์ในร่างกายอีก และอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนโดยจุลินทรีย์ พบว่าโปรตีนที่เกิดขึ้นในลำไส้ใหญ่นี้ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ และจะถูกขับออกนอกร่างกายไปพร้อมกับมูล (เทอดชัย, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2 การย่อยคาร์โบไฮเดรทในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.4.2.1 การย่อยคาร์โบไฮเดรทในกระเพาะรูเมน

อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรทของสัตว์เคี้ยวเอื้อง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ คาร์โบไฮเดรทที่เป็นโครงสร้างของพืช (structural carbohydrate) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และเพกติน (pectin) และคาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural carbohydrate) ได้แก่ แป้ง และน้ำตาล เมื่ออาหารประเภทคาร์โบไฮเดรทเข้าสู่กระเพาะรูเมนจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ ในขั้นแรกน้ำตาลเชิงซ้อน (polysaccharide) จะถูกเอนไซม์เข้าย่อยพันธะที่เชื่อมหน่วยของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ให้เป็นน้ำตาลขนาดต่าง ๆ และสุดท้ายได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ขั้นที่สองน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ย่อยได้จะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวท (pyruvate) อย่างรวดเร็ว โดยน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 ตัว (hexose) จะถูกเปลี่ยนโดย Embden Meyerhof pathway ส่วนน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 ตัว (pentose) จะถูกเปลี่ยนโดย Pentose phosphate pathway (ภาพที่ 6) และในขั้นตอนสุดท้ายไพรูเวทที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยได้ (VFA) ได้แก่ กรดอะซิติก (acatic acid) กรดโพรไพโอนิก (propionic acid) และกรดบิวทีริก (butyric acid) นอกจากนี้จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นมีเทน (methane) ต่อไป (ภาพที่ 7) กรดไขมันระเหยได้เหล่านี้ส่วนหนึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้สังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ และส่วนหนึ่งจะดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปยังตับ โดยกรดอะซิติกและกรดบิวทีริกจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยผ่านกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) และสังเคราะห์เป็นไขมัน ส่วนกรดโพรไพโอนิกจะเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์กลูโคสโดยกระบวนการ gluconeogenesis (เทอดชัย, 2542)

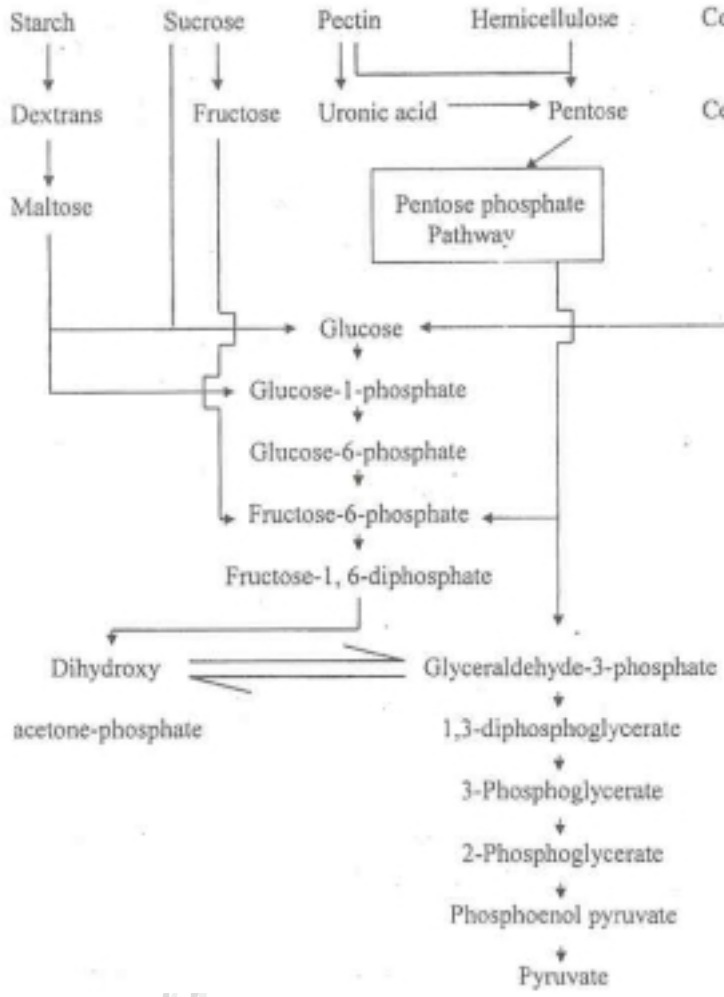
2.4.2.2 การย่อยคาร์โบไฮเดรทในลำไส้เล็ก

คาร์โบไฮเดรทที่เข้าไปในลำไส้เล็ก จะเป็นคาร์โบไฮเดรทส่วนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมน และคาร์โบไฮเดรทที่ได้จากการสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน คาร์โบไฮเดรทประเภทแป้งจะถูกย่อยโดยเอนไซม์จากลำไส้เล็ก ตับอ่อน และเอนไซม์ในผนังลำไส้เล็กได้เป็นกลูโคส และสัตว์สามารถดูดซึมกลูโคสไปเป็นแหล่งพลังงานได้โดยตรง ส่วนคาร์โบไฮเดรทประเภทเยื่อใย คือ เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะไม่สามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์จากลำไส้เล็ก แต่จะถูกย่อยเพียงเล็กน้อยโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่อยู่บริเวณส่วนปลายของลำไส้เล็ก (เทอดชัย, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

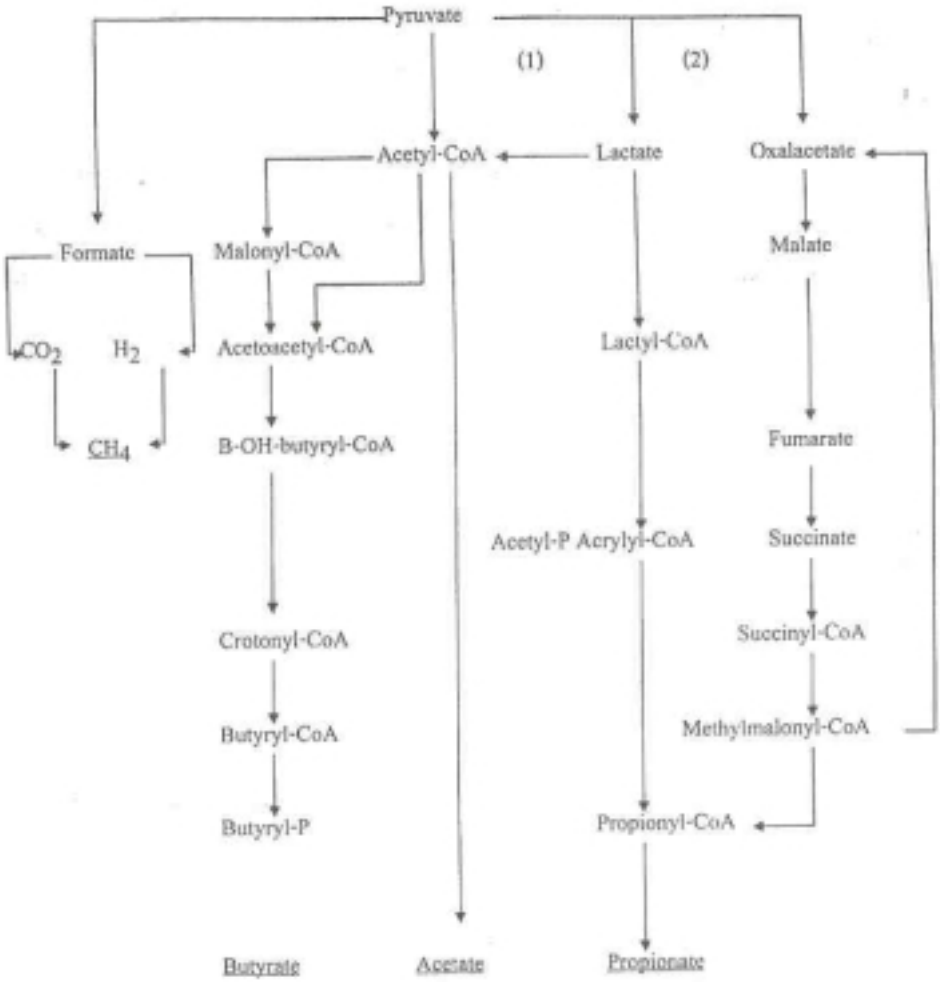
2.4.2.3 การย่อยคาร์โบไฮเดรทในลำไส้ใหญ่

คาร์โบไฮเดรทที่เข้าไปในลำไส้ใหญ่ จะเป็นคาร์โบไฮเดรทประเภทเยื่อใย คือเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ และอาจจะมีแป้งที่รอดพ้นจากการย่อยในลำไส้เล็กอยู่บ้าง การย่อยคาร์โบไฮเดรทในลำไส้ใหญ่จะเกิดจากการย่อยโดยจุลินทรีย์เหมือนในกระเพาะรูเมนทุกประการ ผลผลิตที่ได้คือกรดไขมันระเหยได้ และโปรตีนจุลินทรีย์ โดยกรดไขมันระเหยได้นั้นสัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ แต่โปรตีนจุลินทรีย์สัตว์ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ (เทอดชัย, 2542)



ภาพที่ 6 การย่อย polysaccharide เป็น monosaccharide และเปลี่ยนเป็น pyruvate
ที่มา : Conn and Stumpf (1972)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(1) วิถี Direct reductive pathway เกิดขึ้นในขณะที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับธัญญพืชเป็นจำนวนมาก

(2) วิถี Dicarboxylic acid pathway เกิดขึ้นในขณะที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับอาหารหยาบ

ภาพที่ 7 การสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะรูเมน

ที่มา : Conn and Stumpf (1972)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.3 ความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะรูเมน

ค่าความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะรูเมน (ruminal pH) จะแปรปรวนไปตามชนิดของอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปและเวลาที่ทำการวัด เมื่อสัตว์กินอาหารประเภทแป้งเข้าไปในกระเพาะรูเมนจะถูกเอนไซม์จากจุลินทรีย์ย่อย ผลที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรทโดยจุลินทรีย์จะเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid) ส่วนหนึ่งของกรดไขมันระเหยได้จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิต และเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งกับคาร์โบไฮเดรทที่เป็นโครงสร้างของพืช (เยื่อใย) พบว่าแป้งถูกย่อยสลายได้เร็วกว่า ให้สัดส่วนของ propionic acid และ/หรือ butyric acid สูงกว่า และทำให้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมนลดต่ำลงเนื่องจากในกระบวนการย่อยแป้งนั้นจะเกิด lactic acid เป็นจำนวนมากและจะถูกเปลี่ยนไปเป็น propionic acid ต่อไป (เทอดชัย, 2535 ; เทอดชัย, 2542) กรดที่เกิดจากกระบวนการหมักย่อยตามทฤษฎีแล้วสามารถทำให้ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนลดต่ำลงเหลือ 2.5–3.0 ได้แต่ในสภาพปกติความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะมีค่าอยู่ในช่วง 5.5-6.5 เนื่องจากฟอสเฟต (phosphate) และไบคาร์บอเนต (bicarbonate) ในน้ำลายที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (buffer) รักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างไว้ ประกอบกับการดูดซึมกรดอย่างรวดเร็วทำให้สามารถรักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างไว้ได้ (McDonald *et al.*, 1995) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมนสามารถบ่งบอกถึงการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรทได้ โดยถ้าหากความเป็นกรด-ด่างลดลงแสดงว่ามีการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรทเกิดขึ้น ถ้าลดลงอย่างรวดเร็วแสดงว่าอาหารนั้นมีคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยง่ายนั้นหมายถึงมีพลังงานจำนวนมากในกระเพาะรูเมน ในทางตรงกันข้ามถ้าหากความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไม่ลดลงแสดงว่าคาร์โบไฮเดรทในอาหารนั้นย่อยสลายได้ยาก (เทอดชัย, 2535 ; เทอดชัย, 2542)

2.4.4 แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน

แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน (ruminal ammonia-nitrogen) เป็นสารตัวกลางระหว่างการย่อยโปรตีนโดยจุลินทรีย์และการสังเคราะห์โปรตีน ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนนั้นสามารถบ่งบอกถึงการย่อยสลายของโปรตีนจากอาหารในกระเพาะรูเมนได้ โดยถ้าหากระดับแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนต่ำอาจแสดงว่าในอาหารนั้นมีโปรตีนต่ำ หรือโปรตีนย่อยได้ต่ำ หรือโปรตีนสามารถทนทานต่อการย่อย มีผลทำให้การเจริญเติบโตหรือการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ต่ำลง ในทางตรงกันข้ามถ้าหากในอาหารมีโปรตีนมากเกินไป หรือมีการย่อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ของโปรตีนมากเกินกว่าการสังเคราะห์โปรตีน จะเกิดการสะสมแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนและมากเกินกว่าระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีน แอมโมเนียจะถูกดูดซึมผ่านกระแสเลือดไปยังตับและเปลี่ยนเป็นยูเรีย ซึ่งยูเรียบางส่วนจะกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนทางน้ำลายและซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนโดยตรงแต่ยูเรียส่วนใหญ่จะถูกขับทางปัสสาวะ และโปรตีนที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ได้นั้นเป็นโปรตีนที่สังเคราะห์มาจากแอมโมเนีย 40–70 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นใช้ไนโตรเจนจากแหล่งอื่นคือ เปปไทด์ และกรดอะมิโน ในการสังเคราะห์โปรตีน (เทอดชัย, 2542 ; McDonald *et al*., 1995)

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

2.4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างและแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน

ปริมาณโปรตีนจากจุลินทรีย์ที่เข้าไปยังลำไส้เล็กนั้นจะขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ (microbial protein synthesis) โดยมีปัจจัยที่สำคัญคือแหล่งอาหารพลังงานและไนโตรเจน โดยถ้ามีแหล่งของพลังงานและไนโตรเจนเพียงพอและเหมาะสมแล้ว การสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ก็จะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (เทอดชัย, 2542)

ดังนั้น การวัดความเป็นกรด – ด่างในกระเพาะรูเมน (rumenal pH) ซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะการย่อยสลายแหล่งพลังงานคือคาร์โบไฮเดรท และการวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะการย่อยสลายโปรตีน ที่ชั่วโมงต่าง ๆ หลังจากสัตว์กินอาหารที่ จะทำให้ทราบถึงอาหารนั้นมีความเหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์มากน้อยเพียงใด โดยถ้าการย่อยสลายทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนเกิดขึ้นอย่างสอดคล้องกัน ทำให้สันนิษฐานได้ว่าจะเกิดการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 การศึกษาการย่อยได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

คุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์สามารถวัดได้โดยการวิเคราะห์ทางเคมี แต่ในระหว่างกระบวนการย่อยอาหาร ดูดซึมอาหาร และเมตาโบลิสม จะมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารไป เพราะฉะนั้นการให้อาหารตามความต้องการของสัตว์จำเป็นต้องมีการศึกษาการย่อยได้ของอาหาร เพื่อที่จะได้ให้อาหารตรงความต้องการของสัตว์ โดยการศึกษาในขั้นแรกจะเป็นการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีหรือโภชนะต่าง ๆ ของอาหาร และขั้นที่สองจะเป็นการศึกษาการย่อยได้ของอาหารเพื่อทราบปริมาณโภชนะที่สัตว์ได้รับหรือที่สูญเสียไป การย่อยได้หาได้จากโภชนะที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่ถูกขับออกทางมูลซึ่งถือว่าถูกย่อยและถูกดูดซึมเข้าร่างกายสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามส่วนประกอบต่าง ๆ ในมูลที่ขับออกมานั้นไม่ได้มาจากอาหารที่กินเข้าไปอย่างเดียวแต่จะมีบางส่วนที่มาจากเอนไซม์ สารอื่น ๆ ที่ถูกขับออกมาจากทางเดินอาหาร และเป็นเซลล์ในทางเดินอาหารที่หลุดลอกออกมาซึ่งจะทำให้การศึกษาการย่อยได้นั้นคลาดเคลื่อนได้ ค่าที่ใช้ในการศึกษาการย่อยได้ของอาหารนั้นแสดงได้ใน 2 ลักษณะคือ ค่าการย่อยได้ปรากฏ (apparent digestibility) และค่าการย่อยได้ที่แท้จริง (true digestibility) ขึ้นอยู่กับว่าจะคิดถึงโภชนะที่ขับออกและหลุดลอกมาจากทางเดินอาหาร (metabolic component) หรือไม่ แต่ส่วนใหญ่ในทางปฏิบัติจะไม่นิยมทำในลักษณะการย่อยได้ที่แท้จริงเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูง (ter Meulen, no date)

การศึกษาการย่อยได้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถของสัตว์ในการนำโภชนะหรืออาหารชนิดนั้น ๆ ไปใช้ประโยชน์ ทราบถึงจำนวนโภชนะที่ย่อยได้ในอาหารแต่ละชนิดว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด และอาจมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของการเตรียมอาหาร การเสริมสารต่าง ๆ อัตราส่วนของวัตถุดิบต่าง ๆ อิทธิพลของชนิด และอายุของสัตว์ และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหารอีกด้วย (เทอดชัย, 2542) การศึกษาการย่อยได้สามารถศึกษาได้ทั้งในตัวสัตว์ทดลองและนอกตัวสัตว์ทดลอง ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1 การศึกษาการย่อยได้ในตัวสัตว์ทดลอง

2.5.1.1 การศึกษาการย่อยได้แบบดั้งเดิม

การศึกษาการย่อยได้ในตัวสัตว์ทดลองแบบดั้งเดิม (conventional method) เป็นการเลี้ยงสัตว์ทดลองในคอกหรือกรงทดลองที่สามารถวัดปริมาณอาหารที่กิน อาหารที่เหลือ ปริมาณมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายได้ (metabolism cage) โดยจะต้องบันทึกปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณมูล

และปัสสาวะที่ขับถ่ายออกมาทั้งหมด (total collection) และสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนะและคำนวณหาการย่อยได้ต่อไป (เทอดชัย, 2542) โดยสมการ

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

2.5.1.2 การศึกษาการย่อยได้โดยใช้สารบ่งชี้

การศึกษาการย่อยได้โดยใช้สารบ่งชี้ (indicator method) เป็นวิธีการที่คล้ายกับการศึกษาการย่อยได้แบบดั้งเดิมแต่ไม่จำเป็นต้องเลี้ยงสัตว์ในคอกหรือกรงทดลอง และไม่จำเป็นต้องเก็บรวมรวมปริมาณมูลที่ขับถ่ายออกมาทั้งหมด สามารถเก็บเพียงตัวอย่างบางส่วนเพื่อนำไปวิเคราะห์และคำนวณหาค่าการย่อยได้ต่อไป โดยใช้สารบ่งชี้ (indicator หรือ marker) ตามหลักการที่ว่าปริมาณสารบ่งชี้ในอาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะมีปริมาณเท่าเดิมตลอดไม่สูญหายหรือตกค้างในทางเดินอาหารแต่ปริมาณโภชนะต่าง ๆ จะสูญหายไปตามทางเดินอาหารในแต่ละส่วน ทำให้สัดส่วนหรือความเข้มข้นของสารบ่งชี้ต่อโภชนะจะเพิ่มขึ้น และสามารถคำนวณหาค่าการย่อยได้ตามสมการดังต่อไปนี้

ในกรณีที่รู้ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด แต่ไม่รู้ปริมาณของมูลที่ขับถ่ายออกมาทั้งหมด สามารถใช้ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารบ่งชี้ในอาหารและในมูล เพื่อคำนวณหาปริมาณมูลที่ขับถ่ายออกมาทั้งหมดได้โดยสมการ

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

ในกรณีที่ไม่รู้ปริมาณอาหารที่กินและปริมาณมูลที่ขับถ่ายออกมาทั้งหมด 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 ไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำให้ทางเดินอาหารเป็นอันตราย ไม่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหาร และสามารถวิเคราะห์ทางเคมีได้ง่าย สารบ่งชี้ที่นิยมใช้ ได้แก่ ไททาเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide, TiO_2) โครมิกออกไซด์ (chromic oxide, Cr_2O_3) ลิกนิน (lignin) และเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA) เป็นต้น (เทอดชัย, 2542)

2.5.1.3 การศึกษาการย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหาร

การศึกษาการย่อยได้สองวิธีข้างต้นเป็นการศึกษาการย่อยได้ตลอดทางเดินอาหาร (total tract digestibility) ซึ่งเป็นการคำนวณการย่อยได้จากปริมาณโภชนะที่กินเข้าไปจากอาหารและปริมาณโภชนะที่ขับออกทางมูล แต่เนื่องจากในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารมีการย่อยได้ การดูดซึม และการนำอาหารไปใช้ประโยชน์ที่ต่างกัน การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหาร เช่น กระเพาะรูเมน ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ โดยการศึกษาในสัตว์ที่ได้รับการผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารที่กระเพาะรูเมน (rumen fistulae) ลำไส้เล็กส่วนต้น และลำไส้เล็กส่วนปลาย (intestine cannulae) (เทอดชัย, 2530 ข ; เกรียงศักดิ์ และคณะ, 2533 ; เทอดชัย และทัศนีย์, 2531 ; ทัศนีย์ และเทอดชัย, 2530 ; ทัศนีย์และเทอดชัย, 2532 ; จีรวัฒน์, 2545) ทำได้โดยการเก็บตัวอย่างอาหารจากท่อเก็บตัวอย่างอาหารไปวิเคราะห์หาสารบ่งชี้ แล้วคำนวณหาปริมาณโภชนะที่กินเข้าไป เข้าไปในแต่ละส่วนของทางเดินอาหาร และขับออกทางมูล เพื่อคำนวณหาการย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารต่อไป ผลจากการศึกษาการย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารสามารถนำไปใช้ในการให้อาหารสัตว์ได้อย่างถูกต้องตามที่สัตว์ต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการนำเอาวัตถุดิบอาหารที่มีการย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารที่แตกต่างกันมาจัดสัดส่วนประกอบเป็นอาหารสัตว์โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้โภชนะจากวัตถุดิบแต่ละชนิดถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับทางเดินอาหารแต่ละส่วนอย่างแท้จริง (เทอดชัย และ ter Meulen, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2 การศึกษาการย่อยได้นอกตัวสัตว์ทดลอง

การศึกษาการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*in vivo*) เป็นการสิ้นเปลืองแรงงานและค่าใช้จ่ายสูง จึงได้มีการพยายามหาวิธีการศึกษาการย่อยได้วิธีอื่น ๆ ที่เป็นการศึกษาการย่อยได้นอกตัวสัตว์ทดลองหรือ *In vitro* method โดยการย่อยอาหารด้วยเอนไซม์สังเคราะห์ หรือจุลินทรีย์ใน

ของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid) ที่นำออกมาจากตัวสัตว์ การศึกษาการย่อยได้แบบ *In vitro* method มีหลายวิธีการดังนี้ (เทอดชัย และ ter Meulen, 2542 ; ter Meulen, no date)

2.5.2.1 การศึกษาการย่อยได้โดยวิธี Cellulase technique

เป็นการศึกษาการย่อยได้โดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ย่อยอาหารทดลองแทนเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน มีวิธีการอยู่ 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นการใช้เอนไซม์เปปซิน (pepsin) ย่อยอาหารทดลอง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามด้วยการย่อยแป้งด้วยสารละลายเปบซินที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที และย่อยผนังเซลล์ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นสามารถคำนวณหาค่าการย่อยได้ และค่าพลังงานต่าง ๆ ได้ (De Boever *et al*., 1986)

2.5.2.2 การศึกษาการย่อยได้โดยวิธี Nylon bag technique

วิธีการนี้ทำโดยการใส่ตัวอย่างอาหารลงในถุงที่ทนต่อการเข้าย่อยของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยทั่วไปจะใช้ถุงที่ทำจากไนลอนขนาด 7 × 15 เซนติเมตร และมีขนาดของรูประมาณ 30–50 ไมครอน นำอาหารทดลองใส่ถุงแล้วใส่ลงไปในกระเพาะรูเมนตามระยะเวลาต่าง ๆ ที่กำหนด แล้วนำออกมาวิเคราะห์หาปริมาณโภชนะต่าง ๆ ทำการประเมินค่าการย่อยได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์ผลแบบต่าง ๆ (Ørskov and McDonald, 1979)

2.5.2.3 การศึกษาการย่อยได้โดยวิธี Gas production technique

เป็นวิธีการศึกษาการย่อยได้จากการประเมินผลผลิตที่เกิดขึ้นได้แก่ กรดไขมันระเหยได้ (VFA)
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน โดยการนำเอาตัวอย่างอาหารกับของเหลวจากกระเพาะรูเมน ใส่ลงในหลอด glass syringe ขนาด 100 มิลลิลิตร ที่แช่ในอ่างน้ำปรับอุณหภูมิที่ 39 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วอ่านปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น นำไปคำนวณหาค่าการย่อยได้ และสามารถนำค่าโปรตีนรวม ไขมัน และเถ้า ไปใช้ในการประเมินค่าพลังงานเมทาบอไลซ์ (ME) (Menke *et al.*, 1979)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2.4 **การศึกษาการย่อยได้โดยวิธี** Two Stage technique

เป็นวิธีการที่ Tilly and Terry (1963) ได้พัฒนาขึ้นโดยหมักตัวอย่างอาหารประมาณ 0.5 กรัม กับของเหลวจากกระเพาะรูเมน จำนวน 10 มิลลิลิตร และสารละลายบัฟเฟอร์ จำนวน 40 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองเก็บไว้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วย mercuric chloride แล้วทำการปั่นเหวี่ยงแยกกากตะกอนออก และย่อยต่อไปด้วยสารละลายเปปซิน (acid-pepsin) อีก 48 ชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงแยกเอาตะกอนออก จากนั้นอบแห้งและเผาเพื่อคำนวณหาค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุต่อไป

2.6 การผลิตและการผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหาร

2.6.1 การผลิตท่อเก็บตัวอย่างอาหาร (cannulae)

วัสดุที่นำมาใช้ในการทำท่อเก็บตัวอย่างอาหาร (ภาพที่ 8) คือ ซิลิโคน (silicone) เริ่มต้นโดยการนำแผ่นซิลิโคนที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร มากดให้เรียบลงบนแบบพิมพ์ท่อเก็บตัวอย่างจากกระเพาะรูเมน กดประสานเชื่อมรอยต่อระหว่างแผ่นซิลิโคนให้สนิท ตกแต่งผิวและขอบทุกด้านให้เรียบร้อย สำหรับท่อเก็บตัวอย่างจากลำไส้เล็กใช้แผ่นซิลิโคนที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร หุ้มรอบแบบพิมพ์ท่อเก็บตัวอย่างจากลำไส้เล็กให้รอบ ประสานรอยต่อระหว่างแผ่นซิลิโคนให้เชื่อมสนิท นำแบบพิมพ์ที่หุ้มด้วยซิลิโคนเรียบร้อยแล้วนำไปนึ่งในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นถอดท่อเก็บตัวอย่างออกจากพิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำการถอดท่อซิลิโคนออกจากแบบพิมพ์และทำการตกแต่งต่อไป (เทอดชัย และทัศนีย์, 2531)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2 การผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารบริเวณกระเพาะรูเมน

การผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารที่กระเพาะรูเมนในโค (ภาพที่ 9) สามารถทำได้โดยวิธีการผ่าตัดครั้งเดียว (one-stage operation) เริ่มต้นโดยการอดอาหารโคก่อนทำการผ่าตัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้กระเพาะรูเมนมีที่ว่าง ฉีดยาระงับประสาทหรือยาซึม (xylazine) เข้ากล้ามเนื้อเพื่อระงับความรู้สึก ทำความสะอาดและโกนขนบริเวณสวาปด้านซ้าย หลังจากนั้นฉีดยาชาเฉพาะที่

(xylocaine) บริเวณสวาป เปิดผิวหนังที่สวาปด้านซ้ายในแนวตั้งฉากกับกระดูกสันหลังยาวประมาณ 5 นิ้ว แยกกล้ามเนื้อชั้นต่าง ๆ ตามแนวกล้ามเนื้อ เปิดเยื่อบุช่องท้อง (peritoneum) จะพบผนังกระเพาะรูเมนอยู่ด้านในดึงผนังรูเมนออกมาและใช้ไหมละลาย (catgut No.1) เย็บติดกับเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง (subcutaneous) จากนั้นเปิดผ่าผนังกระเพาะรูเมนตามแนวยาวให้มีความกว้างพอดีกับผิวหนัง ใช้ไหม (silk No.1) เส้นคู่เย็บผนังรูเมนกับผิวหนัง สอดท่อเก็บตัวอย่างอาหารที่กระเพาะรูเมน (rumen fistula) เข้าบริเวณที่ทำการผ่าตัดเปิดไว้ หลังการผ่าตัดทำการรักษาแผลโดยการใส่ยาฆ่าเชื้อโรค ยารักษาแผล และฉีดยาปฏิชีวนะเข้ากล้ามเนื้อทุกวันนาน 3 วัน ทำการตัดไหมออกในวันที่ 14 หลังการผ่าตัด (ทัศนีย์ และเทอดชัย, 2530)

2.6.3 การผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนปลาย

การผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนปลายในโค (ภาพที่ 10) เริ่มต้นจากการอดอาหารโคก่อนการผ่าตัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ฉีดยาระงับประสาทหรือยาชืมเข้ากล้ามเนื้อ แล้วทำความสะอาดและโกนขนบริเวณสวาปด้านขวา ฉีดยาชาบริเวณที่จะเปิดผ่าช่องท้อง เปิดผิวหนังที่สวาปด้านขวาในแนวตั้งฉากกับกระดูกสันหลัง ผ่าเปิดกล้ามเนื้อและเยื่อบุช่องท้อง ใช้มือคลำดูภายในจะพบลำไส้เล็กส่วนต้น (proximal duodenum) พาดบนผนังกระเพาะรูเมน ผ่าเปิดลำไส้เล็กส่วนต้นตามแนวยาวประมาณ 1.5 นิ้ว แล้วสอดท่อซิลิโคนเข้าไปภายในลำไส้เล็ก เย็บลำไส้เล็กให้ยึดติดกับท่อซิลิโคน ต่อจากนั้นทำการผ่าเปิดบริเวณลำไส้เล็กส่วนปลาย (terminal ileum) แล้วสอดท่อซิลิโคนเข้าไปภายในลำไส้เล็ก และยึดตรึงลำไส้เข้ากับท่อด้วยวิธีการแบบเดียวกันกับที่ตรึงบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น กรีดผิวหนังให้ทะลุถึงช่องท้องบริเวณใกล้กับรอยเปิดผ่าช่องท้องในครั้งแรก 2 ตำแหน่ง สอดท่อทั้งสองให้ทะลุผ่านรอยเปิดจากช่องท้องออกสู่ภายนอกลำตัว โดยให้ท่อจากส่วนต้นของลำไส้เล็กอยู่ทางด้านหน้าของลำตัวโค ถัดมาเป็นท่อจากส่วนปลายของลำไส้เล็กให้อยู่ทางด้านหลังของลำตัว ดึงท่อซิลิโคนให้ผนังลำไส้เล็กติดแน่นกับผนังช่องท้องพอ สมควร ยึดปลายท่อซิลิโคนภายนอกลำตัวด้วยท่อซิลิโคนอีกอันเพื่อป้องกันไม่ให้ท่อซิลิโคนหลุดกลับเข้าสู่ช่องท้อง เย็บปิดช่องท้องและผิวหนังที่เปิดในครั้งแรก รักษาแผลและฉีดยาปฏิชีวนะเข้ากล้ามเนื้อทุกวัน เป็นเวลา 3 วัน ทำการตัดไหมออกในวันที่ 14 หลังจากการผ่าตัด (ทัศนีย์ และเทอดชัย, 2532)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 8 ท่อเก็บตัวอย่างอาหารบริเวณกระเพาะรูเมนและลำไส้

ภาพที่ 9 โคที่ได้รับการผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารบริเวณกระเพาะรูเมน

ภาพที่ 10 โคที่ได้รับการผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนปลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved