บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทั่วไปของซาโปนิน (saponins)

ซาโปนิน (saponins) เป็นสารประกอบประเภทไกลโคไซด์ (glycoside) ที่ประกอบไปด้วยส่วนของน้ำตาลที่เชื่อมต่อกับไตรเทอร์พีน (triterpene) หรือสเตียรอยด์อะกลัยโคน (steroid aglycone) การจัดกลุ่มของซาโปนินอาศัยแอคติวิตีของแรงตึงผิว (surface activity) ซาโปนินส่วนใหญ่มีคุณสมบัติคล้ายผงซักฟอก คือ ทำให้เกิดฟองในน้ำ แสดงปฏิกิริยาให้เกิดการแตกตัวของเม็ดเลือด มีรสขม และเป็นพิษต่อปลา ลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะทั่วไปของซาโปนินที่พบตามธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตาม มีข้อยกเว้นในการจัดจำแนกซาโปนินบ้าง ซึ่งในปัจจุบันมีการให้คำนิยามของซาโปนิน โดยอาศัยโครงสร้างของโมเลกุล โดยสามารถแบ่งได้เป็น สารประกอบไตรเทอร์พีน หรือสเตียรอยด์ไกลโคไซด์

ในปี ค.ศ. 1927 มีการศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ และปฏิกิริยาทางเภสัชวิทยาของซาโปนินอย่างละเอียด ในปี ค.ศ. 1987 ได้มีการกล่าวถึงโครงสร้างของซาโปนินว่ามีมากกว่า 360 ชนิด และโครงสร้างของไตรเทอร์พีนไกลโคไซด์ อีกราว 750 ชนิด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาเทคนิควิเคราะห์แยกสารและการตรวจสอบโครงสร้างที่มีการพัฒนาขึ้น แหล่งที่พบซาโปนิน ได้แก่ ในพืชชั้นสูงประมาณกว่า 70 วงศ์ (สรศักดิ์, 2531) สเตอรอยด์ซาโปนินพบว่าค่อนข้างกระจายและจำกัดในพืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ วงศ์ Scrophulariaceae โดยเฉพาะพืชสกุล Digitalis วงศ์ Solanaceae คือ พืชสกุล Solanum, Lycopersicon และวงศ์ Papilionaceae คือ พืชสกุล Trigonella สำหรับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวพบซาโปนินไกลโคไซด์อยู่ในวงศ์ Liliaceae ได้แก่ พืชสกุล Yucca คือ *Yucca elephantipes* Regal ., *Yucca peninsularis* Mckelvey. และพืชสกุล Smilax วงศ์ Dioscoreaceae ได้แก่ พืช สกุล Dioscorea คือ *Dioscorea composite* Hemsl ., D. tokoro Makino และวงศ์ Amaryllidaceae ได้แก่ พืชสกุล Agave คือ *Agave atrovirens* Karw ., A. aurea Brdue. สำหรับไตรเทอร์พีนนอยด์ซาโปนินพบได้น้อยมากในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว แต่จะพบในพืชใบเลี้ยงคู่ซึ่ง ได้แก่ พืชในวงศ์ต่อไปนี้ คือ วงศ์ Caryophyllacea, Loranthaceae และ Sapotaceae พบว่ามีไตรเทอร์พีนนอยด์มากกว่าวงศ์อื่นๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้มีการพบซาโปนินในสัตว์ทะเลชั้นต่ำ ซึ่งได้แก่ phylum Echinodermata โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน class Holothuroidea เช่น แตงกวาทะเล และ class Asteroidea เช่น ปลาดาว

2.1.1 บทบาทและหน้าที่ของซาโปนินในพืชบางชนิด

ปัจจุบันนี้บทบาทและหน้าที่ของสารประกอบเคมีจำพวกไตรเทอร์พีนนอยด์ และสเตียรอยด์ซาโปนิน ยังเป็นสิ่งที่ไม่ค่อยทราบมากนัก ทั้งนี้เพราะบทบาทและหน้าที่แตกต่างกันไปตามโครงสร้างโมเลกุล มีเพียงข้อมูลบางอย่างสำหรับบทบาทของไตรเทอร์พีนนอยด์ และสเตียรอยด์ซาโปนิน เท่าที่ทราบพบว่าเป็นพิษต่อแมลง แบคทีเรียและเชื้อรา จึงเข้าใจว่าความเป็นพิษของซาโปนินไกลโคไซด์ ทำหน้าที่ป้องกันต้นพืชจากการรุกรานของสิ่งดังกล่าว นอกจากนี้ซาโปนินไกลโคไซด์บางชนิดจะช่วยเร่งการงอกของเมล็ด และบางชนิดยับยั้งการเจริญเติบโตของรากได้ (Hostettmann ,1995)

ตาราง 1 แสดงตัวอย่างซาโปนินที่พบในพืชวงศ์ต่างๆ

ซาโปนิน	ชื่อพืช	วงศ์
Diosgenin	*Dioscorea spp.*	Dioscoreaceae
	Trigonella foenum-graecum	Papilionaceae
Hecogenin	*Agaves pp.*	Amaryllidaceae
Yamogenin	*Trigonella foenum-graecum*	Papilionaceae
Sarsaponin	*Yucca spp.*	Liliaceae
Smilagenin	*Smilax spp.*	Liliaceae
Glycyrrhizin	*Glycyrrhiza glaba*	Leguminoae
Glycyrrhizin	*Gypsophila pacifica*	Caryophyllaceae

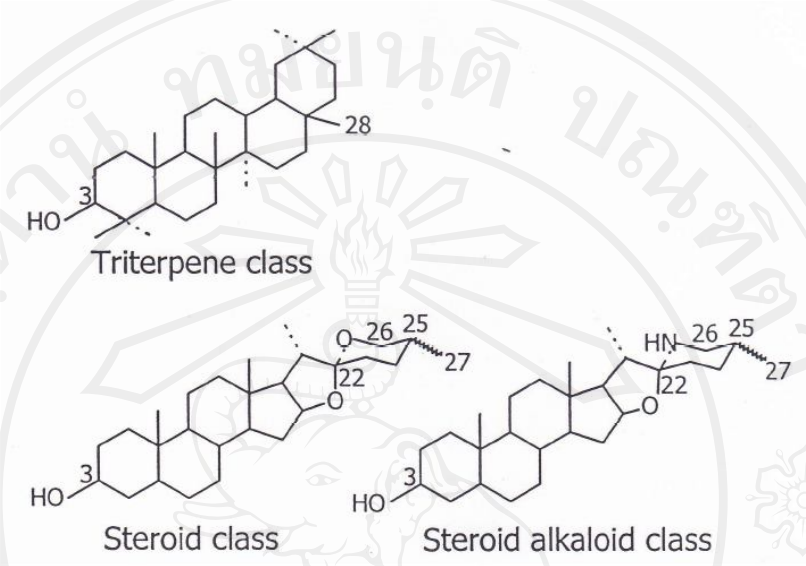
ที่มา : Hostettmann (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 การแบ่งประเภทของซาโปนิน

การแบ่งประเภทของซาโปนินนั้น แบ่งได้ตามลักษณะโครงสร้างในส่วนที่เรียกว่าอะกลัยโคน หรือส่วนประกอบที่ไม่มีหมู่แซคคาไรด์ของซาโปนิน ซึ่งมีชื่อเรียกว่า จีนิน (genin) หรือซาโปจีนิน (sapogenin) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบใหญ่ ตามชนิดของจีนิน ได้แก่

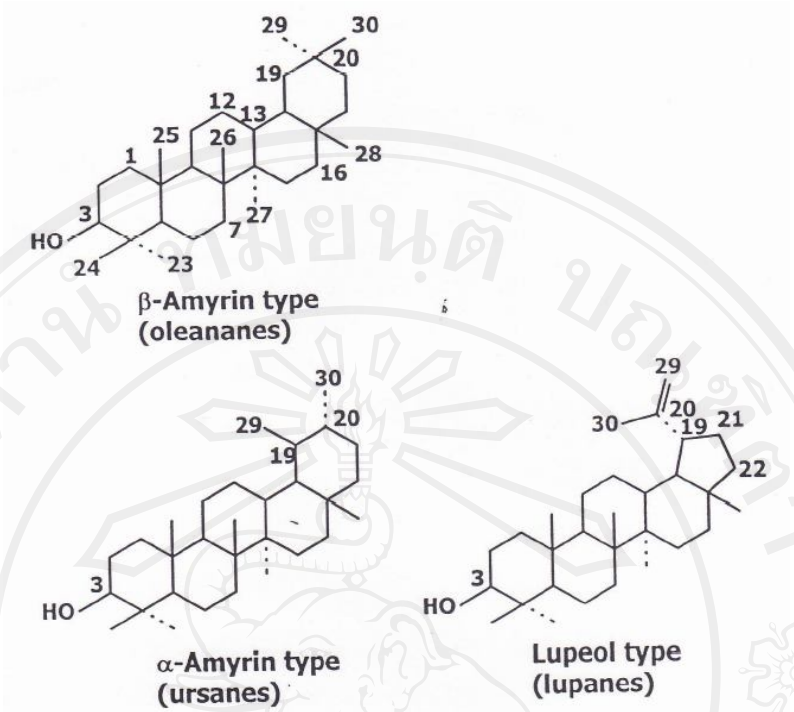
ไตรเทอร์พีนไกลโคไซด์ (triterpene glycosides), สเตียรอยด์ไกลโคไซด์ (steroid glycosides) และสเตียรอยด์อัลคาลอยด์ไกลโคไซด์ (steroid alkaloid glycosides)



ภาพ 1 โครงสร้างหลักของจีนินที่พบในซาโปนินทั้ง 3 ชนิด
ที่มา : Hostettmann (1995)

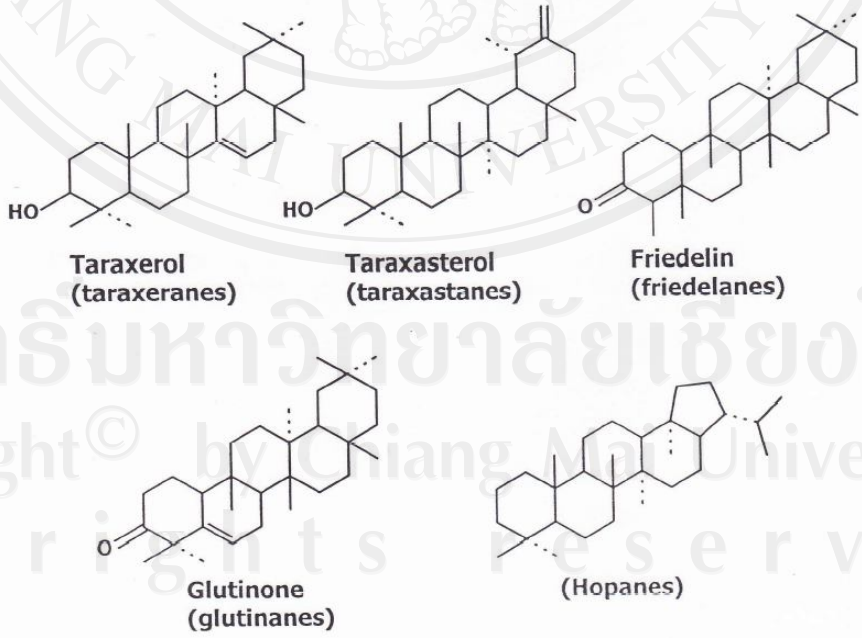
ไตรเทอร์พีนไกลโคไซด์ ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างเป็นแบบเพนตะไซคลิก ไตรเทอร์พีนแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะโครงสร้างเป็น เบต้าอะไมริน, อัลฟาอะไมรินและลูพิออล แต่ส่วนใหญ่จะเป็นเบต้าอะไมริน โดยมีมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โครงสร้างหลักที่สำคัญ คือ สารไม่อิ่มตัวที่ C-12 (13), หมู่เมธิลที่ตำแหน่ง C-28, C-23 หรือ C-30 การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของโครงสร้างในส่วนของเพนตะไซคลิก จะทำให้เกิดไตรเทอร์พีนแบบอื่นๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2 โครงสร้างไตรเทอร์พีนซาโปจีนิน ชนิดหลักๆ

ที่มา : Hostettmann (1995)

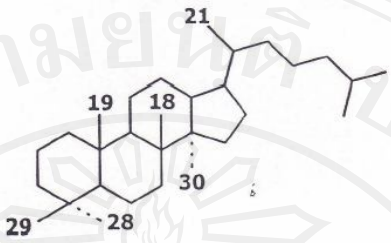


ภาพ 3 โครงสร้างไตรเทอร์พีนซาโปจีนิน ชนิดหลักๆ

ที่มา : Hostettmann (1995

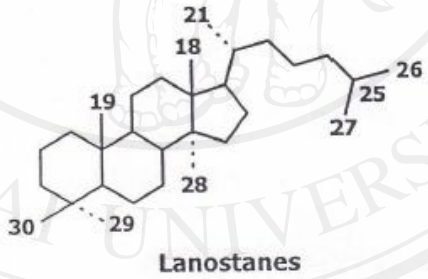
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถึงแม้ว่าไตรเทอร์พีนส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างเป็นเพนตะไซคลิก แต่ก็มีไตรเทอร์พีนบางชนิดที่มีลักษณะแตกต่างออกไป เป็นแบบเตตระไซคลิก เช่น แดมมาแรน (dammarance)

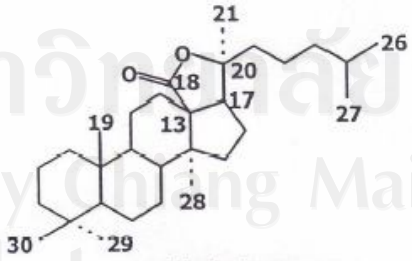


ภาพ 4 โครงสร้างของแดมมาแรน
ที่มา : Hostettmann (1995)

ปัจจุบันนี้สามารถสกัดไตรเทอร์พีน ชนิดลาโนสเตน (lanostanes) และฮาโลสเตน (halostanes) ได้จากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในทะเล



Lanostanes

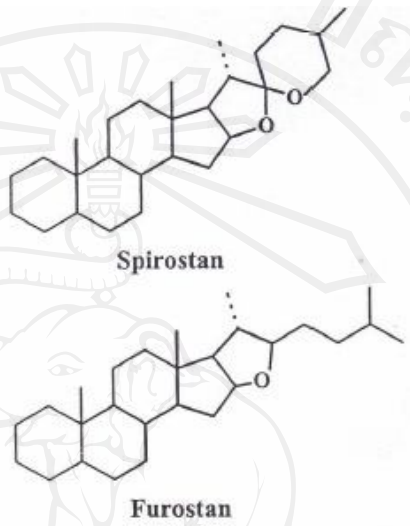


Holostanes

ภาพ 5 โครงสร้างไตรเทอร์พีนอยด์ซาโปนินจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในทะเล
ที่มา : Hostettmann (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

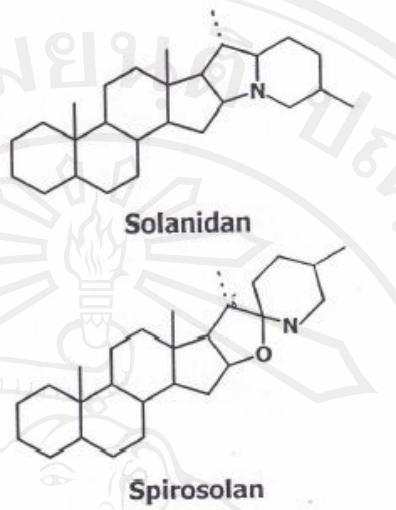
สเตียรอยด์ไกลโคไซด์ถูกพบมากกว่า 100 ชนิด ทั้งหมดถูกสังเคราะห์มาจากฟูโรสแตน หรือสไปโรสแตน โครงสร้างที่มีหมู่เมธิลที่C-18 และ C-19 จะเป็น เบต้าโอเรียลเทต (β – orientated) แต่ถ้ามีหมู่เมธิลตรงตำแหน่ง C-21 จะจัดเรียงตัวแบบอัลฟา (α -configuration) บางครั้งจะพบพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 5, 6 ซาโปนินเกือบทั้งหมดจะเป็นไฮดรอกซีเลตที่ C-3



ภาพ 6 โครงสร้างสเตียรอยด์ไกลโคไซด์ ทั้ง 2 ชนิด
ที่มา : Hostettmann (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สเตียรอยด์อัลคาลอยด์ไกลโคไซด์ มีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่โซลานิแดน (solanidan) และสไปโรโซแลน (spirosolan)



ภาพ 7 โครงสร้างของสเตียรอยด์อัลคาลอยด์ไกลโคไซด์ทั้ง 2 ชนิด
ที่มา : Hostettmann (1995)

2.1.3 สมบัติบางประการของซาโปนิน

2.1.3.1 สมบัติทางด้านโครงสร้างของซาโปนิน

ซาโปนินไกล์โคไซด์มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง บางครั้งการแยกเพื่อทำให้บริสุทธิ์อาจจะทำได้ยาก โครงสร้างโมเลกุลมี 2 ประเภท คือ โครงสร้างชนิดสเตียรอยด์และโครงสร้างชนิดไตรเทอร์พีนนอยด์ (นิจศิริ และพยอม, 2534) ส่วนของกลัยโคนที่เชื่อมเกาะอยู่ในโมเลกุลของซาโปนินไกลโคไซด์จะเชื่อมกับกลัยโคนตรงตำแหน่งคาร์บอนที่ 3 เป็นส่วนใหญ่ อาจมีบ้างที่เชื่อมเกาะกับตำแหน่งคาร์บอนอื่น และอาจเป็นน้ำตาลประเภทเฮกโซส (hexoses), เพนโตส (pentose), เมธิลเพนโตส (methylpentose) หรือกลัยโคน อาจเป็นกรดยูโรนิก (uronic acid) และอนุพันธ์ ส่วนจำนวนนั้นมีตั้งแต่ 4-6 หน่วย

2.1.3.2 สมบัติของซาโปนินในการทำให้เม็ดเลือดแดงแตกตัว

ซาโปนินทำให้เม็ดเลือดแดงแตกตัว เนื่องจากซาโปนินไปเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของผนังเซลล์ของเม็ดเลือดแดง โดยก่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างซาโปนินกับองค์ประกอบของผนัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เม็ดเลือดแดง ซึ่งอาจเป็นพวกสเตียรอยด์ฮีโมโกลบินทำให้ฮีโมโกลบินไหลออกสู่ภายนอก ทำให้สารละลายภายในเม็ดเลือดแดงที่ขุ่นคล้ำกลายเป็นสารละลายใสสีแดง สุดท้ายเหลือแต่ชิ้นส่วนเล็กๆ ของผนังเม็ดเลือดแดง (วีณา, 2534) และเมื่อซาโปนินไกลโคไซด์เกิดไฮโดรไลซิสโดยกรดได้ซาโปจีนิน ซึ่งซาโปจีนินนี้ไม่มีคุณสมบัติที่ทำให้เม็ดเลือดแดงแตก ดังนั้นสัตว์เลือดอุ่นจึงไม่มีอันตรายจากการรับประทานซาโปนินไกลโคไซด์ทางปาก เพราะว่าซาโปนินไกลโคไซด์ถูกย่อยด้วยกรดในกระเพาะอาหาร ยกเว้นถ้าได้รับโดยการฉีดอาจเกิดความเป็นพิษได้

2.1.3.3 สมบัติความเป็นพิษของซาโปนินต่อสิ่งมีชีวิตจำพวกปลา

ซาโปนินเป็นพิษต่อสัตว์ที่หายใจด้วยเหงือกในขนาดความเข้มข้น 1:200000 ด้วยเหตุนี้ บางแห่งก็ใช้ซาโปนินในการจับปลา พิษต่อปลานั้นเป็นเพราะซาโปนินทำให้เม็ดเลือดแดงแตก ซาโปนินทำให้ epithelium ของเหงือกมี permeability เพิ่มขึ้น electrolyte ในพลาสมาที่สำคัญต่อชีวิตปลาจึงไหลออกสู่ภายนอก (Hostettmann, 1995)

2.1.3.4 สมบัติของซาโปนินเมื่อทำการทดสอบด้วยวิธี Liebermann-Burchard

เมื่อทำปฏิกิริยากับการทดสอบ Liebermann-Burchard สเตียรอยด์ซาโปนินได้ผลบวกเป็นสีน้ำเงินหรือเขียวอมน้ำเงิน ส่วนไตรเทอร์พีนนอยด์ซาโปนินได้ผลบวกเป็นสีชมพูส้มหรือม่วงแดง แต่อย่างไรก็ตามสีที่ปรากฏอาจแตกต่างกันไปได้ตามสารประกอบแต่ละชนิด

2.1.3.5 คุณสมบัติของซาโปนินในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

ซาโปนินส่วนมาก นอกจากมีฤทธิ์เป็นสาร antibiotic อ่อนๆแล้ว ยังมีฤทธิ์ทำลายเชื้อรา (antimycotic) ที่ดีด้วย ซาโปนินที่ทำลายเชื้อราได้ดีจะไม่ค่อยทำลายเชื้อแบคทีเรีย ฤทธิ์ทำลายเชื้อราอาจเกิดจากเชื้อรามี cytoplasma membrane ที่ประกอบด้วยสเตียรอยด์ ส่วนในเชื้อจุลินทรีย์ไม่มี สังเกตได้ว่า เชื้อราจะสร้าง hypha ที่ผิดปกติ และ hypha จะแตกออก (วีณา, 2534)

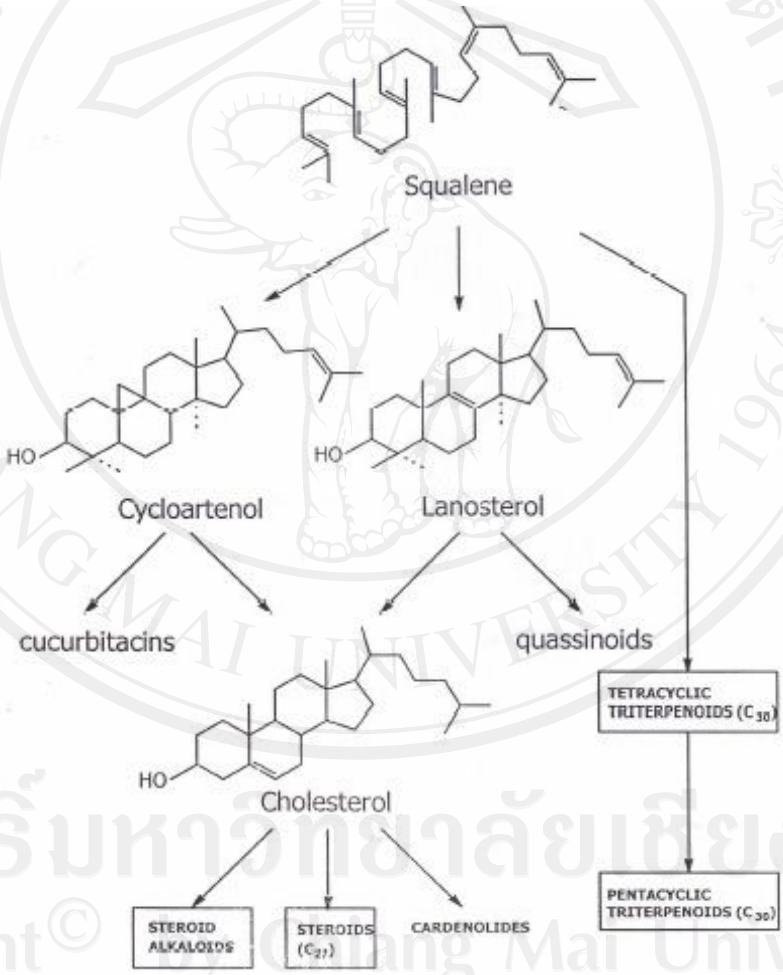
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4 กระบวนการสังเคราะห์ซาโปนิน

การสังเคราะห์โดยสังเขปของไตรเทอร์พีนและสเตียรอยด์ ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากการรวมกันของไอโซพรีน (isoprene) 6 หน่วยและมีปฏิกิริยาการสังเคราะห์เริ่มต้นมาจากอนุพันธ์ของสะควาลีน (squalene) มีข้อสันนิษฐานว่าเกิดจากการสังเคราะห์ สะควาลีน-2,3-อีพอกไซด์ (squalene-2,3-epoxide) หรือ ออกซิโดสะควาลีน (oxidosqualene) ตามมาด้วยการขดตัวกันเป็นวง

แหวน ซึ่งเกิดจากเอนไซม์ไซเครส (cyclases) ไตรเทอร์พีนที่แท้จริงมีคาร์บอน 30 อะตอม ขณะที่สเตียรอยด์มีอะตอมของคาร์บอนเพียง 27 อะตอม

พืชชนิดต่างๆ มีความสามารถในการรวมไนโตรเจนอะตอมเข้ากับสายโซ่ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสเตียรอยด์ ทำให้เกิดนิวเคลียสของสเตียรอยด์อัลคาลอยด์ ซึ่งสามารถจะแทนที่ได้โดยตรงในหมู่ไฮดรอกซิล ด้วยกรดอะมิโน แต่ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็น สไปโรโซแลน (spirosplans) และโซลานิแดน (solamidans) เป็นเพียงแค่การสันนิษฐานว่าถูกสังเคราะห์มาจากสารตัวเดียวกัน (Hostettmann ,1995)



ภาพ 8 ชีวสังเคราะห์ของไตรเทอร์พีนและสเตียรอยด์

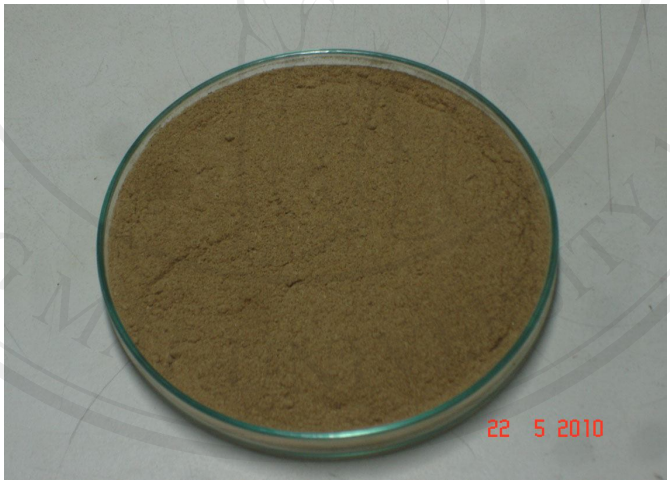
ที่มา : Hostettmann (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 ลักษณะทั่วไปของซาร์ซาโปนิน (sarsaponins)

ซาร์ซาโปนิน (sarsaponins) เป็นซาโปนินที่มีบทบาทสำคัญชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในทางปศุสัตว์อย่างกว้างขวาง โดยซาร์ซาโปนินเป็นซาโปนินประเภทสเตียรอยด์ไกล-โคไซด์ที่สกัดจากลำต้นของพืชสกุล Yucca ที่มีชื่อว่า *Yucca schidigera* โดยเป็นพืชที่ขึ้นในบริเวณแห้งแล้งของประเทศสหรัฐอเมริกาและเม็กซิโก ซาร์ซาโปนินมีชื่อทางการค้าหลายชื่อ เช่น Sevarin®, Micro acid®, Deodorase®และ DK sarsaponin 30®

ซาร์ซาโปนินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ DK sarsaponin 30® มีลักษณะเป็นผงสีเทาแกมแดง ทำการสกัดจากลำต้นของ *Yucca schidigera* โดยไม่ใช้สารเคมี มีความสามารถจับกับแอมโมเนีย (ammonia binding) B_{50} value < 6.0 และยับยั้งเอนไซม์ยูรีเอส (urease inhibition) I_{50} < 6.0 และมีซาร์ซาโปนินเป็นองค์ประกอบมากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Desert King - International, no date)



ภาพ 9 ซาร์ซาโปนินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2 องค์ประกอบทางเคมีของ DK sarsaponin 30®

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
ความชื้น	60.00
โปรตีนรวม	2.43
ไขมันรวม	0.81
เยื่อใยรวม	24.71
เถ้า	4.94
คาร์โบไฮเดรต	61.11

ที่มา : Bonaventure chemicals (2002)

2.3 ลักษณะทั่วไปของพืชสกุล Yucca

พืชสกุล (genus) Yucca เป็นพืชที่พบได้ทั่วไปในพื้นที่ที่มีภูมิอากาศแบบแห้งแล้ง โดยพืชในสกุลนี้มีทั้งหมดประมาณ 50 ชนิดและพบทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่รัฐเท็กซัส (Texas) ไปจนถึงตอนใต้ของเทือกเขาร็อคกี (Rocky) ตลอดจนทิศตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิค (Pacific) ไปจนถึงทิศเหนือของประเทศแคนาดาและตอนใต้ของประเทศเม็กซิโกไปจนถึงทวีปอเมริกากลาง เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเช่นเดียวกับพืชตระกูลปาล์ม Linnaeus ได้พบพืชสกุลนี้เป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1757 และได้กล่าวถึงลักษณะของพืชสกุลนี้ว่ามีต้นกำเนิดจากที่ราบลุ่มชายฝั่งมหาสมุทรแอตแลนติค (Atlantic) ของทวีปอเมริกาเหนือ ซึ่งคำว่า Yucca มีรากศัพท์มาจากคำว่า Yucca ซึ่งเป็นภาษาอินเดียแปลว่า มันสำปะหลัง โดยปัจจุบันนักพฤกษศาสตร์ แบ่งพืชสกุล Yucca ออกเป็น 4 กลุ่มตามขนาดของลำต้นและรูปร่างของผล โดยสองกลุ่มแรกมีลำต้นขนาดใหญ่ซึ่งมีจำนวนประมาณครึ่งหนึ่งของพืชสกุลนี้ทั้งหมด ที่เหลืออีกสองกลุ่มมีลำต้นขนาดเล็กลงมา (Irish and Irish, 1949)

2.4 ลักษณะทั่วไปของ *Yucca schidigera*

Yucca schidigera พบได้ทั่วไปในทะเลทรายของรัฐแคลิฟอร์เนียของประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศเม็กซิโก มีชื่อเรียกอื่นอีก เช่น *Yucca californica* และ *Yucca mohavensis* โดยมีชื่อเรียกทั่วไปว่า Mohave yucca ลักษณะลำต้นเป็นต้นเดี่ยวหรือแตกพุ่มอยู่เหนือดิน มีความสูงระหว่าง 1-5 เมตร บางครั้งพบลำต้นส่วนบนแตกกิ่งเล็กๆออกมา 2-3 กิ่ง ใบมีลักษณะแข็งสีเขียวอมเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หรือเขียวอมน้ำเงิน มีความยาวระหว่าง 0.3-3.0 เมตร แต่ปกติมีความยาวประมาณ 0.6 เมตร ความกว้างของใบวัดจากขอบใบด้านข้างถึงเส้นกลางใบมีความยาวประมาณ 1.3-3.8 เซนติเมตร ปลายใบมีลักษณะคมคล้ายหนาม ขอบใบม้วนเป็นเส้นสีขาวจำนวนมาก ดอกมีลักษณะเป็นช่ออัดแน่นอยู่เหนือลำต้นและอยู่ระหว่างใบ ดอกที่พบส่วนใหญ่มีสีขาวและสีครีม อาจมีสีม่วงหรือสีม่วงอ่อนปนได้บ้าง ดอกมีความยาวระหว่าง 3.2-5.0 เซนติเมตรและมีความกว้างระหว่าง 1.3-2.0 เซนติเมตร ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด เป็นพืชที่ต้องการแสงแดดตลอดทั้งปี ชอบดินที่มีการระบายน้ำดี ไม่ชอบน้ำขัง ค่อนข้างทนแล้ง ต้องการน้ำบ้างเล็กน้อยในช่วงกลางของฤดูร้อนเมื่อปลูกในพืชที่แห้งแล้ง เป็นพืชที่ทนอากาศหนาวได้ถึง -18 องศาเซลเซียส คนพื้นเมืองใช้เส้นใยจากลำต้นทำเชือกและผ้าห่ม ผลขนาดเล็กสามารถรับประทานสดหรือนำไปอบ รากใช้ทำสบู่ สำหรับต้นสามารถปลูกเป็นไม้ประดับร่วมกับพืชอื่นๆ ในสวนเพื่อเพิ่มความสวยงามได้เป็นอย่างดี (Irish and Irish, 1949)

ภาพ 10 ต้น *Yucca schidigera*

ที่มา : Desert King International (2011)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ดอก

ผลสด

ใบ

ภาพ 11 ลักษณะส่วนต่างๆของ *Yucca schidigera*
ที่มา : Dittmann (2010)

2.5 การใช้ซาร์ซาโปนินในอาหารสัตว์

2.5.1 การใช้ซาร์ซาโปนินในอาหารสุกร

Colina *et al*. (2001) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินลงในอาหารข้นต่อระดับแอมโมเนียและประสิทธิภาพของลูกสุกรหลังหย่านม โดยใช้ลูกสุกรหย่านมที่อายุ 13-15 วัน น้ำหนักตัว 3-6 กิโลกรัม ลูกสุกรได้รับอาหารข้นที่มีโปรตีน 24 เปอร์เซ็นต์ แบ่งสุกรออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เสริมซาร์ซาโปนินลงในอาหารข้น 0 ppm และกลุ่มที่ 2 เสริมซาร์ซาโปนินลงในอาหารข้น 125 ppm พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) ของสุกร 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.41$) และพบว่าเมื่อเลี้ยงได้ 4 สัปดาห์ ระดับแอมโมเนียในอากาศของสุกรกลุ่มที่เสริมซาร์โปนิน 125

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ppm มีค่ามากกว่ากลุ่มที่เสริมซาร์ซาโปนิน 0 ppm อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.001) (3.6 และ 2.8 ppm ตามลำดับ)

Yen and Pond (1993) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินต่ออัตราการเจริญเติบโตและน้ำหนักอวัยวะภายในของสุกรรุ่น โดยใช้ลูกสุกรรุ่น จำนวน 64 ตัว แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 32 ตัว คือ กลุ่มที่ 1 เสริมซาร์ซาโปนินลงในอาหารข้น 0 กรัม และกลุ่มที่ 2 เสริมซาร์ซาโปนินลงในอาหารข้น 125 ppm เมื่อเลี้ยงได้ 56 วันทำการฆ่าลูกสุกรเพื่อหาน้ำหนักซากและน้ำหนักอวัยวะภายใน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) น้ำหนักซาก และน้ำหนักอวัยวะภายในของสุกรทั้ง 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ปริมาณอาหารที่กินต่อวันของกลุ่มที่เสริมซาร์ซาโปนินมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมซาร์ซาโปนินอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) (0.94 และ 1.03 กิโลกรัม ตามลำดับ)

2.5.2 การใช้ซาร์ซาโปนินในอาหารไก่

Yeo and Kim (1997) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินต่ออัตราการเจริญเติบโตและการทำงานของเอนไซม์ยูรีเอสในลำไส้ของลูกไก่เนื้อ โดยใช้ลูกไก่เนื้อจำนวน 40 ตัว แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ยกลุ่มละ 40 กรัม โดย กลุ่มที่ 1 เสริมซาร์ซาโปนินลงในอาหาร 0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลุ่มที่ 2 เสริมซาร์ซาโปนินลงในอาหาร 0.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเลี้ยงไป 6 สัปดาห์ พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน การทำงานของเอนไซม์ยูรีเอสและปริมาณแอมโมเนียที่ผลิตในลำไส้ของลูกไก่ทั้ง 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

2.5.3 การใช้ซาร์ซาโปนินในอาหารกระต่าย

Hussain *et al*. (1996) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินต่ออัตราการเจริญเติบโต ปริมาณยูเรียและแอมโมเนียในลำไส้ของกระต่าย โดยใช้กระต่ายพันธุ์นิวซีแลนด์ไวท์ หย่านมแล้ว อายุ 5-6 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ได้รับอาหารข้นโปรตีน 23 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 2 ได้รับอาหารข้นโปรตีน 23 เปอร์เซ็นต์เสริมด้วยซาร์ซาโปนิน 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร กลุ่มที่ 3 ได้รับอาหารข้นโปรตีน 19 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ 4 ได้รับอาหารข้นโปรตีน 19 เปอร์เซ็นต์เสริมด้วยซาร์ซาโปนิน 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของกระต่ายกลุ่มที่ 1 และ 3 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (31.2, 32.1, 40.9 และ 35.1 กรัม ตามลำดับ) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของกระต่ายกลุ่มที่ 1 และ 3 มีค่ามากกว่ากลุ่มที่ 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (3.47, 3.48, 2.63 และ 3.23 ตามลำดับ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณยูเรีย แอมโมเนีย และค่าความเป็นกรด-ด่างในลำไส้ของกระต่ายทุกกลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ที่ลำไส้ของกระต่าย พบว่าปริมาณกรดอะซิติกของกระต่ายกลุ่มที่ 1 มีค่ามากกว่ากลุ่มที่ 2, 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (80.17, 64.73, 60.17 และ 61.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ปริมาณกรดโพรพิโอนิกของกระต่ายกลุ่มที่ 1 และ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มที่ 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(P<0.05) (4.44, 5.22, 3.26 และ 3.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนปริมาณกรดบิวทีริกและกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดของกระต่ายทุกกลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>.0.05)

2.5.4 การใช้ซาร์ซาโปนินในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Benchaar *et al.* (2008) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินต่อกระบวนการหมัก ปริมาณโปรโตซัวในกระเพาะหมัก และปริมาณน้ำนมในโคนม โดยใช้โคนมเจาะที่ถูกเจาะกระเพาะหมักจำนวน 2 ตัว แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เสริมซาร์ซาโปนิน 0 กรัมต่อวัน และกลุ่มที่ 2 เสริมซาร์ซาโปนิน 60 กรัมต่อวัน พบว่าปริมาณวัตถุแห้ง (DM) โปรตีนรวม (CP) เยื่อใยที่ละลายได้ในด่าง (NDF) เยื่อใยที่ละลายได้ในกรด (ADF) ของอาหารในกระเพาะหมัก รวมไปถึงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของโคทั้ง 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

Wu *et al.* (1994) ได้ศึกษาผลการเสริมซาร์ซาโปนินต่อกระบวนการหมักของโคนม ในการทดลองที่ 1 ใช้โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน จำนวน 4 ตัว ทำการทดลองแบบ 2 × 2 factorial แบ่งโคออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เสริมยูเรีย 0 เปอร์เซ็นต์และซาร์ซาโปนิน 0 กรัม กลุ่มที่ 2 เสริมยูเรีย 0 เปอร์เซ็นต์และ ซาร์ซาโปนิน 4 กรัม กลุ่มที่ 3 เสริมยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์และซาร์ซาโปนิน 0 กรัม และกลุ่มที่ 4 เสริมยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์และซาร์ซาโปนิน 4 กรัม พบว่าปริมาณวัตถุแห้งที่กิน (DMI) สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง(DMD) ปริมาณเยื่อใยที่ละลายได้ในกรด (ADF) ปริมาณโปรตีนที่เข้าสู่บริเวณลำไส้เล็ก (ส่วนที่เป็น microbial protein และไม่ใช่ microbial protein) ของโคทุกกลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ในการทดลองที่ 2 ใช้โคนมจำนวน 5 ตัว ทำการทดลองแบบ 5 × 5 latin square design แบ่งโคเป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เสริมซาร์ซาโปนิน 0, 2, 4, 6 และ 8 กรัมต่อวัน ตามลำดับ โดยโคทุกตัวได้รับอาหารข้นที่เสริมยูเรีย 1.2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดในกระเพาะหมักของโคทุกกลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.10)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Lovett *et al.* (2005) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินต่อปริมาณและส่วนประกอบของน้ำนม ในการทดลองที่ 1 ใช้โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยนที่ให้นมครั้งแรก และมีระยะให้นมไปแล้ว 69 วัน ทำการทดลองแบบ randomized block design แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1, 2 และ 3 เสริมซาร์ซาโปนินลงในอาหารข้นตัวละ 0, 25 และ 50 กรัมต่อวัน ตามลำดับ พบว่าปริมาณวัตถุแห้งที่กิน (DMI) ของโคกลุ่มที่ 1 มีค่ามากกว่าโคกลุ่มที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (17.4 และ 16.2 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) ส่วนปริมาณไขมัน โปรตีนในน้ำนม และปริมาณน้ำนมของโคทุกกลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ในการทดลองที่ 2 ใช้โคนมเจาะกระเพาะ 3 ตัว ทำการทดลองแบบ latin square design แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1, 2 และ 3 เสริมซาร์ซาโปนินลงในอาหารข้นตัวละ 0, 15 และ 28 กรัมต่อวัน ตามลำดับ พบว่าการเสริมซาร์ซาโปนินไม่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหารในส่วนต่างๆของร่างกาย แต่พบว่าปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดในกระเพาะหมักของโคกลุ่มที่ 2 และ 3 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้พบว่าปริมาณโปรโตซัวจะลดลงเมื่อเพิ่มการเสริมซาร์ซาโปนิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะหมัก พบว่าโคกลุ่มที่ 1 มีค่าต่ำกว่ากลุ่มโคที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (6.47 และ 6.57 ตามลำดับ)

Goodall and Matsushima (1978) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินในอาหารโค โดยใช้โคเพศผู้ตอนพันธุ์เฮียฟอร์ด อายุ 1 ปี จำนวน 40 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ตัว โดยโคกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ทำการเสริมซาร์ซาโปนินตัวละ 0, 50, 100 และ 200 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ช่วง 1-11 สัปดาห์แรก โคได้รับอาหารข้น 30 เปอร์เซ็นต์และข้าวโพดหมัก 70 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นสัปดาห์ที่ 12 จนสิ้นสุดการทดลอง โคได้รับอาหารข้น 20 เปอร์เซ็นต์และข้าวโพดหมัก 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) ของโคกลุ่มที่เสริมซาร์ซาโปนิน 100 กรัมต่อวัน มีค่ามากกว่าโคกลุ่มที่เสริมซาร์ซาโปนิน 0, 50 และ 200 กรัมต่อวัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คะแนนไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (marbling score) ของกลุ่มที่เสริม ซาร์ซาโปนินทั้ง 3 กลุ่มมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมซาร์ซาโปนิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนเปอร์เซ็นต์ซากและความหนาของไขมันสันหลังของทุกกลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

Wilson *et al.* (1998) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินและ soluble protein ต่อปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสม่าและน้ำนม และประสิทธิภาพการผลิตของโคนม โดยใช้แม่โคพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยนที่เคยให้ลูกมาแล้วหลายตัว (mutiparous) จำนวน 12 ตัว วางแผนการทดลองแบบ latin square design แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 โคได้รับอาหารที่มี soluble protein ต่ำ กลุ่มที่ 2 โคได้รับอาหารที่มี soluble protein เสริมด้วยซาร์ซาโปนินตัวละ 9 กรัมต่อวัน กลุ่มที่ 3 โคได้รับอาหารที่มี soluble protein สูง และกลุ่มที่ 4 โคได้รับอาหารที่มี soluble protein สูงเสริม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้วยซาร์ซาโปนินตัวละ 9 กรัมต่อวัน พบว่าปริมาณวัตถุแห้งที่กิน ปริมาณน้ำนม เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมของโคทุกกลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) นอกจากนี้พบว่าซาร์ซาโปนินไม่มีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบในน้ำนม ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก รวมถึงปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำนมและพลาสมา แต่พบว่าการเสริมซาร์ซา-โปนินในโคที่ให้นม 30-35 กิโลกรัมต่อวันสามารถเพิ่ม ruminally undegradable protein ซึ่งสามารถเพิ่มโปรตีนไหลผ่าน ทำให้โปรตีนถูกย่อยสลายที่ลำไส้เล็กและเป็นประโยชน์กับตัวโคมากขึ้น

Goodall and Matsushima (1878) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินและรูเมนซิน(rumensin) ต่อประสิทธิภาพการผลิตในโค โดยใช้โคเพศผู้ตอนอายุประมาณ 1 ปีจำนวน 180 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 324 กิโลกรัม แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 45 ตัว คือ กลุ่มที่ 1 เสริมซาร์ซาโปนินและรูเมนซิน 0 กรัม กลุ่มที่ 2 เสริมซาร์ซาโปนิน 40 ppm กลุ่มที่ 3 เสริมรูเมนซิน 30 กรัมต่ออาหารข้น 1 ตัน กลุ่มที่ 4 เสริมซาร์ซาโปนิน 440 ppm ร่วมกันรูเมนซิน 30 กรัมต่ออาหารข้น 1 ตัน เลี้ยงนาน 105 วันแล้วทำการฆ่าเพื่อหาคุณภาพซาก พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน น้ำหนักตัวสุดท้าย น้ำหนักซาก คะแนนไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (marbling score) ความหนาไขมันสันหลัง และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันของโคทุกกลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

Busquet *et al*. (2006) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินต่อกระบวนการหมักของแบคทีเรียในหลอดทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 นำอาหารหยาบและอาหารข้นในสัดส่วน 50:50 ใส่ลงในหลอดทดลอง แต่ไม่มีการเติมสารเสริมอาหารใดๆ ลงไป (กลุ่มควบคุม) และกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 เสริมซาร์ซาโปนินที่สกัดได้จากลำต้นของพืชสกุล Yucca ลงไปในหลอด 0, 30 300 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทั้ง 5 กลุ่มมีการเติมน้ำจากกระเพาะหมักของโค จากนั้นนำหลอดทดลองไปเขย่าในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ของกลุ่มที่ 1 มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (5.9, 5.8, 5.8, 5.8, 5.8 และ 5.8 ตามลำดับ) ส่วนปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และปริมาณก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นทุกกลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ(P>0.05)

Cardozo *et al*. (2005) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินต่อกระบวนการหมักของแบคทีเรียในหลอดทดลอง โดยทำการทดลองแบบ 1 × 5 × 2 factorial โดยเสริมซาร์ซาโปนิน 0, 0.3, 3, 30 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 2 ระดับ คือ 7.0 และ 5.5 โดยหลอดทดลองแต่ละหลอดเติมน้ำจากกระเพาะหมัก 50 มิลลิลิตรร่วมกับบัฟเฟอร์ (polypropylene) ในอัตราส่วน 1:1 อาหารในหลอดทดลองประกอบด้วย อาหารหยาบ:อาหารข้น ในอัตราส่วน 10:90 จากนั้นนำหลอดทดลองไปเขย่าในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง พบว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.0 และ 5.5 ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเสริมซาร์ซาโปนินที่เพิ่มมากขึ้น ปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิกและกรดบิวทีริกที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.0 ของทุกกลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าที่ความเป็นกรดด่าง (pH) 5.5 ปริมาณกรดอะซิติกของกลุ่มที่เสริมซาร์ซาโปนิน 0 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่ามากกว่ากลุ่มที่เสริมซาร์ซาโปนิน 0.3, 3 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในทางตรงกันข้ามพบว่าที่ความเป็น-กรดด่าง (pH) 5.5 ปริมาณกรดโพรพิโอนิกของกลุ่มที่เสริมซาร์ซาโป-นิน 0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมซาร์ซาโปนิน 0.3, 3 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) นอกจากนี้พบว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 5.5 ปริมาณกรดบิวทีริกของกลุ่มที่เสริมซาร์ซาโปนิน 0 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมซาร์ซาโปนิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

Lila *et al*. (2003) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินต่อกระบวนการหมักของจุลินทรีย์จากน้ำในกระเพาะหมักของโคในหลอดทดลอง โดยแต่ละกลุ่มเสริมซาร์ซาโปนินลงในหลอดทดลอง 0, 1.2, 1.8, 2.4 และ 3.2 กรัมต่อลิตร อาหารหยาบที่ใช้มี 3 ชนิด คือ soluble potato starch, corn starch หรือหญ้าแห้ง โดยให้อาหารหยาบ:อาหารข้น ในสัดส่วน 1.5:1 เติมน้ำจากกระเพาะหมักลงไปในแต่ละหลอด จากนั้นนำหลอดทดลองไปเขย่าในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 6 และ 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่อใช้ soluble potato starch,corn starch และหญ้าเป็นแหล่งของอาหารหยาบที่ชั่วโมงที่ 6 และ 24 ปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเสริมซาร์ซาโปนินที่เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วนปริมาณกรดอะซิติก แอมโมเนียไนโตรเจน และก๊าซมีเทนมีค่าลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) นอกจากนี้พบว่าค่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของทุกกลุ่มที่ชั่วโมงที่ 6 และ 24 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

Kaya *et al*. (2006) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินต่อสมรรถนะการผลิตของลูกแกะ โดยใช้ลูกแกะพันธุ์ Awassi เพศผู้ จำนวน 16 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1,2 และ 3 เสริมซาร์ซาโปนินตัวละ 0, 75 และ 150 ppm ตามลำดับ ลูกแกะทุกกลุ่มได้รับอาหารที่มีโปรตีน 134 กรัม เลี้ยงทั้งหมด 63 วัน พบว่าปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (FCR) และน้ำหนักตัวสุดท้ายของทุกกลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่น้ำหนักที่เพิ่มต่อวันของกลุ่มที่เสริมซาร์ซาโปนิน 150 ppm มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มที่เสริมซาร์ซาโปนิน 0 ppm (220.57 และ 277.38 กรัม ตามลำดับ)

Chun-longl *et al*. (2007) ได้ศึกษาการเสริมซาร์ซาโปนินต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมักของแพะ โดยใช้แพะทำการผ่าตัดใส่ท่อบริเวณกระเพาะหมักจำนวน 16 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 เสริมซาร์ซาโปนินลงในอาหารข้น 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กิโลกรัมอาหาร แพะทุกกลุ่มได้รับอาหารข้น:อาหารหยาบ ในสัดส่วน 50:50 เก็บตัวอย่างอาหารในกระเพาะหมักหลังจากกินอาหารไปแล้ว 0, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง พบว่าที่ชั่วโมงที่ 4 และ 6 ปริมาณกรด โพรพิโอนิกของกลุ่มที่ 4 มีค่ามากกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (เพิ่มขึ้น 29.4 และ 29.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่ปริมาณกรดอะซิติกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ลดลง 15.1 และ 19.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ปริมาณแอมโมเนียที่ชั่วโมงที่ 2 ของกลุ่มที่ 1 และ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มที่ 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (32.97, 27.31, 23.13 และ 22.03 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) จำนวนโปรโตซัวในกระเพาะหมักของแพะกลุ่มที่ 4 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.6 การย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

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

2.6.1 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.6.1.1 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

คาร์โบไฮเดรตแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างของพืช (structural carbohydrates) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และ เพคติน (pectin) และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช้โครงสร้างของพืช (non-structural carbohydrates) ได้แก่ แป้งและน้ำตาล โดยขั้นตอนแรกคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ (polysaccharides) จะถูกเอนไซม์เข้ามาย่อยรอยต่อเชื่อมระหว่างหน่วย (glycosidic bonds) ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) ให้หลุดแยกออกจากกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะได้น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) ก่อนที่จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในตอนสุดท้าย จากนั้นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็น pyruvate อย่างรวดเร็วแล้ว pyruvate ที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid) ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดบิวทีริก (butyric acid) โดยพบว่ากรดอะซิติกเป็นวัตถุดิบสำคัญในการสังเคราะห์ไขมัน โดยขบวนการ lipogenesis และกรดอะซิติกและกรดบิวทีริกเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการให้พลังงานผ่านขบวนการ oxidation ในขณะที่กรดโพรพิโอนิกเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญในการสังเคราะห์กลูโคส โดยกระบวนการ gluconeogenesis นอกจากนี้พบว่าการสร้างกรดไขมันที่ระเหยได้ยังได้ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นผลผลิตร่วม ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์มีเทน (CH_4) ต่อไป (เทอดชัย, 2548)

2.6.1.2 ก๊าซมีเทนกับภาวะโลกร้อน

ภาวะโลกร้อน (global warming) หรือภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (climate change) เป็นปัญหาใหญ่ของโลกในปัจจุบัน เนื่องจากอุณหภูมิของโลกสูงขึ้นเรื่อยๆ สาเหตุเกิดจากก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) ที่ห่อหุ้มโลกมากเกินไป ทำให้รังสีความร้อนที่แผ่จากดวงอาทิตย์มาสู่โลกถูกกักเก็บมากกว่าสะท้อนออก จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น และเกิดการแปรปรวนของระบบภูมิอากาศ (climate system) (ดวงจันทร์, 2551)

สาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากมีปริมาณของก๊าซเรือนกระจกเพิ่มปริมาณขึ้นในชั้นบรรยากาศของโลกอย่างรวดเร็ว ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เป็นปัญหาหลัก คือ ก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ (CO_2) 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนก๊าซอื่นๆ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) 15 เปอร์เซ็นต์ ไดคลอโรไดฟลูออโรมีเทน (ccl_3F_2) 12 เปอร์เซ็นต์ โอโซน (O_3) 8 เปอร์เซ็นต์ และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) 5 เปอร์เซ็นต์ (สาวิตรี, 2550)

ในด้านการเกษตรพบว่ามีการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศโลกประมาณปีละ 205-245 ล้านตัน ดังแสดงในตาราง 3 โดยพบว่าการเลี้ยงสัตว์ทำให้เกิดก๊าซมีเทนทั้งหมด 105 ล้านตัน แบ่งเป็นก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมักในกระเพาะหมัก 80 ล้านตัน และก๊าซมีเทนที่เกิดจากของเสียของสัตว์อีก 25 ล้านตัน (Watson *et al*., 1992) ซึ่งก๊าซมีเทนสามารถคงอยู่ในชั้นบรรยากาศได้ถึง 10 ปี และสามารถเก็บกักความร้อนได้ 23-25 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ดวงจันทร์, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 3 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดจากการทำเกษตรกรรม

แหล่งที่เกิด	ปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกมา (สิบล้านตันต่อปี)
การหมักในกระเพาะอาหาร	80
การปลูกข้าว	60-100
การเผาไหม้ของชีวมวล	40
ของเสียที่เกิดจากสัตว์	25
รวม	205-245

ที่มา : Watson *et al*. (1992)

และเมื่อพิจารณาก๊าซมีเทนที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์ พบว่าการเลี้ยงโคนมทำให้เกิดก๊าซมีเทนมากที่สุด โดยโคนมน้ำหนัก 650.0 กิโลกรัม สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ถึงตัวละ 100 กิโลกรัมต่อปี รองลงมา คือ โคเนื้อ 50 กิโลกรัมต่อปี ส่วนสุกรรุ่น/ขุน ผลิตได้ตัวละ 0.3 กิโลกรัมต่อปี

ตาราง 4 การเกิดและปล่อยก๊าซชนิดต่างๆจากสัตว์เลี้ยง (กิโลกรัม/ตัว/ปี)

ชนิดสัตว์	น้ำหนักตัว (กก.)	CH_4	NH_3
โคนม	650.0	100	8.8
โคเนื้อ	450.0	50	5.7
สุกรแม่พันธุ์	200.0	0	5.0
สุกรรุ่น/ขุน	7.5	0.3	3.0
ไก่ไข่	5.0	0	0.2
ไก่เนื้อ	0.5	0	1.0

ที่มา : Tamminga (1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าก๊าซมีเทนในกระเพาะหมักได้มาจากการสร้างกรดไขมัน ดังนั้น สามารถสรุปปฏิกิริยาการสร้างกรดไขมันในกระเพาะหมักได้ ดังนี้

1. การผลิตกรดอะซิติก (C_2)

$$CH_3COCOOH + H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + H_2$$

2. การผลิตกรดโพรพิโอนิก (C_3)

$$CH_3COCOOH + H_2 \longrightarrow CH_3CH_2COOH + H_2O$$

3. การผลิตกรดบิวทีริก (C_4)

$$2CH_3COOH + H_2 \longrightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2\,H_2O$$

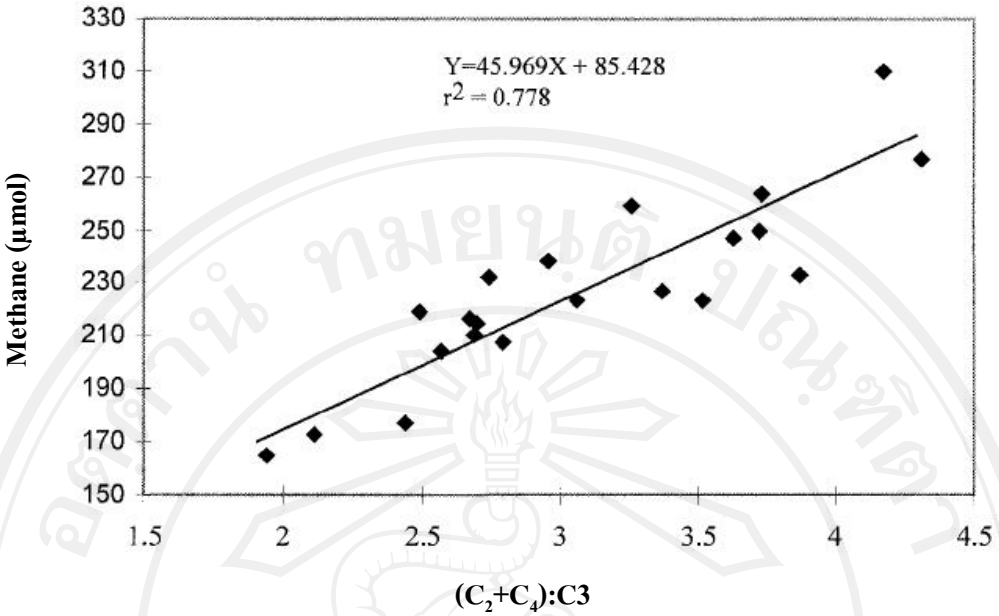
4. การผลิตก๊าซมีเทน (CH_4)

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

จากสมการสรุปการสร้างกรดไขมันที่ระเหยได้ในกระเพาะหมัก จะเห็นได้ว่าการผลิตกรดอะซิติกจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ส่วนการผลิตกรดโพรพิโอนิกไม่ทำให้เกิดก๊าซ ดังนั้นพลังงานที่สูญเสียไปบางส่วนจะอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และ heat of fermentation ในช่วงที่เกิดการหมักของอาหารในกระเพาะหมัก ถ้ามีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนน้อยจะทำให้เกิดโอกาสในการผลิตก๊าซมีเทนลดน้อยลง ถ้ามีการผลิตกรดอะซิติกมากก็จะทำให้โอกาสการผลิตก๊าซมีเทนมากตามไปด้วย ส่วนการผลิตกรดบิวทีริกจะอาศัยก๊าซไฮโดรเจนเพื่อไป reduce อะซิโตอะซิเตท (acetoacetate) จึงเป็นการช่วยจำกัดการผลิตก๊าซมีเทน การผลิตกรดโพรพิโอนิกนั้นจำเป็นต้องใช้ก๊าซไฮโดรเจนเช่นกัน แต่จะเห็นว่าในขบวนการผลิตไม่ก่อให้เกิดก๊าซใดๆ เลย (เมธา, 2529)

นอกจากงานนี้งานทดลองของ Moss *et al*. (2000) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของกรดอะซิติกรวมกับกรดบิวทีริกต่อกรดโพรพิโอนิก คือ $(C_2+C_4):C_3$ พบว่าเมื่อสัดส่วนของค่าดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ($r^2 = 0.778$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนในกระเพาะหมักกับสัดส่วนของ $(C_2+C_4):C_3$
ที่มา : Moss *et al*. (2000)

2.6.1.3 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในลำไส้เล็ก

คาร์โบไฮเดรตที่เข้ามาในลำไส้เล็ก คือ คาร์โบไฮเดรตที่รอดพ้นจากการย่อยของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก รวมถึงคาร์โบไฮเดรตส่วนหนึ่งที่ได้จากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ โดยคาร์โบไฮเดรตที่เป็นพวกเยื่อใย อาจถูกย่อยโดนจุลินทรีย์ที่มีอยู่บ้างในส่วนปลายของลำไส้เล็ก โดยเป็นที่ยอมรับกันว่า การย่อยเยื่อใยภายในลำไส้เล็กไม่มีความสำคัญต่อตัวสัตว์แต่อย่างใด ส่วนคาร์โบไฮเดรตพวกแป้งจะถูกย่อยจากเอนไซม์ของตัวสัตว์เอง ได้แก่ เอนไซม์ amylase, maltase และ oligo-1, 6-glucosidase จากลำไส้เล็กและตับอ่อน และเอนไซม์ glucoamylase ที่ผลิตจากผนังลำไส้เล็กให้เป็นกลูโคส (เทอดชัย, 2548)

2.6.1.4 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในลำไส้ใหญ่

คาร์โบไฮเดรตที่เข้าไปในลำไส้ใหญ่ส่วนใหญ่จะเป็นเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่เหลือจากการย่อยภายในกระเพาะหมัก และอาจมีแป้งที่รอดพ้นจากการย่อยภายในลำไส้เล็กรวมอยู่บ้าง โดยการย่อยคาร์โบไฮเดรตพวกเยื่อใยจะคล้ายคลึงกับในกระเพาะหมัก คือ ได้กรดไขมันที่ระเหยได้ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก โดยกรดไขมันที่ระเหยได้ บางส่วนจะถูกจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนี้นำไปใช้ประโยชน์ ที่เหลือบางส่วนจะถูกดูดซึมกลับเข้าไปในร่างกาย ซึ่งการนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกันกรดไขมันที่ระเหยได้จากกระเพาะหมัก ส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein) ที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตพวกแป้งนั้น ร่างกายสัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เพราะในลำไส้ใหญ่ไม่มีการดูดซึมโปรตีนจากจุลินทรีย์ โดยโปรตีนจากจุลินทรีย์นี้จะถูกขับออกมาในมูลแทน (เทอดชัย, 2548)

2.6.2 การย่อยโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.6.2.1 การย่อยโปรตีนในกระเพาะหมัก

แหล่งของโปรตีนส่วนใหญ่ที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับจากอาหาร จะอยู่ในรูปของไนโตรเจนที่มีอยู่ในพืช ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ตามคุณสมบัติที่ละลายได้ (solubility) เป็นส่วนที่เป็นโปรตีนแท้จริง (true protein) และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen:NPN) เมื่อโปรตีนเข้าไปถึงกระเพาะหมักจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียและโปรโตซัวหลายชนิด โดยช่วงแรกจะเกิดขบวนการ proteolysis แยกรอยต่อของโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธี hydrolysis ตรง peptide bond ทำให้ได้ peptide และกรดอะมิโนบางส่วน จากนั้นมีการสลายตัวของกรดอะมิโนโดยขบวนการ deamination ได้กรดอินทรีย์และก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.6.2.2 การย่อยโปรตีนในลำไส้เล็ก

โปรตีนที่เข้าไปถึงลำไส้เล็กของสัตว์เคี้ยงเอื้องประกอบด้วย โปรตีนจากอาหารที่รอดพ้นจากการย่อยในกระเพาะหมัก โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein) และ endogeneous protein โดยตับอ่อนจะผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยโปรตีนให้ได้กรดอะมิโน และเปปไทด์ซึ่งจะถูกดูดซึมโดยลำไส้เล็กต่อไป นอกจากนี้ผนังลำไส้เล็กยังมีการผลิตเอนไซม์ย่อยเปปไทด์ให้เป็นกรดอะมิโนอีกด้วยส่วนโปรตีนในรูปกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ได้แก่ ribonucleic acid (RNA) และ deoxyribonucleic acid (DNA) จะถูกย่อยโดยเอนไซม์จากตับอ่อนและลำไส้เล็กจนได้ nucleoside ออกมาโดย nucleoside ที่เกิดขึ้นทั้งหมด จะถูกย่อยได้ ribose หรือ deoxyribose และ pyrine หรือ pyrimidine ซึ่งจะถูกดูดซึมในที่สุด (เทอดชัย, 2548)

2.6.2.3 การย่อยโปรตีนในลำไส้ใหญ่

โปรตีนที่เข้าไปในลำไส้ใหญ่ ได้แก่ โปรตีนจากอาหาร โปรตีนจากจุลินทรีย์ และ endogenous protein ที่ไม่โดนย่อยและถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก รวมถึงยูเรียบางส่วนที่หมุนเวียนกลับเข้ามาและถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยขบวนการย่อยโปรตีนในลำไส้ใหญ่จะคล้ายคลึงกับที่เกิดขึ้นในกระเพาะหมัก โดยเอนไซม์ proteolytic deamination และ urease ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลผลิตส่วนใหญ่ ได้แก่ ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมเข้าไปในกระแสโลหิต กลับเข้าไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้อีก บางส่วนถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ พบว่าโปรตีนที่เกิดขึ้นในลำไส้ใหญ่นี้ ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ไปใช้ประโยชน์ได้ และถูกขับออกนอกร่างกายไปพร้อมกับมูล (เทอดชัย, 2548)

2.6.3 ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก

ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก (ruminal pH) จะแปรปรวนไปตามชนิดของอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปและเวลาที่ทำการวัด เมื่อสัตว์กินอาหารประเภทแป้งเข้าไปในกระเพาะหมักจะถูกเอนไซม์จากจุลินทรีย์ย่อย ผลที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยจุลินทรีย์จะเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid) ส่วนหนึ่งของกรดไขมันระเหยได้จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิต และเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งกับคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างของพืช (เยื่อใย) พบว่าแป้งถูกย่อยสลายได้เร็วกว่า ให้สัดส่วนของกรดโพรพิโอนิกและ/หรือกรดบิวทีริกสูงกว่า และทำให้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะหมักต่ำลง เนื่องจากในกระบวนการย่อยแป้งนั้นจะเกิดกรดแลคติก (lactic acid) เป็นจำนวนมาก และจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดโพรพิโอนิกต่อไป (เทอดชัย, 2535; เทอดชัย, 2542) กรดที่เกิดจากกระบวนการหมักย่อยตามทฤษฎีแล้วสามารถทำให้ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักให้ลดต่ำลงเหลือ 2.5-3.0 ได้แต่ในสภาพปกติความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะหมักจะมีค่าช่วงอยู่ในช่วง 5.5-6.5 เนื่องจากฟอสเฟต (phosphate) และไบคาร์บอเนต (bicarbonate) ในน้ำลายทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (buffer) รักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างไว้ ประกอบกับการดูดซึมกรดอย่างรวดเร็วทำให้รักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างไว้ได้ (McDonald *et al*., 1995) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะหมักสามารถบ่งบอกถึงการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตได้ โดยถ้าหากความเป็นกรดด่างลดลงแสดงว่ามีการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตเกิดขึ้น ถ้าหากว่าลดลงอย่างรวดเร็วแสดงว่าอาหารนั้นมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่าย ทำให้มีพลังงานจำนวนมากในกระเพาะหมัก ในทางตรงกันข้ามถ้าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไม่ลดลง แสดงว่าคาร์โบไฮเดรตในอาหารนั้นย่อยสลายได้ยาก (เทอดชัย, 2535; เทอดชัย, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.4 แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก

แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก (ruminal ammonia nitrogen) เป็นสารตัวกลางระหว่างการย่อยโปรตีนโดยจุลินทรีย์และการสังเคราะห์โปรตีน ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมักนั้น สามารถบ่งบอกถึงการย่อยสลายโปรตีนจากอาหารภายในกระเพาะหมักได้ โดยถ้าหากระดับแอมโมเนียในกระเพาะหมักต่ำ อาจแสดงว่าอาหารนั้นมีโปรตีนต่ำ หรือโปรตีนย่อยได้ต่ำ หรือโปรตีนสามารถทนทานต่อการย่อยสลาย มีผลทำให้การเจริญเติบโตหรือการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ต่ำลง ในทางตรงกันข้ามหากในอาหารมีโปรตีนมากเกินไป หรือมีการย่อยได้ของโปรตีนมากเกินกว่าการสังเคราะห์โปรตีน จะเกิดการสะสมแอมโมเนียในกระเพาะหมัก และมากเกินกว่าระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีน แอมโมเนียจะถูกดูดซึมผ่านกระแสเลือดไปยังตับและเปลี่ยนเป็นยูเรีย ซึ่งยูเรียบางส่วนจะกลับเข้ากระเพาะหมักทางน้ำลายและซึมผ่านผนังกระเพาะหมักโดยตรง แต่ยูเรียส่วนใหญ่จะถูกขับออกทางปัสสาวะและโปรตีนที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ได้นั้นเป็นโปรตีนที่สังเคราะห์มาจากแอมโมเนีย 40-70 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นใช้ไนโตรเจนจากแหล่งอื่น คือ เปปไทด์และกรดอะมิโนในการสังเคราะห์โปรตีน (เทอดชัย, 2542; McDonald *et al*., 1995)

ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนไม่ควรต่ำกว่า 5 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร การเพิ่มระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่มีผลทำให้จุลินทรีย์มีการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มมากขึ้น ปกติความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมีค่าสูงสุดหลังจากสัตว์กินอาหาร 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดต่ำลง การรักษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียให้อยู่ในช่วงระหว่าง 3-8 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรให้นานจะทำให้มีการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Satter and Slyter, 1974)

2.6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างและแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก

ปริมาณโปรตีนจากจุลินทรีย์ที่เข้าไปยังลำไส้เล็กนั้นจะขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein synthesis) โดยมีปัจจัยที่สำคัญ คือ แหล่งอาหารพลังงานและไนโตรเจน โดยถ้ามีแหล่งของพลังงานและไนโตรเจนเพียงพอและเหมาะสมแล้ว การสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ก็จะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (เทอดชัย, 2542)

ดังนั้นการวัดความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก (ruminal pH) ซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะการย่อยสลายแหล่งพลังงาน คือ คาร์โบไฮเดรต และการวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หมัก ซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะการย่อยสลายโปรตีน ที่ชั่วโมงต่างๆหลังจากสัตว์กินอาหารที่จะทำให้ทราบว่าอาหารนั้นมีความเหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์มากน้อยเพียงใด โดยถ้าการย่อยสลายทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนเกิดขึ้นอย่างสอดคล้องกัน ทำให้สันนิษฐานได้ว่าจะเกิดการสังเคราะห์โปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.7 การศึกษาการย่อยได้ในโค

การศึกษาการย่อยได้ (digestibility studies) มีความหมายกว้างๆคือ การวัดปริมาณโภชนะหรืออาหารที่สูญหายไปในทางเดินอาหารส่วนต่างๆ ของโค โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาคือ เพื่อประเมินความสามารถหรือประสิทธิภาพของโคในการนำเอาโภชนะหรืออาหารชนิดนั้นไปใช้ประโยชน์ และเพื่อศึกษาถึงปริมาณโภชนะที่สามารถย่อยได้ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารว่ามีมากน้อยเพียงใด (เทอดชัย, 2540)

การประเมินคุณค่าทางอาหารที่เป็นพื้นฐานคือ วิธีการวิเคราะห์แบบ proximate analysis (AOAC, 2000) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมานาน สามารถบอกองค์ประกอบทางเคมีได้ในระดับหนึ่ง แต่มีข้อจำกัดเรื่องการวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นเยื่อใย จึงมีการพัฒนาการวิเคราะห์เยื่อใยขึ้นเรียกว่า detergent method (Van Soest, 1982) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีนี้ก็ยังไม่สามารถบอกการย่อยได้ในตัวสัตว์ ตลอดจนการนำโภชนะต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ได้จริง ดังนั้นจึงมีการทดลองหาค่าการย่อยได้ทั้งในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) ได้แก่ การประเมินค่าการย่อยได้และการทดลองในตัวสัตว์โดยตรง (*in vivo*) ได้แก่ การศึกษาการย่อยได้โดยวิธีการแบบดั้งเดิมเพื่อหาการย่อยได้แบบปรากฏและการใช้สารบ่งชี้

2.7.1 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility) โดยวิธีการแบบดั้งเดิม (conventional method)

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะปรับตัว (preliminary period) เป็นระยะเวลาที่ให้สัตว์ทดลองและจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมักปรับตัวให้เข้ากับอาหารที่ทำการทดลอง และเพื่อขับอาหารเดิมที่สัตว์ได้รับออกจากทางเดินอาหารให้หมด สำหรับโครระยะนี้ควรใช้เวลาประมาณ 10–14 วัน

ระยะเก็บข้อมูล (collection period) เป็นระยะเวลาที่เก็บและบันทึกปริมาณอาหารที่สัตว์กินและมูลที่ขับออกมาโดยวิธีการสุ่ม และเก็บตัวอย่างที่สุ่มมา 5-10 เปอร์เซ็นต์ไว้เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อนำไปคำนวณค่าการย่อยได้โดยทั่วไประยะนี้ใช้เวลาประมาณ 7-10 วัน หากจำกัดปริมาณอาหารที่ให้ (restricted feeding) และ 10–14 วันหากมีการให้อาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*)

หลังจากเสร็จจากขั้นตอนการเก็บตัวอย่างในช่วง collection period แล้ว นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโภชนะที่มีในอาหารที่ศึกษาและในมูลที่โคขับออกมาเพื่อนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ที่เสนอโดยบุญล้อม (2540)

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

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

การหาค่าการย่อยได้แบบดั้งเดิมบางครั้งอาจทำให้ได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากต้องทราบปริมาณอาหารที่กินและมูลที่ขับออกมาทั้งหมด ซึ่งในระหว่างการทดลองการบันทึกปริมาณมูลที่ขับออกมาทั้งหมดนั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก วิธีการใช้สารบ่งชี้ (indicator or marker) ผสมกับอาหารที่ทำการศึกษาและใช้ปริมาณสารบ่งชี้ดังกล่าวเป็นตัวแปลในการคำนวณหาค่าการย่อยได้ ก็เป็นวิธีที่ช่วยแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ ซึ่งวิธีการหาค่าการย่อยได้โดยใช้สารบ่งชี้นั้นคล้ายคลึงกับการหาค่าการย่อยได้แบบดั้งเดิม

2.7.2.1 คุณสมบัติของสารบ่งชี้ (properties of marker)

โดยทั่วไปสารที่สามารถนำมาเป็นสารบ่งชี้ต้องมีคุณสมบัติคือ ต้องเป็นสารที่ไม่ถูกย่อยสลาย ไม่ถูกดูดซึม หรือมีผลต่อระบบทางเดินอาหารและต้องไม่มีผลต่อประชากรของจุลินทรีย์ภายในทางเดินอาหารของโค เมื่อผ่านทางเดินอาหารจะต้องเป็นเนื้อเดียวกับอาหารที่กำลังศึกษา มีอัตราการไหลผ่านที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะในกระเพาะหมักซึ่งเป็นแหล่งที่มีความแปรปรวนของอัตราการไหลผ่านเป็นอย่างมาก ที่สำคัญคือต้องสามารถตรวจพบได้ง่าย เมื่อนำไปวิเคราะห์หา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณในอาหารหรือตัวอย่างทดลอง (Marais, 2000) และเมื่อผสมอาหารให้โคกินแล้วต้องสามารถขับออกมาได้ทั้งหมด (Rymer, 2000)

2.7.2.2 ประเภทของสารบ่งชี้ (type of markers)

โดยทั่วไปสารบ่งชี้ที่ใช้ในการศึกษาการย่อยได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

ก) Internal indicator เป็นสาร หรือสารประกอบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยอาจอยู่ในอาหารที่สัตว์กิน หรือเป็นส่วนหนึ่งของพืชอาหารสัตว์ มีราคาถูกเหมาะสำหรับศึกษาสัตว์ป่า หรือสัตว์เลี้ยงที่ปล่อยแปลงซึ่งยากต่อการให้กินสารบ่งชี้ที่ผสมในอาหาร สารบ่งชี้ประเภทนี้ที่สำคัญได้แก่ลิกนิน (lignin) ซึ่งพบว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่มีเอมไซม์ที่สามารถย่อยสลายพันธะ polymerized phenolic compound ของลิกนินได้ (Marais, 2000) แต่อย่างไรก็ตามลิกนินเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนองค์ประกอบทางเคมีของมันอาจมีความหลากหลายทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิดของพืชส่งผลให้ปริมาณที่กลับคืน (recovery rate) อาจไม่คงที่ (เทอดชัย, 2542) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร สารสีในพืช (plant chromogen) ซึ่งพบว่าสารชนิดนี้ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักและเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA) ส่วนใหญ่ ได้แก่ ซิลิก้า (silica) ซึ่งนิยมในการใช้หาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในไก่และโค (Marais, 2000) แต่การใช้เถ้าที่ไม่ละลายในกรดเป็นสารบ่งชี้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนถ้าอาหารที่ศึกษานั้นมีการปนเปื้อนด้วยดินหรือทราย

ข) External indicator คือสารเคมีที่ผสมลงไปในอาหารทดลอง โดยปกติการใช้ชนิดนี้กับสัตว์นิยมให้ทางปาก หรือทางช่องเปิดบริเวณทางเดินอาหารต่างๆ ของสัตว์ (rumen fistula or intestine cannular) หรือให้โดยมีอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ (Marais, 2000) อาจมีการให้เป็นแบบครั้ง หรือเป็นจังหวะ (single pulse dose) หรือให้แบบต่อเนื่องตลอดช่วงการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้ปริมาณของสารบ่งชี้ใน digesta มีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน ช่วงเวลาที่ให้สัตว์ปรับตัวเพื่อให้มีปริมาณสารบ่งชี้ที่ขับออกมากับมูลอย่างสม่ำเสมอใช้เวลา 6 และ 8 วัน ในแกะและโค ตามลำดับ (Marais, 2000) ซึ่งสารบ่งชี้ประเภทนี้ที่นิยมได้แก่ chromium EDTA หรือ Polyethylene glycol ซึ่งเป็นสารบ่งชี้ชนิด soluble markers ที่นิยมใช้กันมาก สารประกอบที่นิยมใช้กันมากอีกชนิดหนึ่งได้แก่ สารประกอบประเภท metal oxide และ salts ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้เล็กน้อยในอัลคาไลน์และกรด นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดปริมาณมูลของสัตว์ทดลองที่ขับออกมา สารอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากและใช้ในการในการศึกษาครั้งนี้ คือ ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกว่าสารบ่งชี้ทุกชนิด เนื่องจากมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำและกรดเจือจาง ไม่ถูกดูดซึมโดยพืช ในแกะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าไม่มีผลกระทบใดๆ แม้ว่าจะได้รับไททาเนียมออกไซด์ 2–3 กรัมต่อวัน นอกจากนี้ยังสามารถถูกขับออกมากับมูลได้เกือบหมด (98% recovery rate) วิธีตรวจหาไททาเนียมออกไซด์ทำได้โดยการใช้ spectrophotometer หลังจากเกิดปฏิกิริยา oxidation กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide) (Brandt *et al.,* 1983)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

มีปัจจัยอยู่หลายประการที่สามารถทำให้อัตราการย่อยได้ของอาหารที่ให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้องเปลี่ยนแปลงไปได้ ปัจจัยเหล่านั้นได้แก่

1. ปริมาณอาหารที่สัตว์ได้รับ การเพิ่มปริมาณอาหารที่ให้กับสัตว์ หรือปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้การย่อยได้ของโภชนะที่เป็นแหล่งของพลังงานลดน้อยลง แต่การย่อยได้ของโภชนะอื่นๆ เปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน ถ้าพิจารณากันในด้านของ apparent digestibility แต่ถ้าพิจารณาในด้าน true digestibility แล้วพบว่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุจะลดลง เนื่องจากปริมาณอาหารที่มากขึ้น ทำให้อาหารเดินทางผ่านทางเดินอาหารเร็วขึ้น

2. ปริมาณเยื่อใยและลิกนินที่มีอยู่ในอาหาร โดยทั่วไปแล้วเป็นที่ยอมรับกันว่า การย่อยได้จะลดลง ถ้าปริมาณเยื่อใยในอาหารเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณลิกนินที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งลิกนินนี้จะเข้าจับตัวกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสทำให้เอนไซม์ของจุลินทรีย์เข้าย่อยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้น้อยลง ดังนั้นถ้าอาหารมีลิกนินและ/หรือมีเยื่อใยเพิ่มขึ้น การย่อยได้ก็จะลดลง

3. ความแตกต่างด้าน Species ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคย่อยอาหารหยาบแห้งได้ดีกว่าแกะ แต่แกะย่อยอาหารข้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งไขมันได้ดีกว่าโค สัตว์เคี้ยวเอื้องทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการย่อยวัตถุแห้ง โปรตีน และ digestible energy ไม่แตกต่างกัน

4. การขาดโภชนะบางอย่าง การขาดโภชนะชนิดใดชนิดหนึ่ง อาจจะมีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนะบางอย่างลดน้อยลง เช่น การขาดโปรตีนจะทำให้ digestible energy ลดน้อยลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการขาดโปรตีนทำให้การทำงานของจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพลดน้อยลงกว่าเดิม และการขาดไวตามินเอจะทำให้เกิดอาการท้องร่วง

5. ความน่ากินของอาหาร จะมีผลโดยตรงต่อปริมาณอาหารที่กินได้ (Intake) ทำให้มีผลต่อเนื่องถึงอัตราการย่อยได้ด้วย

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

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

8. The associative effect of feedstuffs เป็นปรากฏการณ์ที่อาหารบางชนิด เมื่อนำมาร่วมกับอาหารชนิดอื่นในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องแล้ว จะทำให้การย่อยได้หรือคุณค่าทางอาหารเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมที่เคยมีการย่อยได้ในระดับหนึ่งเมื่อใช้เป็นอาหารสัตว์เฉพาะอาหารชนิดนั้นๆ แต่เพียงชนิดเดียว

9. การปรับตัวให้เข้ากับอาหารชนิดใหม่ สัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีข้อแตกต่างจากสัตว์กระเพาะเดี่ยวในด้านการปรับตัวให้เข้ากับอาหารชนิดใหม่ ได้แก่ การใช้เวลาในการปรับตัวนานกว่า เนื่องจากภายในกระเพาะส่วนหน้าของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ ดังนั้นการเปลี่ยนอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงต้องมีการให้เวลาช่วงหนึ่งสำหรับจุลินทรีย์ในการปรับตัวให้เคยชินกับอาหารชนิดใหม่ ในระยะแรกของการเปลี่ยนอาหาร อาจจะพบว่า การย่อยได้น้อยลงกว่าปกติ และเมื่อเวลาผ่านไป 2–3 สัปดาห์ การย่อยจะดีขึ้น เนื่องจากมีการปรับตัวของจุลินทรีย์ได้ดี (เทอดชัย, 2548)

2.8 การเปิดทางเดินอาหารโคทดลองสำหรับใช้ในการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ (Rumen fistulation, duodenal and ileum cannulation for digestibility study in dairy cow)

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำอุปกรณ์ฝาปิดกระเพาะหมักและท่อเก็บตัวอย่างจากลำไส้เล็ก

วัสดุสำหรับทำอุปกรณ์ฝาปิดกระเพาะหมักและท่อเก็บตัวอย่างจากลำไส้เล็กมีอยู่หลายชนิด ทั้งที่เป็นวัสดุแข็ง เช่น พีวีซี และวัสดุที่มีความอ่อนตัว เช่น ยาง ซิลิโคน ทั้งนี้พบว่าซิลิโคนซึ่งเป็นสารโพลิเมอร์ (polymer) ที่มีซิลิกอน (silicon) เป็นส่วนประกอบ เมื่อนำมาผ่านความร้อนจะให้สาร

ที่มีคุณสมบัติอ่อนตัวเหมือนยางแต่มีความเหนียว สามารถคงรูปได้ตลอด ทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีใดๆ (เทอดชัย และทัศนีย์, 2531)

2.8.2 การผ่าตัดใส่ท่อ rumen fistula ในโคนม

การผ่าตัดเพื่อเปิดท่อทางเดินอาหารบริเวณกระเพาะหมัก (rumen fistulation) สามารถทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีผ่าตัดแบบครั้งเดียว (one – stage operation) ซึ่งจะเปิดผ่าผิวหนังพร้อมกับกระเพาะหมัก แล้วสอดท่อ fistula ในคราวเดียวกัน หรือวิธีผ่าตัดสองครั้ง (two – stage operation) ซึ่งจะเปิดผ่าผิวหนังแล้วเย็บติดผิวหนังกับกระเพาะหมัก รอจนกระทั่งแผลเชื่อมติดกันสนิทจึงเปิดแผลที่กระเพาะหมักเพื่อสอดท่อ fistula ทั้งนี้ขึ้นกับอุปกรณ์ ชนิดและขนาดของสัตว์ทดลอง เช่น แกะนิยมใช้การผ่าตัดแบบครั้งเดียว ในขณะที่การผ่าตัดแบบสองครั้ง นิยมนำมาใช้กับการผ่าตัดสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น โค เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดอาการช่องท้องอักเสบ (peritonitis) ถึงแม้ว่าจะต้องใช้เวลามากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การผ่าตัดแบบครั้งเดียวในโคนมได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกและลดขั้นตอนการผ่าตัดลงได้ และยังป้องกันการเกิดอาการช่องท้องอักเสบได้มีประสิทธิภาพขึ้น (ทัศนีย์ และเทอดชัย, 2530)

วิธีการผ่าตัดใส่ท่อ rumen fistula ในโคนม คือ เตรียมสัตว์ทดลองก่อนการผ่าตัดโดยอดอาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ฉีดยาชาเข้ากล้ามเนื้อเพื่อระงับความรู้สึก ทำความสะอาดสวาปด้านซ้าย โกนขน หลังจากฉีดยาชา ประมาณ 15 นาที สัตว์เริ่มซึมและพยายามล้มตัวลงนอน จึงจัดให้นอนตะแคงขวาให้สวาปซ้ายอยู่ด้านบน มัดขาคู่หน้าและหลัง จากนั้นฉีดยาชาเฉพาะที่บริเวณแนวสันหลังเหนือบริเวณที่จะทำการผ่า เปิดผิวหนังที่สวาปด้านซ้ายในแนวตั้งฉากกับกระดูกสันหลังยาวประมาณ 5 นิ้ว โดยกะให้มีขนาดใหญ่กว่าท่อ fistula เล็กน้อย ซึ่งจะตรงกับบริเวณ dorsal sac ของกระเพาะหมัก เปิดแยกกล้ามเนื้อและเปิดเยื่อบุช่องท้อง (peritoneum) จะพบผนังหมักอยู่ด้านใน ดึงผนังกระเพาะหมักออกมาและใช้ catgut No.1 เย็บติดกับเนื้อเยื่อผิวหนัง จากนั้นผ่าผนังกระเพาะหมักตามแนวยาวให้มีความกว้างพอดีกับผิวหนัง ใช้ไหม (silk) No.1 เส้นคู่ เย็บผนังกระเพาะหมักกับผิวหนัง จากนั้นสอดท่อ fistula ค้างไว้ หลังจากผ่าตัด ฉีดยาปฏิชีวนะเข้ากล้ามเนื้อทุกวัน นาน 3 วัน ทำการตัดไหมออกในวันที่ 14 หลังการผ่าตัด (ทัศนีย์และเทอดชัย, 2530)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.3 การผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารจากบริเวณส่วนต้นของลำไส้เล็กในโค

สำหรับการผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น (proximal duodenum) จะใช้ท่อที่มีลักษณะเป็นรูปตัวที (simple–T shaped cannula) สอดเข้าไปตรงบริเวณลำไส้เล็ก ตัวอย่างอาหารที่เก็บได้จากบริเวณนี้ถือเป็นตัวแทนของตัวอย่างอาหารที่เดินทางผ่านเข้าออกบริเวณลำไส้เล็ก ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บได้นี้จะสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณโภชนะของอาหารทดลองที่ตัวโคนมใช้ประโยชน์ได้จริงโดยไม่เกิดจากจุลินทรีย์

วิธีการผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารจากบริเวณส่วนต้นของลำไส้เล็กในโค คือ ทำการอดอาหารโคทดลองก่อนการผ่าตัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อลดปริมาณอาหารอยู่ในลำไส้เล็กให้น้อยลง ขณะที่ทำการผ่าตัด แต่มีน้ำให้โคกินตามปกติ ฉีดยาชาเข้ากล้ามเนื้อเพื่อระงับความรู้สึก ทำความสะอาดบริเวณสวาปด้านขวา โกนขน หลังจากที่โคซึมและล้มตัวลงนอน จัดท่านอนให้โคนอนตะแคงซ้าย มัดขาหน้าและขาหลังเพื่อป้องกันอันตรายจากการดิ้นรนในขณะที่ทำการผ่าตัด ทำการฉีดยาชาเพื่อระงับความรู้สึกบริเวณช่องท้อง เปิดผิวหนังที่สวาปด้านขวาในแนวตั้งฉากกับกระดูกสันหลังยาวประมาณ 5 นิ้ว ผ่าเปิดกล้ามเนื้อและเยื่อบุช่องท้อง ใช้มือคลำดูภายในจะพบลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม (duodenum) พาดบนผนังกระเพาะหมัก เปิดผ่าลำไส้ที่ที่บริเวณ proximal duodenum ตามแนวยาวประมาณ 1.5 นิ้ว สอดท่อซิลิโคนเข้าภายในลำไส้เล็ก ตรึงลำไส้ให้ยึดติดท่อซิลิโคนสองรอบด้วย Catgut No.1 ที่บริเวณช่องสอดท่อซิลิโคนรัดให้แน่น เปิดผิวหนังให้ทะลุถึงช่องท้องยาวประมาณ 1.75 สอดท่อทั้งสองให้ทะลุผ่านรอยเปิดจากช่องท้องออกสู่ภายนอกลำตัว โดยให้ท่อจากส่วนต้นของลำไส้เล็กอยู่ทางด้านหน้าของโคทดลอง ใช้แผ่นวงกลมซิลิโคนที่เจาะช่องให้มีขนาดเท่ากับท่อซิลิโคนสอดเข้าจนชิดกับผิวหนัง ดึงท่อซิลิโคนประมาณให้ผิวหนังลำไส้เล็กติดแน่นกับผนังช่องท้องด้านในพอสมควร เปิดส่วนปลายด้านนอกด้วยจุกยาง รัดโคนท่อซิลิโคนภายนอกด้านที่ชิดกับแผ่นซิลิโคนและส่วนปลายของท่อที่ปิดด้วยจุกยางด้วยเข็มขัดรัดท่อยางให้แน่น เพื่อป้องกันมิให้ท่อซิลิโคนหลุดกลับเข้าสู่ช่องท้อง เย็บปิดช่องท้องและผิวหนังที่ปิดในครั้งแรก ฉีดยาปฏิชีวนะเข้ากล้ามเนื้อทุกวันเป็นเวลา 3 วัน ทำการตัดไหมออกในวันที่ 14 หลังจากการผ่าตัด (เทอดชัย และทัศนีย์, 2531)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved