บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 แพะ (goat)

แพะเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ruminants) เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม มีกีบเป็นคู่ เขากลวง การจำแนกทางสัตววิทยา แพะถูกจัดอยู่ในเผ่าพันธุ์ ดังต่อไปนี้ (บุญเสริม, 2546)

ชั้น (class) : แมมมาเลีย (Mammalia), สัตว์เลือดอุ่นเลี้ยงลูกด้วยนม

อันดับย่อย (suborder) : รูมิแนนเทีย (Ruminantia) เป็นสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีสี่กระเพาะ

วงศ์ (family) : โบไวดี (Bovidae) มีเขากลวงเป็นต้นว่า โค-กระบือ แพะ-แกะ

เผ่าพันธุ์ (tribe) : แคพรินี (Caprini) คือ พวกแพะ แกะ

สกุล (genus) : แคพรา (Capra) คือ แพะต่างๆ

แพะเป็นสัตว์เลี้ยงเก่าแก่ของมนุษย์ชาติที่ให้ประโยชน์ใช้สอยได้หลากหลาย เนื้อและนมใช้สำหรับบริโภค ส่วนหนังและขนใช้สำหรับทำเครื่องนุ่งห่ม เครื่องใช้ต่างๆ ส่วนมูลใช้ทำเป็นปุ๋ยสำหรับพืชที่ปลูก แพะเป็นสัตว์ที่สามารถกินอาหารได้หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นหญ้า ใบไม้ เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยวพืชผล เป็นต้นว่าส่วนของลำต้น เปลือก และฝักซึ่งสัตว์ประเภทอื่น เช่น สุกร สัตว์ปีกและมนุษย์นำสิ่งเหล่านี้ไปบริโภคได้จำกัดมาก นอกจากนี้แพะยังมีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีและการที่แพะมีขนาดตัวเล็กทำให้ไม่เปลืองเนื้อที่ในการเลี้ยงดู ข้อดีเด่นอีกประการหนึ่งของแพะคือ สามารถขยายพันธุ์ได้ดี ในเขตร้อนแพะสามารถสืบพันธุ์ได้ตลอดปีและมีอัตราการคลอดลูกแฝดบ่อยครั้งกว่าโคและกระบือ นอกจากนี้ยังมีระยะเวลาในการอุ้มท้องเพียง 5 เดือนทำให้แพะหลายตัวสามารถคลอดลูกได้สองครั้งภายในรอบหนึ่งปีแต่ส่วนมากให้ลูกได้สามครอกภายในสองปี (บุญเสริม, 2546)

แพะที่เลี้ยงกันอยู่ในปัจจุบันมีไม่ต่ำกว่า 300 พันธุ์ ในทวีปแอฟริกาและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะมีประมาณ 70 สายพันธุ์ ส่วนคาบสมุทรอินเดียซึ่งรวมอินเดีย ปากีสถานและบังคลาเทศมีประมาณ 22 พันธุ์ การจำแนกพันธุ์แพะมักจะถือตามหลักเกณฑ์ต่างๆ คือแหล่งกำเนิด การใช้ประโยชน์ ขนาดและน้ำหนักตัวตลอดจนลักษณะและความยาวหู พันธุ์แพะที่มีการเลี้ยงกันทั่วไปมีกันหลายพันธุ์ (ดังตาราง 1) โดยแบ่งเป็นพันธุ์เนื้อ พันธุ์นมและพันธุ์ขน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในปัจจุบันภาคเหนือของประเทศไทยนิยมเลี้ยงแพะพันธุ์แองโกลนูเบียนและซาเนนเป็นสัดส่วนที่มากที่สุด (วีรศักดิ์, 2550) ซึ่งแพะพันธุ์ซาเนน (Saanen) ได้ชื่อว่าให้นมสูงที่สุด มีสีขาวล้วน หน้าตรง หูตั้ง ขนาดตัวใหญ่ มีเต้านมใหญ่ มีทั้งพวกที่มีเขาและไม่มีเขาและมักจะมีติ่งที่ใต้คอ ถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ปัจจุบันนี้แพร่หลายไปยังประเทศต่างๆ (บุญเสริม, 2546) เกณฑ์การให้นมโดยทั่วไปประมาณ 220 กิโลกรัม ในช่วงการให้นม 200 วัน (วีรศักดิ์, 2550)

ตาราง 2.1 พันธุ์แพะที่สำคัญบางพันธุ์ในเขตร้อนและกึ่งร้อน แบ่งตามจุดประสงค์หลักของการเลี้ยง

วัตถุประสงค์หลัก	พันธุ์
นม (milk)	ซาเนน (Saanen) แองโกลนูเบียน (Anglo-Nubian) ดามาสคัส (Damascus) จามนาพารี (Jamnapari) บาร์บาริ (Barbari) ซูดานนูเบียน (Sudanese Nubian)
เนื้อ (meat)	บอร์ (Boer) จามนาพารี (Jamnapari) หม่าโถว (Ma t'ou) แคมบิง คัทจัง (Kambing Katjang) ฟิเจียน (Fijian)
หนัง (prolificacy)	มาลาบาร์ (Malabar) บาร์บาริ (Barbari) มาโถว์ (Ma t'ou) ดามาสคัส (Damascus)
หนังและขน (mohair skins)	แองโกร่า (Angora) มาราดิ (Maradi) หรือ เรดโซโคโต(Red sokoto) มูเบนดิ (Mubende)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Devendra and Burns (1970) และ Mackenzie (1970) อ้างโดยวีรศักดิ์ (2550)

แพะเป็นสัตว์ที่ถูกกล่าวขานกันว่ากินอาหารไม่เลือกแต่ความจริงแล้วแพะเป็นสัตว์ที่ค่อนข้างจะเลือกอาหาร แพะแต่ละตัวมีความชอบกินอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกัน แพะชอบกินพืชและหญ้าหลากหลายชนิดปนกันมากกว่าที่จะกินเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งอย่างเดียว โดยปัจจัยต่างๆที่มีบทบาทต่อการกินอาหารของแพะ (บุญเสริม, 2546) ได้แก่

- ขนาดร่างกายและความจุของกระเพาะรูเมน
- ลักษณะโครงสร้างของอาหาร รสชาติ และคุณภาพ
- การให้ผลผลิตของแพะ (การให้นม เนื้อ อุ้มท้อง)
- สภาพอากาศแวดล้อม
- ความถี่ของการให้อาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 สถานภาพการผลิตแพะในภาคเหนือของประเทศไทย

การเลี้ยงแพะในภาคเหนือส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงเพื่อบริโภคเนื้อแทบจะไม่มีการเลี้ยงเป็นการค้าในลักษณะเป็นฟาร์มใหญ่ การให้นมเป็นวัตถุประสงค์รองลงมา (วีรศักดิ์, 2550) อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มของจำนวนแพะและเกษตรกรผู้เลี้ยงเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆปี ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตาราง 2.2 จำนวนแพะ (ตัว) ของภาคเหนือตอนบนแยกเป็นจำนวนที่เลี้ยงและจำนวนเกษตรกร (ราย) แสดงเป็นรายจังหวัด

	2550		2551		2552	
จังหวัด	แพะ	เกษตรกร	แพะ	เกษตรกร	แพะ	เกษตรกร
เชียงราย	1,779	125	3,032	128	3,267	125
เชียงใหม่	4,204	96	1,942	131	1,975	1,612
พะเยา	395	16	395	20	614	44
น่าน	970	131	1,140	156	1,408	204
แพร่	284	13	332	13	143	15
แม่ฮ่องสอน	3,520	378	3,921	470	4,062	477
ลำปาง	1,228	29	1,405	34	830	24
ลำพูน	761	26	1,125	48	1,125	49
รวม	13,141	814	13,292	1,000	13,424	2,550

ที่มา : กรมปศุสัตว์ (2552)

2.3 ข้าวโพด (Indian corn หรือ maize)

ข้าวโพด (*Zea mays*) เป็นพืชตระกูลเดียวกับหญ้า มีลำต้นสูงโดยเฉลี่ย 2.5 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น 0.5-2.0 นิ้ว มีถิ่นกำเนิดในบริเวณนิวเม็กซิโก (แถบอเมริกาใต้) ปัจจุบันนิยมปลูกแพร่หลายในแถบอเมริกา แคนาดา ฯลฯ และสามารถปลูกได้ในสภาพที่มีภูมิอากาศแตกต่างกันมาก ข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์ เพราะสามารถนำมาเลี้ยงสัตว์ได้ทั้งต้น ใบและเมล็ด (พันทิพา, 2547)

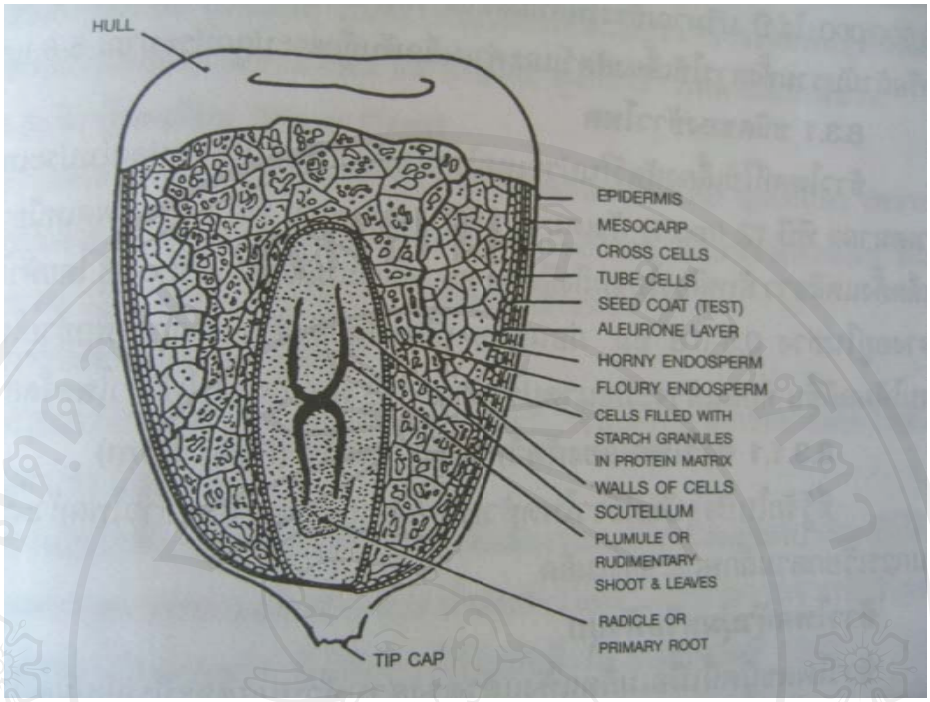
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในปี 2552 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 6.63 ล้านไร่ แหล่งเพาะปลูกที่สำคัญประกอบด้วย ภาคเหนือ 63% ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 19% และภาคกลาง 18% ปริมาณการผลิตในประเทศ 4.43 ล้านตัน ปริมาณการใช้ภายในประเทศ 3.89 ล้านตัน ปริมาณการส่งออก 1.08 ล้านตัน และมีปริมาณการนำเข้า 3.03 ล้านตัน (กรมการค้าต่างประเทศ, 2553) ปี 2553 มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 6.92 ล้านไร่ ผลผลิตรวม 4.43 ล้านตัน ผลผลิต เฉลี่ย 639 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับในปี 2554 พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ประมาณ 6-7 ล้านไร่ ผลผลิตรวมประมาณ 4.4 – 4.45 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 640 – 643 กิโลกรัม/ไร่ จังหวัดที่มีเนื้อที่ปลูกมาก 5 อันดับแรกคือ จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดเลย จังหวัดน่าน และจังหวัดตาก พันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกเป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ลูกผสมผลิตโดยบริษัทเอกชน เช่น พันธุ์ ซีพีดีเค-888 ไพโอเนียร์-3013 แปซิฟิค-983 คาร์กิล-919 และ เทพีวินัส-49 เป็นต้น(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)

2.4 เมล็ดข้าวโพด

เมล็ดข้าวโพดมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์คือเป็นแบบ caryopsis ที่มีเยื่อหุ้มผล (pericarp) ติดอยู่กับเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ testa) เรียกว่า hull เมล็ดประกอบด้วยคัพภะ (germ) เอนโดสเปิร์ม (Endosperm) คัพภะประกอบด้วยส่วนของแรดิเคิล (Radicle) พลูมูล (Plumule) ใบเลี้ยงที่ไม่มีการพัฒนา (epiblast) และเนื้อเยื่อที่กั้นระหว่างคัพภะกับเอนโดสเปิร์ม (scutellum) บริเวณรอบนอกของเอนโดสเปิร์มมีชั้น aleurone layer (กฤษดา, 2541) เมล็ดข้าวโพดแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนเปลือก (pericarp, hull หรือ bran) คิดเป็น 6% ส่วนของต้นอ่อนหรือคัพภะข้าวโพด (embryo หรือ germ) คิดเป็น12% และส่วนเนื้อ (endosperm) คิดเป็น 82% (พันทิพา, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 1.1 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าวโพด (พันทิพา, 2547)

Figure 1.1 Structure of corn seed

การใช้เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใช้ได้ทั้งเมล็ดทั้งในรูปแหล่งให้พลังงานและแหล่งเสริมโปรตีนซึ่งได้จากผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากอุตสาหกรรมแป้งข้าวโพด น้ำมันข้าวโพด และน้ำหวานจากข้าวโพด ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเหล่านี้มีหลายชนิด เช่น เมล็ดข้าวโพดบด (ground corn, cracked corn หรือ corn meal) ข้าวโพดมีคุณค่าทางอาหารประกอบด้วยแป้ง 65% เยื่อใยต่ำ มีพลังงานใช้ประโยชน์ได้สูง มีไขมัน 3-6% มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดไขมันเหลวในสัตว์ได้ โปรตีนรวม 8-13% (พันทิพา, 2547) นอกจากนี้คุณค่าทางโภชนะของเมล็ดข้าวโพดยังประกอบด้วย วัตถุแห้ง 89.01% ไขมัน 5.1% เถ้า 1.5% เยื่อใยที่ละลายในด่าง 17.3% (รำไพรและคณะ, 2548) อีกทั้ง Aisha *et al.*(2004) พบว่าเมล็ดข้าวโพดมีโปรตีนรวม 11.3-16.9% เยื่อใยรวม 1.3–2.2% เถ้า 1.0-2.0% คาร์โบไฮเดรท 74.7–81.1%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 วิธีการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

วิธีใช้ข้าวโพดลี้ยงสัตว์สามมารถใช้ได้หลายรูปแบบทั้งเป็นอาหารหยาบและอาหารข้น การใช้ในรูปอาหารหยาบคือ ใช้ต้น ใบ ซัง ทั้งสภาพสด แห้ง และหมัก ส่วนอาหารข้นใช้ได้ทั้งเมล็ดและผลิตผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการทำแป้งข้าวโพด น้ำมันข้าวโพด และน้ำหวานจากข้าวโพด ซึ่งผลิตผลพลอยได้เหล่านี้มีหลายชนิด เช่น รำข้าวโพด (corn bran) คอร์นฟีดมีล (Corn

feed meal) คอร์นเจิร์มเค้กหรือคอร์นเจิร์มมีล (Corn germ cake, Corn germ meal) คอร์นกลูเทนฟีด (Corn gluten feed) และ คอร์นกลูเทนมีล (Corn gluten meal) เป็นต้น โดยใช้เป็นแหล่งให้พลังงานและแหล่งเสริมโปรตีน ชนิดของข้าวโพดที่ใช้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (พันทิพา, 2547) ได้แก่

1. เมล็ดข้าวโพดบดหรือบีบแตก (ground corn, cracked corn หรือ corn meal)

โดยปกติหมายถึงเมล็ดข้าวโพดที่สีออกจากฝักแล้วนำมาบดหรือทำให้แตกออกก่อนบด ข้าวโพดต้องเลือกสิ่งแปลกปลอมออกให้เหลือไม่เกิน 4% สิ่งที่มักปนมาคือ ซังและเปลือกข้าวโพด การบดไม่ควรบดให้ละเอียดเกินไป เพราะจะมีลักษณะเป็นฝุ่นสัตว์ไม่ชอบกิน ข้าวโพดที่บดแล้วจะเก็บไว้ได้นานต้องมีความชื้นไม่เกิน 12% ข้าวโพดบดสามารถผสมอาหารได้ดีถึง 70-80% โดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ ถือว่าเป็นอาหารที่ดีมีไวตามินเอสูงมากแต่มีไวตามินบีรวมต่ำ ข้าวโพดบดแบบนี้มักนิยมบดใช้เองในฟาร์ม

แต่ในกรณีที่นำข้าวโพดบดมาร่อนเพื่อแยกเอาส่วนที่ละเอียดหรือมีขนาดเล็กออกไปแล้ว ส่วนที่เหลือจะมีขนาดใหญ่ จึงเรียกว่าข้าวโพดบดชนิดหยาบ (screened cracked corn, screened ground corn หรือ screened corn chop) ไม่ควรมีสิ่งแปลกปลอมมากเกิน 4% เช่นกัน

ในต่างประเทศ มีกรรมวิธีการผลิตที่สามารถแยกเอาส่วนของเปลือกนอกของเมล็ด (hull) และส่วนจุดงอกหรือคัพภะ (germ) ของเมล็ดข้าวโพดออกไปก่อนที่จะนำมาบดด้วย

2. ข้าวโพดบดทั้งฝัก (corn and cob meal หรือ ground ear corn)

ข้าวโพดบดลักษณะนี้ โดยปกติจะแกะเปลือกออกก่อนแล้วบดเมล็ดไปพร้อมกับซัง ซึ่งจะมีส่วนของซังติดมาตามธรรมชาติประมาณ 20% ทำให้เบาฟ่ามมีกากมากขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวโพดบด ซังข้าวโพดมีคุณค่าทางอาหารต่ำเพราะมีเยื่อใยสูง ย่อยได้ยาก การบดข้าวโพดทั้งฝักถ้าบดละเอียด (fine ground) จะต้องสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ได้ 67% อีก 33% ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ได้ แต่ชนิดบดหยาบ (coarse ground) ต้องผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ได้ทั้งหมด และผ่านเบอร์ 10 ได้ 50%

บางครั้งจะมีการบดข้าวโพดทั้งฝักโดยไม่แกะเปลือกออก (ear corn chops with husk) กรณีนี้จะมีเยื่อใยมากขึ้นคุณค่าทางอาหารจะน้อยกว่าที่ได้กล่าวมาแล้ว

ตามปกติข้าวโพดทั้งฝักจะสามารถเก็บไว้ในโรงเก็บ (corn-crip silo) ได้นานกว่าข้าวโพดที่บดแล้ว เพราะฝักข้าวโพดที่ไม่ได้แกะเปลือกออกจะป้องกันมอด (weevil) ได้ดี ข้าวโพดที่เก็บควรมีความชื้นไม่เกิน 14% ในขณะที่ระยะปลิดฝักมีความชื้นประมาณ 16-30% ข้าวโพดบดทั้งฝักนิยมใช้เลี้ยงโคโดยเสริมอาหารโปรตีน ไวตามิน แร่ธาตุใส่รางแยกให้กินต่างหาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ผลผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมข้าวโพด

ผลิตผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมข้าวโพดมีหลายชนิด (พันทิพา, 2547) ดังนี้

3.1 รำข้าวโพด (corn bran)

หมายถึง ส่วนเปลือกนอกสุด (hull) ที่หุ้มเนื้อแป้งของเมล็ดข้าวโพดและส่วนที่ติดกับฝัก (tip cap) อาจมีส่วนของแป้งจากบริเวณที่จะงอกเป็นต้นอ่อน คือ คัพภะ (germ) ติดมาด้วยเล็กน้อย หรือไม่มีเลยมักนำไปผสมกับกลูเทน (Gluten) เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์เรียกว่า คอร์นกลูเทน (Corn gluten feed)

3.2 คอร์นฟีดมีล (Corn feed meal)

เป็นส่วนของเมล็ดข้าวโพดที่ถูกบดละเอียดมากจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงได้ น่าจะเรียกได้ว่า ข้าวโพดป่นละเอียด

3.3 คอร์นเจิร์มเค็กหรือคอร์นเจิร์มมีล (Corn germ cake, Corn germ meal)

เป็นผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันข้าวโพดที่สีแบบแห้ง ประกอบด้วยส่วนที่บดแล้วของคัพภะและส่วนที่เป็นแป้งที่ถูกสกัดเอาน้ำมันออกแล้ว ในกรณีที่ยังอัดเป็นแผ่น เรียกว่า คอร์นเจิร์มเค้ก (Corn germ cake) ถ้านำมาป่นเรียกว่า คอร์นเจิร์มมีล (Corn germ meal) ในภาษาไทยน่าจะเรียกเป็นกากคัพภะข้าวโพด เพราะวิธีการผลิตคล้ายกับกากถั่วเหลืองหรือกากถั่วลิสง เป็นผลิตผลพลอยได้จากการทำข้าวโพดป่น (corn meal) คอร์นกริทส์ (Corn grits) โฮมินีฟีด (Hominy feed) และอื่นๆ

ส่วนกากข้าวโพดอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า คอร์นออยล์เค้ก (Corn oil cake) หรือ คอร์นออยเฟลคส์ (Corn oil flakes) เป็นกากที่เหลือจากการสกัดเอาน้ำมันออกแล้วโดยข้าวโพดที่นำมาสกัดน้ำมันนี้ได้ผ่านกรรมวิธีแบบเปียกจากการทำอุตสาหกรรมแป้งข้าวโพด น้ำหวานจากข้าวโพด (corn syrup) ซึ่งอาจใช้วิธีสกัดน้ำมันแบบใช้แรงอัดหรือสารเคมีละลายก็ได้ ส่วนของคอร์นออยล์เค้กนั้นเมื่อบดแล้วเรียกว่า คอร์นออยล์มีล (Corn oil meal) หรือกากข้าวโพดป่นนั่นเอง ซึ่งมีโปรตีนต่ำ

3.4 คอร์นกลูเทนฟีด (Corn gluten feed)

หมายถึงข้าวโพดที่เหลือจากการสกัดเอาแป้ง กลูเทนและคัพภะออกเป็นส่วนใหญ่โดยกระบวนการสีแบบเปียกจากโรงงานอุตสาหกรรมทำแป้งข้าวโพดหรือน้ำหวานจากข้าวโพด อาจมีหรือไม่มีส่วนของกากข้าวโพดที่หมักหรือคอร์นเจิร์มมีลปนอยู่ มีโปรตีนประมาณ 21-23% แต่มีเยื่อใยสูงเพราะมีส่วนของรำข้าวโพดมาผสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5 คอร์นกลูเทนมีล (Corn gluten meal)

เป็นของเหลือจากเมล็ดข้าวโพดที่ถูกสกัดเอาแป้งและคัพภะออกไปแล้วเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังแยกเอาส่วนที่เป็นรำข้าวโพดออกโดยกระบวนการสีแบบเปียก ทั้งนี้ได้มาจากอุตสาหกรรมทำแป้งข้าวโพด หรือน้ำหวานข้าวโพด คอร์นกลูเทนมีลที่เข้มข้นมากมีโปรตีนถึง 60% ส่วนที่จางจะมีโปรตีนประมาณ 41% ดังนั้นจึงเป็นแหล่งเสริมโปรตีนในสัตว์ได้ดีโดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง สามารถใช้แทนที่อาหารโปรตีนจากพืชได้ถึง 50% แต่ควรใช้ร่วมกับอาหารโปรตีนที่ได้จากสัตว์ เช่น ปลาป่น และควรเสริมกรดอะมิโนไลซีน ทริปโตเฟนและวิตามินบี 2 ให้ครบตามความต้องการของสัตว์

3.6 ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแป้งและน้ำมันข้าวโพด

ในการทำแป้งข้าวโพดกระบวนการสีข้าวโพดมี 2 แบบ (พันทิพา, 2547) คือ

1. กระบวนการสีแบบแห้ง (dry milling)

จะใช้วิธีพ่นน้ำหรือไอน้ำร้อนเข้าไปจนเมล็ดข้าวโพดมีความชื้นประมาณ 20% นำเมล็ดไปบดและแยกเอาบริเวณที่เป็นคัพภะ (germ) ออก ส่วนที่เหลือจะเป็นข้าวโพดบด (corn meal) ซึ่งจะถูกนำมาบดจนละเอียดกลายเป็นแป้งข้าวโพด ส่วนที่เป็นคัพภะจะถูกนำไปสกัดเอาน้ำมันข้าวโพด (corn oil) กากที่เหลือจากการสกัดน้ำมันเรียกว่า กากข้าวโพดป่น (corn oil cake meal, corn germ meal) ซึ่งนำมาเลี้ยงสัตว์ได้เป็นอย่างดี

2. กระบวนการสีแบบเปียก (wet milling)

นำเอาเมล็ดข้าวโพดที่บดแล้วแช่ในน้ำอุ่นและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) เป็นเวลา 2 วัน ส่วนของเปลือกนอกสุดของเมล็ด (hull) และส่วนของบริเวณที่จะงอกเป็นต้นอ่อนจะถูกแยกออกมาและนำไปอัดน้ำมันได้น้ำมันและกาก ซึ่งเรียกว่า กากข้าวโพดป่น ส่วนข้าวโพดที่แยกเอาส่วนเปลือกและส่วนของคัพภะออกแล้วจะถูกนำไปทำให้แห้งแล้วบดเป็นแป้งข้าวโพด (corn flour)

ในการทำแป้งข้าวโพดโดยใช้กระบวนการสีแบบเปียก (wet milling process) นอกจากจะได้แป้งข้าวโพดตามที่ต้องการแล้ว ยังมีผลิตผลพลอยได้ที่สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ได้โดยแยกสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่สีแบบเปียกได้ดังนี้

แป้งข้าวโพด (corn starch)	67.2%
Corn gluten feed	19.6%
Corn gluten meal	5.7%
Corn germ	7.5%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Abdelqader *et al*. (2009) ทำการศึกษาผลของการใช้คัพภะข้าวโพดจากกระบวนการผลิตเอทานอล (Ethanol) เป็นแหล่งของพลังงานในอาหารข้นในโคนมจำนวน 16 ตัว ซึ่งได้รับอาหารเสริมคัพภะข้าวโพดในระดับ 7, 14 และ 21 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้เสริม พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake) ของโคที่ได้รับการเสริมคัพภะข้าวโพด 14 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งในอาหารข้นมีค่าสูงที่สุด และการเสริมคัพภะข้าวโพดที่ระดับ 7 และ 14 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งเหมาะสำหรับเป็นแหล่งพลังงานจากไขมันสำหรับโคให้นม นอกจากนี้ Martin *et al*. (2005) ซึ่งศึกษาผลของการใช้คัพภะข้าวโพดเป็นอาหารข้นสำหรับแม่โคเนื้อต่อประสิทธิภาพการผลิต โดยใช้คัพภะข้าวโพดที่ระดับโปรตีน 14% จากการคำนวณเปรียบเทียบกับการใช้ข้าวโพดบดแห้งที่ระดับโปรตีน 16% ให้แม่โคกินเป็นระยะเวลา 45 วันก่อนและหลังคลอด พบว่าน้ำหนักตัวและคะแนนความสมบูรณ์พันธุ์ของแม่โคไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการทดลอง อีกทั้งน้ำหนักแรกคลอดและน้ำหนักหย่านมของลูกโคก็ไม่แตกต่างกัน

2.6 การศึกษาคุณค่าทางโภชนะในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยวิธี *In vitro* technique

การศึกษาคุณค่าทางโภชนะในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยวิธี *In vitro* technique นับวันยิ่งมีความสำคัญมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการหาค่าประสิทธิภาพการย่อยได้โดยทดลองกับตัวสัตว์จริง (*In vivo* digestibility) หรือวิธีการแบบ conventional digestion เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายสูง ส่วนวิธีการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารโดยใช้องค์ประกอบทางเคมี (chemical analysis) ไม่สามารถใช้เป็นข้อมูลที่ดีในการหาค่าการย่อยได้ของอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Steingass and Menke, 1982) การวัดการย่อยได้แบบ *In vitro* มักคำนวณจากปริมาณวัตถุแห้งที่หายไป (*In vitro* dry matter disappearance, IVDMD) ซึ่งทำโดยการ incubate ตัวอย่างอาหารด้วยของเหลวจากกระเพาะรูเมน (Rumen fluid) และสารละลายบัฟเฟอร์ (buffer solution) วิธีนี้ริเริ่มครั้งแรก โดย Waentig and Gierisch (Hungate, 1966) ค่าที่ได้พบว่าต่ำกว่าค่าที่ทดลองกับตัวสัตว์โดยตรง (*In vivo*) 50% ซึ่งเป็นผลมาจากเรื่องสภาพแวดล้อมและเวลาที่ใช้ในการบ่มต่อมา McDougall (1948) ได้ค้นพบในเรื่องขององค์ประกอบของแร่ธาตุในน้ำลายแกะและต่อมาได้มี การใช้ buffer ของ McDougall เข้ามาศึกษาในเรื่องของ *In vitro* digestibility ซึ่งได้ผลดี Wamer (1956) ได้ตั้งเกณฑ์สำหรับการศึกษา *In vitro* ไว้คือ 1) ต้องรักษาประชากรของจุลินทรีย์ให้เป็นปกติ 2) ต้องรักษาอัตราการย่อยให้เป็นปกติ และ 3) ต้องสามารถนำไปสู่การทำนายค่า *In vitro* ได้ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการย่อยได้แบบ *In vivo* และ *In vitro* นี้มีความสำคัญมากโดย Baumgardt *et al*. (1958) ได้เป็นคนแรกที่ได้หาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองนี้ ในการทำนายการย่อยได้ของวัตถุแห้งในพืช แต่วิธีการนี้ได้ค่าที่ไม่ค่อยแน่นอนนัก และไม่สามารถแช่อาหารไว้เป็นเวลานานได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อมา Walker (1959) ได้ศึกษาในหลอดแก้ว (all glass system) พบว่าได้ค่าที่มีความแน่นอนดีและค่า IVDMD ที่ได้กับการย่อยได้ของวัตถุแห้งในตัวสัตว์ (*In vitro*) มีสหสัมพันธ์กันสูง (r = 0.93)

Tilley and Terry (1963) ได้พัฒนาวิธีการแบบ 2 ขั้นตอน (Two-stage method) ขึ้น วิธีนี้ถือเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยหลักการนี้ก็คือ การหมักตัวอย่างอาหาร 0.5 กรัม กับของเหลวจากกระเพาะรูเมนจำนวน 10 มิลลิลิตร และสารละลายบัฟเฟอร์จำนวน 40 มิลลิลิตร ใน flask เล็กๆภายใต้สภาพไร้ออกซิเจนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วย mercuric chloride จากนั้นทำการปั่นแยกกากตะกอนออกแล้วย่อยต่อไปด้วย acid-pepsin อีก 48 ชั่วโมง ปั่นแยกเอาตะกอนออกอีกครั้ง จากนั้นทำให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหา IVDMD ซึ่งสรุปได้ว่าค่าที่วิเคราะห์โดยวิธีการนี้มีความแน่นอนและความถูกต้องดี สามารถใช้ทำนายการย่อยได้ของวัตถุแห้งแบบ *In vitro* ได้ดี วิธีการแบบนี้มีข้อดีในแง่ความถูกต้องแต่ก็มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ต้องใช้สัตว์เจาะกระเพาะเพื่อเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมนและใช้เวลามากคือ หมัก 48 ชั่วโมง และย่อยด้วยเป็ปซิน (Pepsin) อีก 48 ชั่วโมง

2.7 การศึกษาคุณค่าทางโภชนะในอาหารโดยวิธี *In vitro* gas production technique

นอกจากวิธีแบบ *In vitro* ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ได้มีผู้ที่พยายามคิดค้นหาเทคนิควิธีการต่างๆ มาวัดการย่อยได้โดยอาศัยผลผลิตที่เกิดขึ้นคือ กรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) และแก๊สที่เกิดขึ้น คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแก๊สมีเทน (CH_4) โดย Menke *et al.* (1979) และ Menke and Steingass (1988) ได้พัฒนาวิธีการ *In vitro* gas production techniques โดยยึดพื้นฐานคล้ายคลึงกับวิธีการที่เสนอโดย Tilley and Terry (1963) แต่ต่างกันที่วิธีการเดิมเป็นการวัดปริมาณวัตถุแห้งหรืออินทรีย์วัตถุที่ถูกย่อยได้และหายไป แต่วิธีการใหม่นี้เป็นการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดจากการหมักสารตั้งต้นเพื่อใช้ทำนายค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (digestible organic matter, DOM) และยังทำให้ทราบถึงพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) ได้ด้วย ซึ่งมีข้อดีที่เหนือกว่าวิธีการเดิมหลายประการเพราะทำได้สะดวกและรวดเร็ว อีกทั้งได้ข้อมูลที่มากกว่าในการประเมินคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์โดยมีหลักการคือ การบ่มตัวอย่างอาหารประมาณ 0.2 กรัมวัตถุแห้ง กับของเหลวจากกระเพาะรูเมนใส่ลงในหลอดทดลอง (glass syringe) ขนาด 100 มิลลิลิตร นำไปบ่มในอ่างน้ำอุ่นปรับอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อ่านปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น นำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการและนำค่า crude protein, crude fat และ total ash ในอาหารไปใช้ในการทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) ดังสมการ (Menke and Steingass, 1988)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารหยาบ (roughage)

OMD (%) = 15.38 + 0.8453GP + 0.0595CP + 0.0675ash

ME (MJ/kg DM) = 2.20 + 0.136GP + 0.0057CP + 0.0002859EE^2

NE_L (MJ/kg DM) = 0.54 + 0.0959GP + 0.0038CP + 0.0001733EE^2

อาหารข้น (concentrate)

OMD (%) = 9.00 + 0.9991GP + 0.0595CP + 0.0181ash

ME (MJ/kg DM) = 1.06 + 0.157GP + 0.0084CP + 0.022EE – 0.0081Ash

NE_L (MJ/kg DM) = -0.36 + 0.1149GP + 0.0054CP + 0.0139EE – 0.0054Ash

ปริมาณแก๊สที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อตัวอย่างอาหารที่ถูกบ่มด้วยวิธีการนี้ จะมีค่าสหสัมพันธ์อย่างสูงกับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (digestibility organic matter, DOM) โดยมีค่า r = 0.96 และ RSD = 19 กรัมต่อกิโลกรัม บางทีมีวิธีการเรียกตามสถาบันที่คิดค้นวิธีการนี้ขึ้นมาว่า Hohenheim gas production technique ซึ่งวิธีการนี้จะมีความแน่นอนมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ เช่น Two-stage method ตามวิธีการเดิมของ Tilley and Terry (1963) เป็นต้น (Menke *et al*., 1982)

ค่าสัมประสิทธิ์ของการย่อยได้ที่หาได้โดยวิธีการนี้นับว่ามีความสะดวก รวดเร็ว และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีการอื่นๆเพราะสามารถทำได้ครั้งละหลายตัวอย่าง จึงนิยมใช้กันมากในการหาค่าการย่อยได้ในอาหารหยาบโดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อประโยชน์ในแง่การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหาร นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าค่าการย่อยได้แบบ *In vitro* นี้มีความสัมพันธ์กับค่าการย่อยได้จริง (true digestibility) เพราะไม่มีอิทธิพลของ faecal metabolic lost เข้ามาเกี่ยวข้อง (Menke *et al*. 1979)

การศึกษาการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ (*In vitro*) โดยวิธีการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นอีกวิธีการที่ได้รับการนิยม โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่ออาหารถูกบ่มในกระเพาะหมักจะได้ผลผลิต ซึ่งมีสหสัมพันธ์กับการย่อยได้ของอาหารในโคนม ลักษณะของการเกิดแก๊สภายในกระเพาะหมักนั้น Beuvink and Kogut (1993) ได้อธิบายไว้ว่าแก๊สที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาดังต่อไปนี้

1. ระยะ initial phase ระยะนี้เป็นระยะที่แก๊สเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากอาหารส่วนที่ไม่ละลายในทันทีแต่จะถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายอย่างช้าๆ ด้วยกระบวนการ hydration และ colonization
2. ระยะ exponential phase แก๊สจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะนี้ เนื่องจากอาหารส่วนที่ละลายได้ทันทีในกระเพาะหมักถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยอย่างรวดเร็ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ระยะ asymptotic phase เป็นระยะซึ่งอาหารที่ไม่ละลายทันทีจะถูกย่อย แต่จะย่อยได้น้อยและกระบวนการเกิดขึ้นอย่างช้า

2.8 การศึกษาจลน์ศาสตร์การหมักของอาหารในกระเพาะรูเมน (kinetic of fermentation) และการทำนายการกินได้ (voluntary dry matter intake, VDMI) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการวัดการย่อยได้แบบ *In vitro* gas production ไปในหลายด้านด้วยวิธีการนี้สามารถนำมาใช้ในการทำนายปริมาณการกินได้อย่างอิสระ (Voluntary dry matter intake, DMI) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ เนื่องจากอัตราและขอบเขตของสารตั้งต้นที่ถูกหมักนั้นสามารถวัดได้ง่ายโดยการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น (Kibbon and Ørskov, 1993 and Khazaal *et al*., 1995)

Khazaal *et al*. (1993) ได้ใช้วิธีการของ Menke *et al*. (1979) ในการวัดค่าการเกิดแก๊สที่เวลา 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง และใช้สมการ exponential คือ $P = a + b\ (1\text{-}e^{-ct})$ เพื่อศึกษาจลศาสตร์ของการหมักในกระเพาะส่วนหน้า (Kinetic of fermentation) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้สมการ multiple regression ร่วมด้วยค่าที่ได้จะมีความถูกต้องแน่นอนสูง สำหรับการทำนายปริมาณการกินได้และค่าความสามารถในการย่อยได้เป็น $R^2 = 0.63$ และ $R^2 = 0.78$ และค่าการย่อยได้จากวิธีการแบบ nylon bag เป็น $R^2 = 0.77$ และ $R^2 = 0.89$ และได้สรุปว่าวิธีการ *In vitro* gas production นี้มีประสิทธิภาพดี ซึ่งไม่เพียงแต่สามารถใช้ในการทำนายการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในอาหารแล้วยังสามารถใช้ทำนายปริมาณการกินได้ เช่นเดียวกับวิธีการแบบ nylon bag และ Blümmel and Ørskov (1993) กล่าวว่าวิธีการแบบ *In vitro* gas production technique นอกจากจะเป็นวิธีการที่เพิ่มความแน่นอนในการทำนายค่าต่างๆเพิ่มเติมจากค่าที่ได้จากวิธีการแบบ nylon bag แล้วทั้งสองวิธียังสามารถใช้อธิบายหรือทำนายค่า digestible dry matter intake (DDMI) และอัตราการเจริญเติบโต (growth rate, GR) ได้ถูกต้องถึง 90 เปอร์เซ็นต์

ส่วน Blümmel *et al*. (1997) อธิบายว่าขบวนการหมักในกระเพาะรูเมนแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือช่วงแรกเป็นส่วนที่สามารถละลายได้ง่ายหรือละลายได้ทันทีจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วและละลายหมดก่อน หลังจากนั้นจะหยุดการย่อยสลายและกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ช่วงที่สองเกิดขึ้นหลังจากที่ส่วนที่ละลายได้ง่ายได้ละลายหมดแล้ว จะเกิดระยะพักตัวหรือเรียกว่า lag time จากนั้นส่วนที่ไม่ละลาย (insoluble part) จะถูกหมักย่อยต่อไปเส้นกราฟจึงสูงขึ้นอีกครั้ง

Van Milgan *et al.* (1991) กล่าวว่า ส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ (soluble carbohydrate) ในพืชอาหารสัตว์อาจถูกหมักย่อยได้ โดยทันทียิ่งส่วนที่ถูกขบวน hydration และ colonization โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนด้วยแล้ว จะทำให้อัตราการหมักย่อยเพิ่มขึ้นอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากจุดนี้เองจึงได้มีการนำเอาสมการ exponential มาใช้ในการประเมินคุณค่าของอาหาร (Ørskov and McDonald, 1970, Krishnamoorthy *et al*., 1991)

Piva *et al.* (1988) อ้างโดย Khazaal *et al*. (1993) ได้ศึกษาการย่อยได้ของหญ้าแห้ง พืช อาหารสัตว์ และหญ้าชนิดต่างๆ จำนวน 41 ตัวอย่าง โดยใช้วิธีการวัดแก๊สด้วยการบ่มตัวอย่างอาหารมากกว่า 24 ชั่วโมง และใช้ Sigmoidal model ในการอธิบายจลศาสตร์ของขบวนการหมัก และได้รายงานไว้ว่ามีความสัมพันธ์แบบผกผันเกิดขึ้นในการวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นกับค่าการย่อยได้แบบ *In vivo* หรือ nylon bag degradation โดยมีค่าต่ำลงส่วน Blummel and Ørskov (1993) ได้พัฒนาวิธีการหาการย่อยได้โดยวิธีแบบ gas test นี้ด้วยการอ่านค่าการเกิดแก๊สอย่างง่ายที่ชุดเวลาที่เลือกและใช้สมการ exponential คือ $P = a + b (1 - e^{-ct})$ เมื่อกำหนดให้ P เป็นค่าวัตถุแห้งที่หายไปที่เวลา t และ a, b และ c เป็นค่าคงที่ในสมการที่เสนอโดย Ørskov and McDonald (1979) และ Ørskov and McDonald (1981) เพื่ออธิบายถึงจลศาสตร์ในการหมักเช่นเดียวกับ Khazaal *et al.* (1993) และยังได้อธิบายว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นทั้งหมด (a + b) จากตัวอย่างฟางพืช 10 ชนิด มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DMI) ในสมการ multiple regression (r = 0.88), digestible drymatter intake (r = 0.93) และอัตราการเจริญเติบโต (growth rate, r = 0.95) เมื่อทดลองในโคขุน

แต่ในการศึกษาของ Khazaal *et al*. (1993) ที่ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแบบ *In vitro* gas production กับ nylon bag technique ของตัวอย่างหญ้าชนิดต่างๆ ที่ระยะตัดต่างๆเพื่อใช้ในการทำนายค่า *In vivo* digestibility และทำนายปริมาณการกินได้อย่างอิสระในแกะในการทดลองนี้ได้สรุปว่า ในการทำนายปริมาณการกินได้ของอาหารและการย่อยได้ที่ปรากฏ (apparent digestibility) จะค่อนข้างมีความแน่นอน (accuracy) เมื่อใช้วิธีการแบบ nylon bag มากกว่าที่จะใช้วิธีแบบ *In vitro* gas production แต่อย่างไรก็ตามหากมีการเลือกใช้วิธีแบบ *In vitro* gas production technique ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำได้สะดวกและรวดเร็ว เพื่อให้ได้ผลที่มีความแน่นอนควรจะมีการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับห้องปฏิบัติการอื่นๆ ด้วย

2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง *In vitro* gas production และ *In vitro* microbial biomass yield

Beuvink and Spoelstra (1992), Blümmel and Ørskov (1993), Blümmel *et al*. (1997) ได้อธิบายและพิสูจน์ให้เห็นว่า นอกจากปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากขบวนการหมักสารตั้งต้นด้วยของเหลวจากกระเพาะรูเมนแล้วยังมีผลต่อการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ (short chain fatty acid) และยังเป็นความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นกับประชากรของจุลินทรีย์ (microbial biomass) ด้วย อย่างไรก็ตามขนาดประชากรของจุลินทรีย์และการเมทาบอลิซึมของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จุลินทรีย์อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาในการหมักอาหาร (Krishnamoorthy *et al*., 1991)

Blümmel *et al*. (1994) พบว่า อัตราส่วนของสารตั้งต้นที่ถูกย่อยได้อย่างแท้จริง (มิลลิกรัม) ต่อปริมาณแก๊สทั้งหมดที่เกิดขึ้น (มิลลิลิตร) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์ (microbial biomass yield) และยังพิสูจน์ให้เห็นว่า ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นไม่สหสัมพันธ์กับการย่อยได้ของอาหารโดยตรง เพราะเมื่ออาหารถูกย่อยไปนั้นไม่ได้เกิดเฉพาะแก๊สเท่านั้น แต่เกิดกรดไขมันระเหยได้หรือที่เรียกว่า กรดไขมันสายสั้น และจุลินทรีย์ ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นนี้มีสหสัมพันธ์อย่างสูงกับกรดไขมันระเหยได้ แต่เป็นปฏิภาคผกผันกับปริมาณจุลินทรีย์ เนื่องจากแก๊สเป็นส่วนของพลังงานในอาหารที่สูญเสียไปโดยไม่ได้ประโยชน์ ถ้าอาหารถูกย่อยได้มากย่อมเกิดพลังงาน (ATP) ที่จะนำไปใช้ในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์มาก แต่ถ้าเกิดแก๊สมากย่อมเหลือพลังงานที่จะนำไปสร้างเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ได้น้อย ปกติเราต้องการปริมาณจุลินทรีย์มากเพราะสัตว์สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นการเกิดแก๊สมากจึงไม่ได้แสดงถึงคุณค่าของอาหารอย่างแท้จริง ดังที่ได้เคยตั้งสมมติฐานไว้แต่เดิม

Blümmel and Ørskov (1993) อธิบายเสริมว่าค่าการย่อยได้ปรากฏที่ได้จากการวัดค่าการเกิดแก๊สอาจจะมีค่ามากกว่าปกติ เนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ Secondary fermentation ของจุลินทรีย์ในแต่ละรุ่นภายในระบบเป็นผลทำให้เกิดปริมาณแก๊สมาก สามารถแก้ไขได้โดยใช้เวลาในการบ่มอาหารที่สั้นลงเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการบ่มที่ 24 ชั่วโมง น่าจะให้ผลที่ดีกว่า

2.10 การศึกษาการสลายตัวของโภชนะภายในกระเพาะหมักโดยวิธีใช้ถุงไนล่อน (nylon bag technique)

การศึกษาเพื่อประเมินการย่อยได้ของโภชนะภายในกระเพาะหมักโดยการใช้ถุงไนล่อน *(In situ/In sacco)* เป็นวิธีการศึกษาการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการที่นิยมกันอย่างกว้างขวางเพราะเป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย มีค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก สามารถทำได้โดยการนำตัวอย่างอาหารที่ต้องการทดสอบใส่ลงในถุงผ้าแล้วนำไปแช่ไว้ในกระเพาะหมักของโคนม ผู้ที่ทำการศึกษาเป็นคนแรกคือ Quin *et al*. (1938) โดยใช้ถุงที่ทำจากผ้าไหม (cylindrical bags) ทดลองในแกะที่ผ่าตัดสอดท่อ cannula ที่กระเพาะหมักข้อมูลที่ได้จากวิธีการนี้สามารถนำไปใช้อธิบายลักษณะการย่อยสลายของเยื่อใยและโปรตีนหยาบในอาหารได้ และยังใช้เปรียบเทียบวัตถุดิบอาหารสัตว์เพื่อใช้ในการประกอบสูตรอาหารด้วย (Huntington and Givefis, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการใช้ถุงไนล่อนสามารถวัดการสลายตัวของโภชนะได้โดยตรงรวมทั้งการบ่ม (incubate) อาหารในกระเพาะหมักที่เวลาต่างกัน สามารถใช้อธิบายเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความสามารถในการสลายตัวของโภชนะได้ Ørskov and McDonald (1979) รายงานว่ามีสองวิธีการที่อธิบายเรื่องการสลายตัวของโภชนะในกระเพาะหมักนั่นคือ การวัดปริมาณอาหารที่ผ่านเข้าไปยังกระเพาะแท้ (abomasum) หรือการบ่มอาหารในกระเพาะหมัก สำหรับวิธีการแรกมีความลำบากในการรักษาแผลสัตว์ทดลองเพราะต้องใช้สัตว์เป็นเวลานานและต้องระมัดระวังเรื่องการแยกจุลินทรีย์ออกจากอาหาร

วิธีการวัดการสลายตัวของโภชนะด้วยการใช้ถุงไนล่อนเป็นวิธีการวัดค่าโภชนะ เช่น วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุหรือโปรตีนที่หายไป ณ ช่วงเวลาต่างๆ โดยวัดจากปริมาณที่เหลืออยู่ในถุงไนล่อนโดยมีหลักการคืออาหารส่วนที่หายไปนั่นคือส่วนที่สลายตัว (degraded fraction) และส่วนที่เหลืออยู่ในถุงคือส่วนที่ไม่สลายตัว (undegraded fraction) ดังนั้นเมื่อนำค่าทั้งสองส่วนนี้มาคำนวณก็จะได้ค่าโภชนะที่สลายตัวที่ช่วงเวลาต่างๆ ได้และสามารถคำนวณอัตราการสลายตัวได้จากสมการ $P = a + b (1 - e^{-ct})$

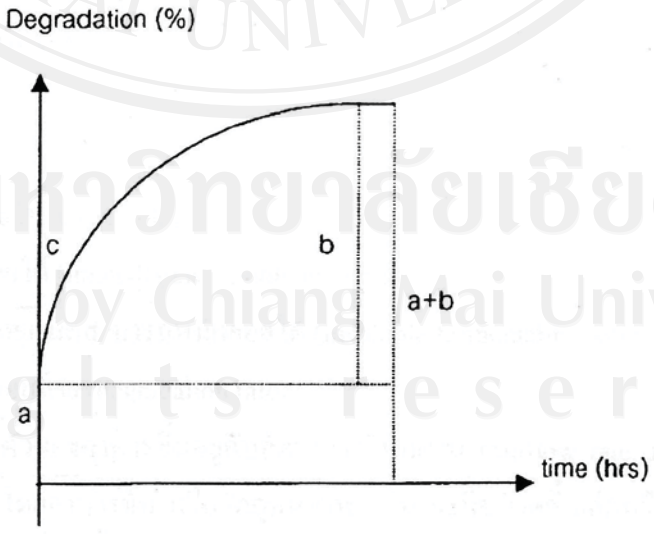
เมื่อ P = โภชนะที่หายไปเวลา t (degradation at time t)

a = ส่วนที่ละลายได้ (immediately soluble material)

b = ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถย่อยได้ (insoluble fermentable martial)

$e = \log_{10}$

c = อัตราการสลายตัวของ b



ภาพ 1.2 การย่อยสลายอาหารในกระเพาะรูเมน (Ørskov, 1988)

Figure 1.2 Degradation of feed in the rumen

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะเห็นได้ว่าวิธีการนี้นอกจากจะบอกค่าการละลาย (A) และค่าการสลายตัวสูงสุด (A+B) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณการสลายตัวของอาหารในกระเพาะหมักแล้วยังช่วยให้ทราบอัตราการสลายตัว (c) ซึ่ง ทำให้ทราบอัตราเร็วและปริมาณอาหารที่เคลื่อนที่จากกระเพาะหมักไปสู่ลำไส้เล็ก อย่างไรก็ตามอาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักทั้งหมดแต่จะเคลื่อนที่ออกจากกระเพาะหมักในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (rate of passage) ขึ้นกับปริมาณอาหารที่สัตว์กินเข้าไป ชนิดของอาหารและปัจจัยอื่นๆ

วิธีการใช้ถุงไนล่อนอาจมีความไม่แน่นอนเมื่อใช้ประเมินค่าการย่อยได้ของอาหารหยาบที่มีการเสริมด้วยอาหารข้นหรือโปรตีนเพราะในวัตถุดิบเหล่านั้นมีค่าการละลายได้ (solubility) สูง จึงสามารถผ่านออกจากถุงก่อนเกิดการหมักได้และไม่สามารถใช้ประเมินค่าในอาหารที่มีปริมาณของเยื่อใยที่ละลายในกรดสูงกว่า 25% (Dewhuest *et al*., 1995)

Broderrick *et al*. (1991) รายงานว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาการย่อยได้ในตัวสัตว์ *(In vivo)* การประเมินค่าการสลายตัวของโภชนะด้วยวิธีใช้ถุงไนล่อนอาจให้ค่าที่ไม่สมบูรณนักแต่วิธีการนี้สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดเวลาและใช้เครื่องมืออุปกรณ์น้อย

2.11 การทำนายปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake, DMI) ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ (digestible dry matter intake, DDMI) อัตราการเจริญเติบโต (growth rate) และดัชนีบ่งชี้คุณภาพ (index value)

การทำนายปริมาณอาหารที่โคกินได้ถือเป็นเป้าหมายสำคัญในระบบการให้อาหาร โดยที่การกินได้ของโคมีผลจากการเคลื่อนที่ของ digesta ออกจากกระเพาะหมักขึ้นอยู่กับการย่อยอาหารและตัวโคที่จะลดปริมาณอาหารที่อยู่ในกระเพาะหมัก โดยทำให้มีขนาดเล็กลงและเดินทางผ่านกระเพาะหมักไปยังทางเดินอาหารส่วนต่อไป ส่วนประกอบของอาหารก็มีความสำคัญเช่นกัน ตัวอย่างเช่นในอาหารข้นที่มีคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างของพืชสูงจะถูกหมักและสลายตัวได้ช้ากว่าอาหารประเภทอื่นๆ สำหรับเยื่อใยที่ละลายในด่างเป็นตัวชี้วัดได้ว่ากระบวนการหมักและสลายตัวของอาหารเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ได้เช่นกันและส่วนที่ไม่ถูกย่อยทำให้ช่องว่างภายในกระเพาะหมักเหลือน้อยลงซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่กินและเวลาในการเคี้ยวซึ่งเป็นกลไกสำหรับลดขนาดของอาหารให้เล็กลงให้สามารถเดินทางผ่านทางเดินอาหารได้ต่อไป มีความเป็นไปได้ที่ลักษณะการย่อยอาหารในกระเพาะหมักส่งผลให้อาหารส่วนที่เหลือมีความสัมพันธ์กับการกินได้ของโคนมและสามารถนำไปทำนายปริมาณอาหารที่โคนมกินได้อีกด้วย (Carro *et al*., 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Ørskov *et al.*, (1998) ได้รายงานว่าค่า A, B และ c ที่คำนวณได้จากสมการโดยวิธีการใช้ถุงไนล่อน มีความสัมพันธ์กับปริมาณวัตถุแห้งที่สัตว์กินได้ (DMI) วัตถุแห้งที่ย่อยได้ (DMD) ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ (DDMI) และอัตราการเจริญเติบโตในเกณฑ์ที่สูง (R^2 = 0.88 0.96 และ 0.95 ตามลำดับ)

Shem *et al.* (1995) ได้สร้างสมการสำหรับการทำนายค่าวัตถุแห้งที่กินได้ (dry matter intake, DMI) วัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ (digestible dry matter intake, DDMI) และอัตราการเจริญเติบโต (growth rate) จากลักษณะของการสลายตัวของอาหารหยาบเขตร้อน ซึ่งพบว่า ค่าสหสัมพันธ์ของการใช้ค่าพารามิเตอร์ A, B และ c ในสมการ multiple regression กับค่า DMI, DDMI และอัตราการเจริญเติบโตมีค่าสูง ทั้งนี้สมการที่ได้เสนอไว้คือ

DMI (kg/d) = -8.286 + 0.266A + 0.102B + 17.696c

DDMI (kg/d) = -7.609 + 0.219A + 0.080B + 24.191c

Growth rate = -0.649 + 0.017A + 0.006B + 3.870c

Index value = A+ 0.38B + 66.5c

2.12 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ (metabolizable energy, ME)

ในกรณีของสัตว์เคี้ยวเอื้อง นอกจากจะมีการสูญเสียพลังงานไปทางมูล (faecal energy) และในรูปของปัสสาวะแล้ว (urinary energy) ยังสูญเสียพลังงานไปในรูปของแก๊ส (gaseous products of digestion, GPD) ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างที่มีการย่อยและการดูดซึมอาหาร แก๊สเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดในรูปของแก๊สมีเทน (CH_4) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สไฮโดรเจน แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์อีกปริมาณเล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีอะซิโตนและอีเทนเกิดขึ้นด้วย (McDonald *et al*., 1995)

การคำนวณปริมาณพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของแก๊สจะใช้ปริมาณแก๊สมีเทนในการคำนวณซึ่งปริมาณแก๊สมีเทนจะมีอยู่ประมาณ 3-10 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมด ซึ่งปริมาณแก๊สนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับของอาหารที่กิน ในอาหารที่มีคุณภาพต่ำจะมีสัดส่วนของแก๊สมีเทนมาก และถ้าให้อาหารเพิ่มขึ้นปริมาณของแก๊สมีเทนจะลดน้อยลง เข้าใจว่าอาหารผ่านทางเดินอาหารอย่างรวดเร็ว ใช้เวลาในการหมักที่กระเพาะรูเมนน้อย ในสัตว์เคี้ยวเอื้องปริมาณแก๊สมีเทนมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับปริมาณอาหารที่กิน ถ้าในอาหารมีการย่อยได้สูงพลังงานที่สูญเสียไปในรูปแก๊สจะลดลงอีก (บุญล้อม, 2541)

ค่าพลังงานรวม (gross energy, GE) พลังงานใช้ประโยชน์ (metabolizable energy, ME) สามารถคำนวณจากสมการที่เสนอโดย Drochner *et al*. (2003) ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

GE (MJ/kg DM) = [0.0239(MJ/g) x CP] + [0.0398(MJ/g) x EE] + [0.0201(MJ/g) x CF] + [0.0175(MJ/g) x NFE]

เมื่อ CP = โปรตีนหยาบ (g/kg)

EE = ไขมัน (g/kg)

CF = เยื่อใยหยาบ (g/kg)

NFE = คาร์โบไฮเดรตประเภทที่ย่อยได้ง่าย (g/kg)

ME (MJ/kg DM) = [0.0312(MJ/g) x DEE] + [0.0136(MJ/g) x DCF] + [0.0147(MJ/g) x (DOM – DEE - DCF]) + [0.00234(MJ/g) x DCP]

เมื่อ DEE = ไขมันที่ย่อยได้ (g/kg)

DCF = เยื่อใยหยาบที่ย่อยได้ (g/kg)

DOM = อินทรียวัตถุที่ย่อยได้ (g/kg)

DCP = โปรตีนหยาบที่ย่อยได้ (g/kg)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved