

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1. สัตว์เคี้ยวเอื้อง (Ruminants)

2.1.1. ความสำคัญ

สัตว์เคี้ยวเอื้องจัดอยู่ใน order Artiodactyla ซึ่งจัดเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีกีบคู่ และอยู่ใน suborder ruminantia คำว่า ruminant มาจากภาษาลาติน ruminare แปลว่ามาเคี้ยวใหม่ (chew over again) จึงเรียกลักษณะนี้ว่าสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในระบบทางเดินอาหาร (gastro-intestinal tract, GIT) ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง นั้นอาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะถูกหมักโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ก่อนที่จะถูกย่อยสลายตามปกติในส่วนลำไส้เล็กซึ่ง เป็นความแตกต่างจากที่พบในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องทั่วไป

กระเพาะส่วนเรติคูลูโล-รูเมน (reticulo-rumen) เป็นส่วนที่มีความสำคัญในการย่อยสลายอาหารและการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอาหารจุลินทรีย์ที่พบอยู่ภายในรูเมนประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิด อาจพบแบคทีเรียได้ตั้งแต่ 25 ถึง 80 ล้านเซลล์/มิลลิลิตร โปรโตซัว 30 ชนิดในจำนวน 200,000-500,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร โดยจะพบโปรโตซัวที่มีแฟลกเจลลา (flagella) มากในสัตว์ที่มีอายุน้อยและพบพวกที่มีขน (ciliate) ในสัตว์ที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่นอกจากนี้แล้วยังอาจพบจุลินทรีย์อื่นๆได้แก่ เชื้อรา ยีสต์ภายในรูเมนได้ด้วย (Van Soest, 1982)

จุลินทรีย์เหล่านี้มีผลต่อความต้องการโภชนาและ เมตาโบลิซึมของสัตว์ โดยอาหารเยื่อใยจะถูกย่อยสลายภายในรูเมนอย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ส่วนอื่น ๆ ของระบบทางเดินอาหาร สามารถย่อยสลายเซลลูโลส (cellulose) โดยอาศัยเอนไซม์ย่อยเซลลูเลส (cellulase) จากจุลินทรีย์ นอกจากนั้นแล้วแบคทีเรียยังสามารถใช้ประโยชน์จากสารประกอบไนโตรเจนที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน

เช่น แอมโมเนียจากยูเรีย เพื่อสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน (microbial protein) จากความสามารถดังกล่าวนี้ทำให้การใช้อาหารโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำและสามารถใช้ยูเรียเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนในอาหารได้ นอกจากนี้แล้ว สิ่งที่ได้รับเพิ่มจากการสังเคราะห์ภายในรูเมนคือ ไวตามินทุกชนิดยกเว้น ไวตามินเอ ไวตามินดี และ ไวตามินอี แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของขบวนการหมักในรูเมนคือ อาหารโปรตีนแท้จะถูกย่อยสลายได้แอมโมเนียได้อย่างรวดเร็ว (เมธา, 2533a; Orskov and Ryle, 1990 ; Winsyng et al., 1991; Orskov, 1982; Satter and Roffler, 1974) สำหรับปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวรูเมนที่มีความเหมาะสมจะมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 45-50 มิลลิกรัมต่อลิตร (Satter and Slyter, 1974; Satter and Roffler, 1974; Slyter et al., 1979, Boniface et al., 1986) ซึ่งจะนำผลหรือสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ส่วนอาหารคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น แป้งและน้ำตาลจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว แล้วได้ผลผลิตสุดท้ายคือ กรดแลคติก (lactic acid), กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acids, VFA) ที่สำคัญ ได้แก่ acetic, propionic และ butyric acids ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่หมักอาหารสัตว์สามารถนำไปใช้ในขบวนการเมทาบอลิซึมต่อไป จากรายงานของ Orskov et al. (1979), Orskov et al. (1991) สรุปว่าไม่มีความแตกต่างของพลังงานที่ได้จาก VFA แต่ละชนิดในการนำไปใช้เพื่อการผลิต แต่อย่างไรก็ตาม Jenkins and Thonney (1988) ได้รายงานผลที่ไม่สอดคล้องกัน โดยพบว่าการใช้พลังงานที่ได้จาก propionate มีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์สูงกว่า acetate ถึงอย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน VFA ดังกล่าวจะต่ำกว่าการใช้จากคาร์โบไฮเดรตโดยตรงประมาณ 42 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะมีการดูดซึมที่ลำไส้เล็ก 47-88 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งและน้ำตาลที่ผ่านลง ไปลำไส้เล็ก (Owens et al. (1986)

นอกจากนี้แล้ว พลังงานที่ได้จากขบวนการหมักยังถูกเปลี่ยนเป็นเมเทน (methane) และแก๊สอื่นที่สัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในจำนวน 8-10 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่สัตว์ได้รับ (Church, 1979) จากข้อแตกต่างที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ ทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (feed conversion) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องต่ำกว่าสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องทั่วไป จะเห็นได้ว่าผลของขบวนการหมักในรูเมนต่อสัตว์ทำให้สัตว์มีความอยู่รอดและสามารถใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจากอาหารที่มีคุณภาพต่ำ

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีบทบาทสำคัญต่อมนุษย์ เพราะมนุษย์ได้รับประโยชน์หลายอย่าง เช่น เนื้อ

น้ำนม ใช้เป็นอาหารและใช้หนึ่ง ขน เขา กระดูก ใช้เป็นเครื่องนุ่งห่มและ เครื่องใช้ต่างๆ นอกจากนี้แล้วยังได้อาศัยแรงงานในด้านการเกษตรและการคมนาคมอีกด้วย ปริมาณและคุณภาพของอาหารที่สัตว์ได้รับโดยทั่วไปแล้วจะ ได้รับพืชอาหารสัตว์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ซึ่ง เมื่อกินถูกเลี้ยงจะมีปริมาณและคุณภาพลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ทำให้โคและกระบือไม่สามารถทรงน้ำหนักตัวอยู่ได้ และอัตราการตายโดยเฉพาะลูกกระบือสูงถึง 30% (เมธา, 2532b, เมธาและฉลอง, 2533) ✕

2.1.2. การจำแนกทางสัตววิทยา

บุญล้อม (2527) กล่าวว่า ในบรรดาสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์กินหญ้าว่ามีมากที่สุด และในบรรดาสัตว์กินหญ้าทั้งหลายสัตว์เคี้ยวเอื้องกันว่ามีจำนวนมากที่สุดทั้งที่เป็นสัตว์ป่าและสัตว์เลี้ยง รวมทั้งที่สูญพันธุ์ไปแล้วยังเหลืออยู่ และพบว่าสัตว์เคี้ยวเอื้องสูญพันธุ์ไปแล้วเป็นจำนวนหลายชนิด พวกที่มีชีวิตอยู่ในปัจจุบันสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศต่างๆ กันได้ตั้งแต่แถบหนาวเหนือ เช่น พวกแพะ และแกะภูเขา จนถึงแถบอากาศร้อน เช่น กระบือปลัก กระบือนม เป็นต้น

ลักษณะนิสัยในการกินอาหารก็จะต่างกันออกไป เช่น พวกยีราฟชอบกินใบไม้สูงๆ พวกวัวควาย แกะ ชอบกินหญ้า (บุญล้อม, 2527) ในการจัดหมวดหมู่เนื่องจากสัตว์พวกนี้มีจำนวนมากมายหลายชนิดไม่สามารถจะกล่าวถึงให้ครบถ้วนได้ง่ายนัก ในที่นี้จึงจะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่สำคัญและถือว่าเป็นสัตว์เศรษฐกิจเท่านั้น ตามหลักการจัดจำแนกพวกสัตว์ซึ่งพอจะรวบรวมให้เห็นภาพพจน์โดยสังเขปได้ดังนี้ (Blakely and Bade, 1979)

Kingdom	- Animal
Phylum	- Chordata
Subphylum	- Vertebrata
Super class	- Tetrapoda
Class	- Mammalia
Order	- Artiodactyla
Suborder	- Ruminantia
Infraorder	- Peora (true ruminants) 3 families

Family cervidae - deer

Family Giraffidae

Superfamily Bovoidae มีหลาย Subfamilies แต่จะขอกล่าวถึงเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับสัตว์เศรษฐกิจเท่านั้นคือ

- Subfamily Bovinae

Bubalus water buffalo, Asiatic buffalo

Bos taurus. Domestic cattle

Bos indicus. Humped cattle

Bison. Bison (buffalo)

- Subfamily caprinae มีหลาย tribe

พวกแพะและอยู่ใน tribe caprini

Capra hircus. Domestic goats

Ovis aries. Domestic sheep

นอกจากนี้แล้วยังมีสัตว์อื่นที่ใกล้เคียงกับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น ช้าง ม้า กระต่าย ก็เป็นสัตว์กินหญ้าแต่พวกนี้มีทางเดินอาหารคล้ายคลึงมาทางพวกกินเนื้อ (carnivorous) และสัตว์กินทั้งเนื้อและพืช (omivorous) เพียงแต่มีไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ที่ยาวใหญ่เป็นที่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโตและช่วยในการย่อยอาหารหลังจากที่อาหารถูกย่อยโดยน้ำย่อยจากตัวสัตว์เอง

2.1.2.1. กระบือ (Buffalo)

กระบือหรือควายมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Bubalus bubalis* ควายในโลกมีอยู่ประมาณ 140 ล้านตัว มีอยู่ในแถบประเทศเอเชียประมาณ 96.3 เปอร์เซ็นต์ และมีอยู่ในประเทศไทย 5.4 ล้านตัว หรือประมาณ 3.9 เปอร์เซ็นต์ของโลก (FAO, 1990b) จากจำนวนดังกล่าวมีกระบืออยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 75 เปอร์เซ็นต์ กระบือที่เลี้ยงอยู่ในเขตเอเชียปัจจุบัน โดยทั่วไปอาจจำแนกกระบือออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะและการทรงชีพ (Fahimuddin, 1975) คือ

2.1.2.1.1. กระบือแม่น้ำ (River or riverine buffalo) จัดเป็นควายนม แต่สามารถใช้

งานและให้เนื้อได้ มีลักษณะนิสัยชอบนอนในน้ำลึกหรือในแม่น้ำ พบในอินเดีย ปากีสถาน อียิปต์ และเขตเมดิเตอร์เรเนียน

2.1.2.1.2. กระบือปลัก (Swamp buffalo) เป็นควายที่เลี้ยงมากในประเทศจีนตอนใต้ประเทศเอเชียอาคเนย์ และออสเตรเลีย จัดเป็นประเภทควายปลัก เลี้ยงเพื่อใช้งานในไร่นา ใช้เนื้อบริโภค กระบือที่เลี้ยงส่วนใหญ่ในประเทศไทย คือ กระบือปลัก ความนิยมเลี้ยงกระบือปลักของประเทศไทยมักจะเลี้ยงไว้เพื่อใช้งาน เช่น การไถเตรียมดินทำนา ทำไร่ อาหารที่กระบือได้รับจึงเป็นหญ้าธรรมชาติ ตามไร่นาเป็นส่วนใหญ่และพางที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว (เจริญ, 2524) นอกจากนั้นแล้วเนื้อกระบือที่ได้รับการขุน ยังมีความเป็นไปได้สูง สำหรับการบริโภคในตลาดเนื้อคุณภาพสูง (Wanapat, 1990)

ในประเทศไทยมีกระบือปลักซึ่งมีขนาดใหญ่ น้ำหนักเมื่อโตเต็มวัยประมาณ 450-550 กิโลกรัม กระบือเพศผู้มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงกว่าตัวเมีย ลักษณะโดยทั่วไปจะมีสีเทา พบที่เป็นเผือกน้อยมาก เขามีขนาดใหญ่หนา และโค้ง อัตราการเจริญเติบโตของกระบือค่อนข้างต่ำ คือ ประมาณ 0.2-0.7 กิโลกรัมต่อวัน (Intaramonkol et al., 1980; ไชยารณ, 2533, ศักดิ์ชัย และคณะ, 2535) และสมบูรณ์เพศเมื่ออายุประมาณ 3 ปี แต่อย่างไรก็ตาม เมธา และฉลอง (2533) กล่าวว่า มีสาเหตุที่ทำให้กระบือในเมืองไทยขาดแคลนหลายสาเหตุด้วยกันคือ ท่าเลเลี้ยงสัตว์ลดลงมีการนำใช้เครื่องจักรกลทดแทนแรงงานจากกระบือ เกษตรกรขาดแรงงานในการเลี้ยงโค-กระบือ โรคระบาด ความต้องการบริโภคเนื้อเพิ่มมากขึ้นการส่งออกจำหน่ายในต่างประเทศรวมทั้งการบริการส่งเสริมยังขาดประสิทธิภาพ

กระบือปลักมีโครโมโซมเพศ (chromosome) 48 คู่ ในขณะที่กระบือแม่น้ำมี 50 คู่ แม้ว่าจำนวนโครโมโซมเพศจะแตกต่างกันก็สามารถสืบพันธุ์กันได้ (กังวาน, 2531 อ้างถึงโดย Mason, 1974 และ ประสบ, 2530)

2.1.2.2. โคพันธุ์พื้นเมือง (Native cattle)

สุจิตรา (2530) อ้างถึงใน สมจิตต์และคณะ (2506) ได้ให้คำจำกัด

ความของคำว่า "โคพื้นเมือง" หมายถึง โคที่มีถิ่นฐานและรกรากในประเทศไทย โคพื้นเมืองอยู่ในเผ่าเดียวกับโคอินเดียนคือจัดอยู่ในกลุ่ม *Bos indicus* (Blakelly and Bade, 1979) แต่อย่างไรก็ตาม ก็ไม่ได้แสดงว่าสืบเชื้อสายมาจากโคอินเดียนที่มีโหนกใหญ่ หูใหญ่ และยาว หนึ่งบริเวณสะคือหย่อนยาน เหนียงใหญ่ ยานโคพื้นเมืองมีความสามารถทนร้อนและอยู่ในภูมิประเทศที่ทุรกันดาร ชุกชุมไปด้วยโรคและแมลงของเขตร้อนได้ดี (ศรเทพ, 2525) ร่างกายของโคพื้นเมืองมีขนาดเล็ก น้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ของตัวผู้ประมาณ 300-350 กิโลกรัม ตัวเมียประมาณ 200-250 กิโลกรัม มีสีนวล เหลืองปนน้ำตาลคันและต่าง เพศผู้มีน้ำหนักสูงกว่าเพศเมียเล็กน้อย อัตราการเจริญเติบโตต่ำ คือประมาณ 300 กรัมต่อวัน (Intaramongkol et al., 1980) และในโคที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหลักเท่ากับ 29.2 กรัมต่อตัว (สฤษดิ์, 2535) ส่วนลูกผสมระหว่างโคพื้นเมืองกับพันธุ์อเมริกันบราห์มัน ศรเทพ และคณะ 2535 พบว่า เมื่อมีเลือดสูง 75-92 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ได้ลูกโคที่มีน้ำหนักเมื่ออายุปีครึ่งมากไม่น้อยกว่า 210-251 กิโลกรัม แสดงให้เห็นความสามารถของโคพื้นเมืองไทยหลายด้าน การเลี้ยงโคพื้นเมือง เลี้ยงเพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้งานและบริโภคเนื้อสภาพการเลี้ยงดูและการได้รับอาหารของโคเช่นเดียวกับกระบือ

2.1.2.3. โคผสมลูกผสมพันธุ์ไฮลสไคน์ฟรีเซียน

เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างโคในกลุ่ม *Bos indicus* กับ *Bos taurus* โคพันธุ์ไฮลสไคน์ฟรีเซียน มีแหล่งกำเนิดในประเทศเนเธอร์แลนด์ บางครั้งเรียกว่า ฟรีเซียน หรืออาจเรียกพันธุ์ขาว-ดำ ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ให้ผลิตน้ำนมในปริมาณสูงๆ ร่างกายมีขนาดใหญ่โดยทั่วไป ตัวเมียมีน้ำหนักประมาณ 567 กิโลกรัม และเพศผู้หนักประมาณ 816 กิโลกรัม เนื่องจากมีความแข็งแรง และให้ผลผลิตได้สูงจึงมีความนิยมนำมาเลี้ยง และผสมพันธุ์กับลูกผสมพันธุ์พื้นเมือง ในประเทศที่มีความต้องการพัฒนาการเลี้ยงโคนมและในประเทศที่กำลังพัฒนาโคนมลูกผสมมีอัตราการเจริญเติบโตประมาณ 0.49-0.57 กิโลกรัม/วัน (จิระชัย และคณะ 2535) ในปี ค.ศ. 1987 ประเทศไทยมีจำนวนโคทั้งหมด 75,500 ตัว และมีโครีดนม 42,200 ตัว (FAO, 1990a) ในปัจจุบันมีจำนวนเพิ่มขึ้น มีประมาณ 130,847 ตัว แยกเป็นโครีดนม 52,203 ตัว, โคสาว 16,884 ตัว และโครุ่น-ลูกโค 22,080 ตัว (จิระชัย และคณะ, 2534)

2.2. อาหารโปรตีน

2.2.1. ความสำคัญของอาหารโปรตีน

เนื่องจากร่างกายสัตว์มีความต้องการกรดแอมมิโน เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ ที่จำเป็นในร่างกายในการสร้างหน่วยต่างๆของเซลล์และเนื้อเยื่อในร่างกาย รวมทั้งเลือด สมอง กล้ามเนื้อ ผิวหนัง เอ็นไซม์และฮอร์โมน ดังนั้น การดูดซึมกรดแอมมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) จากโปรตีนที่ถูกย่อยสลายแล้วจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง สำหรับใช้เพื่อการดำรงชีพ (maintenance) การสืบพันธุ์ (reproduction) การเจริญเติบโต (growth) และการให้นม (lactation) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยกรดแอมมิโนที่จำเป็นดังกล่าวจะได้จากทั้งอาหารโปรตีนที่ไหลผ่านออกจากรูเมน (escape) ที่ไม่ถูกการหมักและจุลินทรีย์โปรตีนที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักในรูเมน มีการดูดซึมที่บริเวณลำไส้เล็ก (Cevama et al., 1990; Satter and Roffler, 1974) เมื่อโคได้รับอาหารบริสุทธิ์ (purified diets) ซึ่งมีเฉพาะไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) เป็นแหล่งไนโตรเจน การผลิตของจุลินทรีย์โปรตีนจะพอเพียงสำหรับสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต (Satter and Roffler, 1974) แต่จะไม่พอเพียงตามความต้องการเพื่อการให้ผลผลิตสูง (Wohlt et al., 1991) การหาพานของรูเมนมีประสิทธิภาพประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ ค่าจากระดับที่มีการให้อาหารที่มีพลังงานและเสริมโปรตีนปกติ (Oltjen, 1969) ในโคที่กำลังรีดนมได้รับอาหารที่ปราศจากโปรตีนผลิตน้มนม 4,000 กิโลกรัม ต่อระยะการให้นม และเมื่อเสริมโปรตีน 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการไนโตรเจน สามารถให้น้มนมเพิ่มขึ้น 1,000 และ 1,500 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้น การเสริมอาหารโปรตีนที่ย่อยสลายในรูเมนได้คํ่าจึงมีความจำเป็นสำหรับสัตว์ที่มีความต้องการโภชนา เพื่อให้ผลผลิตสูง (Wohlt et al., 1991; Satter and Roffler, 1974) เนื่องจากกรดแอมมิโนในอาหารจะมีโอกาสในการไหลผ่านและมีอยู่ในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ที่เหลือจากการย่อยสลายในรูเมน (Winsryg et al., 1991) แต่อย่างไรก็ตาม กรดแอมมิโนที่ไหลผ่านนั้นควรมีคุณภาพสูงและมีปริมาณกรดแอมโมเนียที่จำเป็นอยู่ในปริมาณที่พอเพียงตามความต้องการของสัตว์

ในทางปฏิบัติแล้ว อาหารโปรตีนจะได้จากอาหารหยาบและอาหารข้นพลังงานที่มีการเสริมอาหารโปรตีนที่สามารถไหลผ่านออกจากรูเมนได้มาก ตลอดทั้งโปรตีนที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์โปรตีนจากการเสริม NPN ในอาหาร อาจมีความพอเพียงในการผลิตน้มนม 20 กิโลกรัมต่อวัน (Conrad and Hibbs, 1968 อ้างถึงโดย Church and Fontanot, 1979)

สำหรับการขาดโปรตีนนั้น เนื่องจากสัตว์ต้องการอาหาร เพื่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโตการสืบพันธุ์และการให้ผลผลิต โดยโคอาจมีการเก็บสะสมโปรตีนในเลือด ตับ และกล้ามเนื้อ จะนำใช้ในเวลาที่ร่างกายขาดแคลนในระยะสั้นๆ การขาดอาจมีผลทำให้ปริมาณการกินอาหารลดลง แต่อย่างไรก็ตามการที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณเยื่อใย สูงจะมีผลทำให้มีความต้องการโปรตีนสูงด้วย การขาดโปรตีนเป็นระยะเวลานานติดต่อกันจะทำให้มีปริมาณโปรตีนที่อยู่ในเลือด ตับ กล้ามเนื้อและอวัยวะอื่นๆ มีปริมาณลดลงและอาจมีผลทำให้ลดปริมาณการกินอาหาร น้ำนมลดลง สุขภาพอ่อนแอ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระแสเลือดอาจใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงการขาดโปรตีนได้ โดยปกติโคจะมี Albumins 3.0-3.5 กรัม globulins 4-5 กรัม และ 10-20 มิลลิกรัม ยูเรียไนโตรเจนต่อ 100 มิลลิลิตร (NRC, 1978; Kearn, 1982; Slyter et al., 1979) ซึ่งผลการรายงานของ สุชิน และคณะ (2535) พบว่า มียูเรียไนโตรเจน และ Albumins เท่ากับ 8.4-38.2 mg% และ 2.7-4.1 g% ตามลำดับในโคอายุ 1-12 เดือนและในโคอายุ 1-5 ปี มีค่าเท่ากับ 2.3-25.6 mg% และ 2.4-4.2 g% ตามลำดับในโคเนื้อ

2.2.2. ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (Non-protein nitrogen, NPN)

สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ สามารถพบได้ตามธรรมชาติทั้งในพืชและสัตว์และเป็นผลผลิตจากการย่อยสลายของ โปรตีนกรดแอมมิโน อะมีน อะไมด์ ไนเตรท และพิวรีน NPN ที่นิยมนำมาใช้ในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้แก่ ยูเรีย ไบยูเรท แอมโมเนียมอะซีเตท และ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต เป็นต้น

ในปัจจุบัน แหล่งของไนโตรเจนที่มีราคาถูกคือยูเรีย (urea) ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกขาว ได้จากการสังเคราะห์จากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแอมโมเนีย (NH_3) หรืออาจได้จากผลผลิตสุดท้ายของการย่อยสลายโปรตีนและ เป็นส่วนประกอบในปัสสาวะของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั่วไป ได้มีการนำยูเรียในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากเป็นแหล่งที่มีราคาถูกและปลอดภัย (Kearn, 1982; NRC, 1984) พบว่าการใช้ประโยชน์ได้สูงสุดเมื่อมีปริมาณไนโตรเจนในอาหารต่ำ และมีอาหารพลังงานที่ย่อยสลายได้ง่ายอยู่สูงแต่เมื่อในอาหารหยาบหลักมีโปรตีนอยู่ต่ำ การเสริมยูเรียจะไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ เพราะว่าพลังงานที่ย่อยสลายได้เร็วจะเป็นปัจจัยจำกัดการ

เจริญเติบโต การสืบทอดของจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์มีความต้องการระยะเวลาในการปรับตัว 2-3 สัปดาห์ต่อการใช้อาหารที่มีการเสริมไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NRC, 1978) และ 6 เดือนในการใช้อาหารบริสุทธิ์ (Virtanen, 1966, อ้างถึงโดย Church and Fontenot, 1979)

แหล่งของ NPN จะถูกไฮโดรไลซ์อย่างรวดเร็วในรูเมนให้ได้ผลผลิตแอมโมเนีย ถ้ามีแอมโมเนียมากเกินไปอาจจะเกิดพิษกับสัตว์ได้หากใช้ยูเรียมากกว่าระดับ 0.3-0.8 กรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสัตว์ (NRC, 1984) หรือมีอัตราส่วนของยูเรียในอาหาร 1 ใน 3 ของโปรตีนในอาหาร ยูเรียจะใช้ได้มากขึ้น เมื่อใช้ในอาหารที่มีพลังงานสูงและมีโปรตีนในระดับต่ำ เช่น การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง (กฤตพล, 2533) ระดับการใช้ที่สัตว์แสดงอาการเป็นพิษ คือ $\text{NH}_3\text{-N}$ ประมาณ 80 mg% ในกระเพาะรูเมน และ 1mg% ในเลือด (เมธา, 2533)

ดังนั้น การเสริม NPN ในอาหารจึงมีประโยชน์สูงสุดก็ต่อเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียพอเพียง สำหรับกิจกรรมจุลินทรีย์ในรูเมน (NRC, 1989) อินทรีย์วัตถุหรือการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ดังนั้น ปริมาณของยูเรียที่สามารถใช้ในรูเมนเพื่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนอาจคำนวณได้จากพื้นฐานของปริมาณโปรตีนที่ย่อยสลายเป็นแอมโมเนียในรูเมน และจุลินทรีย์โปรตีนที่สังเคราะห์ได้ การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจะเป็นสัดส่วนต่อปริมาณพลังงานในรูเมน ดังมีความสัมพันธ์ดังนี้ คือ

Urea fermentation potential (g/kg dry feed)

$$= 11.78 \text{ NEm} + 6.85 - 0.0357 \text{ CP} \times \text{DEG} \quad (\text{Burroughs et al., 1975})$$

และ

Urea fermentation potential (g/kg dry feed)

$$= 31.64 - 3.558 \text{ CP} + [(945 \text{ NEm} - 887 - 179 \text{ NE}^2\text{m})]^{0.5} \quad (\text{Satter and Roffler, 1975})$$

โดย $\text{CP} = \text{Crude Protein (\%)}$

NEm = net energy for maintenance (Mcal/kg)

DEG = ruminal degradation of protein

จากสมการดังกล่าวนี้จะช่วยในการประเมินปริมาณยูเรียที่เสริมในอาหาร โดยปรับจากปริมาณโปรตีนและพลังงานในอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการย่อยสลายของอาหาร โปรตีน มีความสำคัญต่อการประมาณ และระดับอาหารหายา, ระดับปริมาณการกินได้ และการแปรรูปอาหารก็มีผลกระทบต่อการใช้โปรตีนในรูเมนและพลังงานที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นข้อจำกัดในการใช้สมการดังกล่าว

2.2.3. ความต้องการโภชนะของจุลินทรีย์ (Microbial requirements)

อาหารคาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยสลายประมาณ 75-90 เปอร์เซ็นต์ โดยการหมักของจุลินทรีย์ในรูเมนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Orskov, 1986) จากขบวนการหมักจะมีการปลดปล่อยกรดแลคติกกรดไขมันที่ระเหยได้ แอมโมเนีย เมทเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ภายนอกเซลล์ และพลังงานที่ได้จากขบวนการเมแทบอลิซึม ก็จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและกิจกรรมอื่นๆ ของจุลินทรีย์ เนื่องจากภายในรูเมนมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่จำนวนมากหลายชนิด คือ แบคทีเรีย โปรโตซัว และ เชื้อรา และเมื่อไหลผ่านออกจากรูเมนไปยังอะโบมาซั่มและลำไส้เล็ก ภายในของเหลวและเศษอาหารปริมาณจุลินทรีย์โปรตีนจะมากประมาณครึ่งหนึ่งของโปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องต้องการ

แบคทีเรียในรูเมนมีความสามารถใช้แหล่งไนโตรเจน จากแอมโมเนีย และแอมิโน และ เพปไทด์ พลังงานและแร่ธาตุสำหรับการเจริญเติบโต ปัจจัยดังกล่าวสามารถจำกัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ถ้ามีสมดุลกัน เนื่องจากมีความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการโภชนะแต่ละตัว ปริมาณแอมโมเนียอาจไม่เพียงพอได้เมื่อปริมาณโปรตีนหรือโปรตีนที่ย่อยสลายในรูเมนในอาหารที่สัตว์ได้รับค่าการขาดแอมโมเนียในรูเมนมีผลทำให้ลดประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย มีผลต่ออัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในรูเมนและลดปริมาณการกินได้ในสัตว์ สำหรับปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ที่เหมาะสมในรูเมน ที่มีการการเจริญเติบโตสูงสุดของแบคทีเรีย และการย่อยสลายอาหารสูงสุด จะมีความเข้มข้นประมาณ 50-200 mg/l (Satter and Slyter,

1974; Merhrez et al., 1977; Edwards and Bartler, 1979; Slyter et al., 1979; NRC, 1984) ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงๆ การใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนจะผ่านทางขั้นตอนของ glutamate dehydrogenase และถ้าอยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำ จะมีการใช้ไนโตรเจนผ่าน glutamine synthetase และ glutamate synthase โดยปฏิกิริยานี้จะมีการเปลี่ยนแปลง glutamate ได้ glutamine และมีความต้องการ ATP

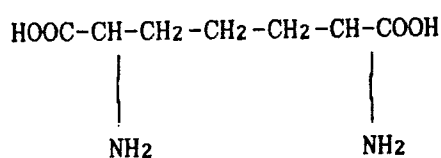
2.2.4. การหมุนเวียนกลับของไนโตรเจนเข้าสู่กระเพาะรูเมน (N-recycling in rumen)

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ยูเรียสามารถกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนโดยทางน้ำลาย และผ่านผนังของกระเพาะรูเมนโดยขบวนการแพร่ ซึ่งการนำยูเรียกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนนี้จะ เป็นการช่วยให้สัตว์สามารถใช้ไนโตรเจนได้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะ ในช่วงที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำ หรืออยู่ในระยะที่อดอาหาร ได้มีการคำนวณว่าประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ของ ไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ได้รับจะถูกนำกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมน (เมธา, 2533) หลังจากที่แอมโมเนีย ที่ไม่ถูกใช้โดยจุลินทรีย์จะถูกดูดซึมผ่านผนังรูเมนเข้าสู่กระแสโลหิต ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว โดยนำผลิตเป็นยูเรียโดยวัฏจักรยูเรีย (urea cycle) ใน cytosol และ mitochondrion ที่ตับ (Lehninger, 1975) ซึ่ง Riis (1983) ได้กล่าวว่า การผลิตยูเรียจะมีอัตราใกล้เคียงกันและมีอัตราสูงในสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโตกำลังให้ผลผลิตน้ำนมและในสัตว์ที่ได้รับอาหารโปรตีนระดับสูงในสัตว์ชนิดต่างๆ แต่อย่างไรก็ตาม ถ้ามีแอมโมเนียในเลือดอยู่ในระดับสูงจนเกินไ้กว่าความสามารถในการทํานองของ urea cycle ก็จะทำให้แอมโมเนียในเลือดสูง เนื่องจาก urea cycle มีอัตราคงที่ (Riis, 1983) มีผลทำให้มีแอมโมเนียในเลือดสูงเกินกว่าการที่เลือดจะรักษาความเป็นกรด-ด่าง ให้คงที่ ซึ่งทำให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น การขับคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะหยุดชะงักลงอาจทำให้สัตว์ตายได้ ภายใต้สภาวะที่สัตว์ได้รับอาหารไนโตรเจนระดับสูง ระดับแอมโมเนียในเลือดมีระดับต่ำกว่ารูเมน และระดับยูเรียในรูเมนต่ำกว่าในเลือด ดังนั้น จึงเอื้ออำนวยให้เกิดวงจรการนำกลับของไนโตรเจนเข้าสู่กระเพาะรูเมนให้เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่อาจก่อให้เกิดพิษได้ คือ ประมาณ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูเมนและ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรในเลือด (เมธา, 2533)

2.2.5. การสังเคราะห์กรดแอมมิโนและจุลินทรีย์โปรตีนในรูเมน

เนื่องจากจุลินทรีย์มีความสำคัญในการแก้ปัญหาในการนำใช้ NPN ให้เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง แต่ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็สามารถเข้าย่อยสลายโปรตีนคุณภาพสูงจากอาหารได้ด้วย ดังนั้น การปรับปรุงและเพิ่มผลผลิตจุลินทรีย์โปรตีนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงสามารถทำได้โดยการป้องกันการย่อยสลายเพื่อให้มีโปรตีนไหลผ่านสูงสุดประกอบกับมี NPN ซึ่งเป็นการพยายามทำให้สัตว์เคี้ยวเอื้องไม่ต้องพึ่งพาอาศัยอาหารคุณภาพสูงและแข่งขันกับสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องอื่นๆ และการศึกษาพัฒนาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์จะมีผลทำให้สัตว์เคี้ยวเอื้องมีข้อได้เปรียบดังกล่าว

การศึกษ ปริมาณจุลินทรีย์โปรตีนที่สังเคราะห์ในรูเมน จึงมีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนที่มีราคาถูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนวิธีการศึกษาใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์โดยใช้เทคนิคทางไอโซโทป (isotope labelling) สารไอโซโทปที่นิยมใช้คือ ^{35}S หรือ ^{15}N นอกจากนั้นอาจใช้โปรตีนในตัวจุลินทรีย์เองเป็นตัวบ่งชี้ (marker) รวมทั้งกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ใน DNA หรือ RNA (Weller et al. 1958, อ้างถึงโดย Church, 1979, Zinn and Owen (1986) รูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของกรด 2, 6-diaminopimelic acid (DAPA) ซึ่งเป็นกรดแอมมิโนที่ไม่พบในพืชสัตว์ในเนื้อเยื่อของโปรโตซัวซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีดังนี้



รูปที่ 1 โครงสร้างของกรด 2, 6-diaminopimelic acid (DAPA)

Conrad et al. (1967) อ้างถึงโดย Church, (1979) จากการใช้ ^{35}S เป็นไอโซโทป ศึกษาการสังเคราะห์เมทาไธโอนีน พบว่าสามารถเพิ่มการสังเคราะห์ได้จากการเพิ่ม

ปริมาณการกินได้และ โปรตีนในอาหารที่เพิ่มขึ้นในอัตรา 30-60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว Ulbrich and Scholr (1967 อ้างถึงโดย Church, 1979) พบว่าการใช้ ^{15}N เป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบว่า แบคทีเรียและ โปรโตซัวสามารถนำแอมโมเนียไปสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์ภายในเซลล์ได้อย่างรวดเร็ว Hoover et al. (1963 อ้างถึงโดย Church, 1979) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA) และน้ำตาลกลูโคส (glucose) ในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน พบว่าแบคทีเรียสามารถใช้ VFA ได้ในปริมาณเล็กน้อยโดย 85 เปอร์เซ็นต์ได้จาก acetate แต่สามารถใช้จากกลูโคสได้ในปริมาณที่สูงกว่า สำหรับการสังเคราะห์โพลีนิวคลีโอไทด์ (polynucleotides) คือ พิวรีน (purine) และไพริมิดีน (pyrimidine) โดยจุลินทรีย์ในรูเมนจะพบ 5-13 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในรูเมน ขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์ได้รับ ปริมาณไนโตรเจนจากนิวคลีโอไทด์ (nucleotide) มีสหสัมพันธ์กับปริมาณจุลินทรีย์โปรตีนสูงมาก ดังนั้นจึงได้มีการนำเอามาประมาณหาจุลินทรีย์โปรตีนได้ (Zinn and Owen, 1986) Sadik et al. (1990) ได้ศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคในการประมาณการสังเคราะห์แบคทีเรียโปรตีนระหว่าง ^{15}N กับ diaminopimelic acid พบว่าให้ค่าที่มีความแปรปรวนต่ำกว่าในการใช้ ^{15}N ส่วนปริมาณโปรตีนที่สังเคราะห์ได้จะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดของอาหาร โดยกากเมล็ดฝ้ายสามารถให้แบคทีเรียได้สูงกว่าเลื่อยค้อน

2.2.6. ขบวนการใช้ NPN ในรูเมน

เมธา (2533) ได้สรุปถึงขบวนการใช้ NPN โดยเฉพาะยูเรียในรูเมนได้ดังนี้

1. NPN (Urea) microbial $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$

urease

2. Carbohydrates microbial volatile fatty acid (VFA) + Keto acids

enzymes

3. $\text{NH}_3 + \text{Keto acids}$ microbial amino acids

enzymes

4. Amino acids microbial microbial protein

enzymes

5. Microbial protein enzymes in free amino acid

abomasum and small intestines

6. Free amino acids -----> absorbed from small intestine

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า แอมโมเนียเป็นค่าที่พิกัดในปฏิกิริยาของการใช้ NPN ในระบบของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนไม่สามารถที่จะย่อยสลายสารประกอบ NPN ให้ได้กรดแอมโมเนียในรูปอิสระ สารประกอบนั้นก็จะมีประโยชน์ในการใช้เป็นแหล่งของ ไนโตรเจนการใช้สารประกอบ NPN อื่นๆ จะเป็นไปคล้ายๆ กับขบวนการใช้ยูเรียที่แสดงไว้ อย่างไรก็ตามน้ำย่อยที่พิกัดที่แตกต่างกันออกไป แล้วแต่ละชนิดของสารประกอบ ถ้าใช้ NPN ร่วมกับอาหารหยาบคุณค่าต่ำซึ่งประกอบด้วย lignocellulosic complex จะทำให้ขบวนการใช้ขั้นตอนที่ 1 เกิดขึ้นเร็วกว่าขั้นตอนที่ 2 ในกรณีเช่นนี้จะเป็นการจำกัดการผลิต keto acids ซึ่งจะนำมาใช้ในการสังเคราะห์กรดแอมมิโน จะมีผลทำให้มีการสูญเสียแอมโมเนียผ่านกระเพาะรูเมน และทำให้การนำใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในอาหารเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าอัตราของการได้รับยูเรียของสัตว์เหมาะสมกับอัตราการย่อยสลายของเซลลูโลสจะทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนดีขึ้น เพราะฉะนั้น kinetics ของขบวนการเมตาบอลิซึมของยูเรีย จึงควรได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก

2.3. จุลินทรีย์วิทยาในกระเพาะรูเมน (Rumen microbiology)

เมธา (2533) ได้กล่าวถึงความสำคัญของนิเวศวิทยาภายในรูเมน ประชากรจุลินทรีย์ในรูเมนมีลักษณะเฉพาะตัวหลายอย่าง สามารถรักษาระดับของอุณหภูมิ การหมักอาหารเป็นการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) คาร์บอนไดออกไซด์, เมทาเนน, กรดแลคติก (Orskov and Ryle, 1990) ส่วนความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของรูเมนจะอยู่ในช่วง 6-7 และมีอุณหภูมิที่ 39 องศาเซลเซียส ซึ่งค่อนข้างคงที่ (เมธา, 2533; Van Soest, 1982)

ภายในรูเมนจะมีจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในขบวนการหมักโดยมีกลุ่มใหญ่ๆ คือ แบคทีเรีย เชื้อราและโปรโตซัว โดยแต่ละชนิดมีจำนวนแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร สภาพนิเวศวิทยาภายใน และความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มจุลินทรีย์ (Orskov and Ryle, 1990)

2.3.1. แบคทีเรียในรูเมน

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า จุลินทรีย์รูเมนนั้นมีอยู่มากและต่างสปีชีส์กัน ที่พบนั้นไม่ได้มีแหล่งกำเนิดเพียงในรูเมนเท่านั้น แต่อาจติดมากับอาหารหรือมาจากสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เนื่องจากสภาวะภายในรูเมนนั้นเป็นระบบไร้ออกซิเจนและมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูง จึงทำให้กลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะที่มีอาหาร และมีความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมเท่านั้น โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง โดยทั่วไปแล้วในทางทฤษฎีอัตราการขยายตัวของจุลินทรีย์ควรจะสูงกว่าอัตราการไหลออกของของเหลวในรูเมน เพราะทั้งแบคทีเรียและโปรโตซัวจะ เกาะติดอยู่กับอนุภาคของอาหาร

การแบ่งชนิดของแบคทีเรียนั้น สามารถแบ่งได้หลายแบบ แต่เพื่อความสะดวกและการเข้าใจถึงหน้าที่ของจุลินทรีย์ จึงขอแบ่งกลุ่มแบคทีเรียออกตามการใช้ประโยชน์ของอาหารหรือผลผลิตที่สังเคราะห์ได้ดังนี้ (เมธา, 2533)

1. แบคทีเรียที่ใช้เซลลูโลส (Cellulolytic bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มนี้มีความสามารถในการผลิตน้ำย่อยเซลลูเลส (cellulase) ซึ่งเข้าย่อยสลายเซลลูโลส นอกจากนั้น อาจสามารถย่อยเซลโลไบโอส (cellobiose) ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส 2 ตัว จับกันแบคทีเรียกลุ่มนี้มีมากที่สุดในกระเพาะของสัตว์ที่ได้รับอาหารหญ้าเป็นหลัก ชนิดที่สำคัญมี *Bacteroides succinogenes*, *Rumicoccus flavefaciens*, *R. albus* และ *Cillobacterium cellulosolvens* เป็นต้น

2. แบคทีเรียที่ใช้เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose digesting bacteria)

โดยปกติแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสจะสามารถย่อยพวกเฮมิเซลลูโลสได้ด้วย แต่แบคทีเรียที่ย่อยเฮมิเซลลูโลสจะไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้ ชนิดที่สำคัญมี *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Lachnospira multiparens* และ *Bacteroides ruminicola* เป็นต้น

3. แบคทีเรียที่ใช้แอมโมเนีย (Amyolytic digesting bacteria)

แบคทีเรียพวกนี้มีเป็นจำนวนมากในกระเพาะสัตว์ที่ได้รับอาหารชั้นพลังงานสูง ซึ่งมีแอมโมเนียเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ ชนิดที่สำคัญมี *bacteroides amylophilus*, *Succinimonas amylophilus*, *butyrivibrio fibrisolveens*, *Selenomonas ruminantium*, *Streptococcus bovis* และ *Bacteroides ruminicola* เป็นต้น จะเห็นว่าแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสหลายสปีชีส์ที่สามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ แต่พวกที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยตรง ไม่สามารถที่จะทำเช่นนั้นได้

4. แบคทีเรียที่ใช้กรด (Bacteria utilizing acids)

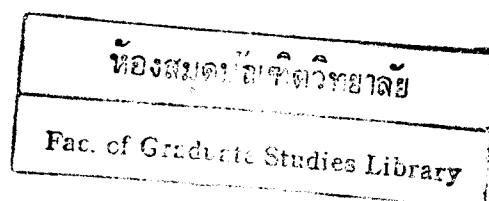
มีแบคทีเรียหลายสปีชีส์ที่สามารถใช้กรดต่างๆ ได้ เช่น กรด formic, acetic, malic, fumaric, lactic และ succinic species ที่ใช้กรด lactic และ succinic คือ *Veillonella gazogenes*, *V. alcalescens*, *Propionic bacterium sp.*, *Selenomonas ruminantium*, *Peptostreptococcus elsdenii* และ *Selenomonas lactilytica* เป็นต้น

5. แบคทีเรียที่ใช้โปรตีน (Proteolytic bacteria)

แบคทีเรียหลายสปีชีส์ที่ใช้กรดแอมโมเนียเป็นแหล่งพลังงานพื้นฐาน มีหลายชนิด คือ *Bacteroides amylophilus*, *clostridium sporogens* และ *Bacillus licheniformus* เป็นต้น

6. แบคทีเรียที่ใช้โปรตีน (Proteolytic bacteria)

ตัวอย่างมี *Bacteroides ruminicola*, *Selenomonas ruminantium*, *Peptostreptococcus elsdenii* และบางสายพันธุ์ของ *Butyrivibrio*



7. แบคทีเรียที่ผลิตเมเทน (Methanogenic bacteria)

ชนิดที่สำคัญมี *Methanobacterium ruminantium* และ *M. formicicum* เป็นต้น

8. แบคทีเรียที่ใช้ไขมัน (Lipolytic bacteria)

แบคทีเรียหลายชนิดที่มีความสามารถใช้อัลลิสโรล และย่อยกลีเซอไรด์จากโมเลกุลของไขมัน แต่มีแบคทีเรียหลายสปีชีส์ที่สามารถสังเคราะห์วิตามินบีรวมได้

2.3.2. เชื้อรา (The phycomycetous fungi)

กลุ่ม anarebic fungi เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เพิ่งจะพบเมื่อเร็วๆ นี้ โดยทำหน้าที่เกี่ยวกับการหมักย่อยอาหารในรูเมน โดยพบว่าเชื้อเหล่านี้ฝังตัวอยู่ในเยื่อใยของอนุภาคอาหาร และเชื่อว่ามีส่วนย่อยสลายพวกเซลลูโลส ส่วนในด้านการเข้าย่อยสลายอนุภาคอาหารและความต้องการไนโตรเจนของเชื้อราเหล่านี้ ยังเป็นเรื่องที่จะต้องติดตามศึกษาอีกต่อไป (Preston and Leng, 1987)

เชื้อรากลุ่มที่อาศัยอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic fungi) ในรูเมนนั้น เพิ่งจะมีผู้ค้นพบในสัตว์หลายสปีชีส์ เช่น แกะ แพะ โค และควาย นอกจากนั้นแล้วยังพบในชีกัมของม้า ช้าง และจิงโจ้ ดังนั้นเชื้อรากลุ่มนี้อาจจะอาศัยอยู่ในกระเพาะสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหาร และอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน

เชื้อราในระยะการแพร่พันธุ์ประกอบด้วย sporangium ซึ่งเกิดจากเส้นใย rhizoids เจริญเติบโตบนผิวของเยื่อใยอาหาร sporangia ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะผลิต Zoospores เพื่อขยายพันธุ์ต่อไป วงจรชีวิตของเชื้อราเจริญภายใต้สภาพไร้ออกซิเจน

บทบาทของเชื้อรากลุ่มนี้มีความสำคัญมาก โดยพบว่า เชื้อราจะเข้าย่อยสลายส่วนของเยื่อ

ใยอาหารเป็นกลุ่มแรก โดยย่อยจากส่วนด้านในก่อน เชื้อราจะช่วยลดการจับยึดแน่นของอนุภาคของอาหาร จึงเป็นการเพิ่มการบดเคี้ยวของอนุภาคอาหารได้มากขึ้นในระยะการเคี้ยวเอื้อง การที่เชื้อราทำให้ผิวของอาหารแตกเปราะ จะเป็นการช่วยสนับสนุนให้แบคทีเรียเข้ายึดเกาะและย่อยสลายอาหารได้ง่ายและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนั้น เชื้อรากลุ่มนี้จึงเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของการย่อยสลายของผนังเซลล์ของพืชที่ย่อยสลายได้ยากและช่วยลดการย่อยได้ของเยื่อใยในระยะพักตัวได้ด้วย (lag-phase of fibre digestion) พอที่จะสรุปได้ว่าเชื้อรากลุ่มนี้จะช่วยย่อยแซนจับตัวเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (Hemicellulose, lignin complex) และช่วยให้ลิกนินสลายได้ในรูเมน แต่จะไม่ได้ย่อยลิกนินโดยตรง ซึ่งจะช่วยใหเยื่อใยตัวอื่นที่ครอบคลุมไว้โดยลิกนินทำให้แบคทีเรียเข้าย่อยสลายได้

2.3.3. โปรโตซัวในกระเพาะรูเมน (Rumen protozoa)

โปรโตซัวมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย ซึ่งสามารถมองเห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดา โปรโตซัวส่วนใหญ่เป็นพวกที่มีขน (ciliated protozoa) แต่ก็มีบางสปีชีส์ที่เป็น flagellated protozoa ซึ่งพบในกระเพาะรูเมนของสัตว์ในระยะแรกเกิดเท่านั้น

2.3.3.1. ผลของการกำจัดโปรโตซัวต่อแบคทีเรียในรูเมน

ภายในกระเพาะรูเมนประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการหมักและการย่อยสลายอาหารที่พบจำนวนมากคือ แบคทีเรีย โปรโตซัวและเชื้อรา โดยทั่วไปจะมีส่วนสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันในการเจริญเติบโต (Bird et al., 1989) โปรโตซัวและแบคทีเรียต้องการอาหารคล้ายกัน บางทีโปรโตซัวจะกินแบคทีเรียเป็นอาหารเพื่อเป็นแหล่งของไนโตรเจนและกรดนิวคลีอิก ดังนั้น การกำจัดโปรโตซัวจึงมีผลทำให้จำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีผลมาจากทั้งการมีอาหารที่เพียงพอ และการกำจัดโปรโตซัวออกไป

นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่า โปรโตซัวเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของแบคทีเรียโดยแบคทีเรียพวกที่ผลิตเมทาเนน (methanogenic bacteria) อาศัยที่เยื่อใยด้านข้าง (Krumholz et al., 1983 อ้างโดย Jouany et al., 1988) เข้าจับไฮโดรเจน ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาจากโปรโตซัว

ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพื่อผลิตมีเทน (CH_4), (White (1969) อ้างโดย Jouany et al., 1988) พบว่าแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนผิวหนัง เซลของโปรโตซัวมีทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและลบ ที่ต้องการและไม่ต้องการออกซิเจน และพวกที่อาศัยกันแบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiotic bacteria) โดยอาศัยอาหารจากกระบวนการเมทาบอลิซึมจากโปรโตซัว ดังนั้น จากความสัมพันธ์ระหว่างโปรโตซัวสามารถเปลี่ยนแปลงการย่อยอาหารและการผลิตมีเทนในกระเพาะหมัก

2.3.3.2. อิทธิพลของการกำจัดโปรโตซัว (defaunation) ต่อผลผลิตสุดท้ายในขบวนการหมัก

การกำจัดโปรโตซัวมีผลทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดลดลง (Jouany et al., 1988; Enev et al., 1989) มีผลเนื่องมาจากการเมทาบอลิซึมของแบคทีเรียเท่านั้น แต่เมื่อศึกษาในส่วนประกอบของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด ผลของการกำจัดโปรโตซัวจะทำให้จำนวนโมลของกรดไขมันที่ระเหยได้สูงขึ้น ในขณะที่กรดอะซิติกและกรดบิวทีริกลดลง (Vermorel and Jouany, 1989; Nangia and Gary, 1988; Enev et al., 1989; Jouany et al., 1988) เนื่องจากว่าโปรโตซัวจะขัดขวางการสร้างกรดไขมัน (Jouany et al., 1988)

2.3.3.3. ผลที่มีต่อการย่อยได้ของอาหาร

Hungate (1966) ได้กล่าวถึงการเปรียบเทียบการเข้าย่อยสลายเซลลูโลสระหว่างโปรโตซัวกับแบคทีเรียว่า ส่วนใหญ่เป็นการย่อยของแบคทีเรียและสูงกว่า แต่การย่อยสลายของเชื้อราที่มีผลต่อการย่อยสลายเซลลูโลส (Jouany et al., 1988)

จากการศึกษาของ Bird et al. (1989) พบว่า ความสามารถในการย่อยได้ของฟางข้าวระหว่างการกำจัดและไม่กำจัดโปรโตซัวในแกะโดยใช้ฟางเป็นอาหารหลักร่วมกับการเสริมถั่วลิสง ได้แสดงให้เห็นว่าการกำจัดโปรโตซัวมีแนวโน้มการย่อยได้สูงขึ้น ซึ่งก็สอดคล้องกับการศึกษาของ Vermorel and Jouany (1989) ดังนั้น การสรุปจึงอาจเป็นผลมาจากการที่มีจำนวนแบคทีเรียที่สูงขึ้น ขณะเดียวกันการเสริมถั่ว (150 กรัมต่อวัน) ในอาหารก็มีผลกระตุ้นให้ความสามารถในการย่อยได้ของฟางสูงขึ้นเช่นกัน (Bird et al. 1989; Mcmeniman et al. 1988)

2.3.3.4. ผลที่มีต่อแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในรูเมน

การกำจัดโปรโตซัวมีผลทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในรูเมนลดลง (Jouany et al., 1988; Nangia and Gary, 1988; Petkev et al., 1989) ซึ่งโดยปกติแล้วควรมีความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในรูเมน ประมาณ 50 มิลลิกรัม/ลิตร (Boniface et al. 1986, Satter and Slyter, 1974) ซึ่งเป็นระดับที่อัตราการหมักและการผลิตจุลินทรีย์โปรตีนสูงสุดเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำ ไม่อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก็อาจทำให้มีความจำเป็นต้องเพิ่มไนโตรเจนในอาหาร อย่างไรก็ตาม Jouany et al. (1988) พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในการกำจัดโปรโตซัวที่ลดลงนั้น ไม่ได้เป็นผลมาจากการใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์หลังจากกำจัดโปรโตซัว แต่เป็นผลเนื่องมาจากการย่อยสลายโปรตีนหรือการย่อยเปปไทด์ได้น้อยลง ซึ่งอาจสรุปได้ว่า เป็นผลจากการลดลงของจุลินทรีย์ที่ผลิตหรือย่อยสลายโดยขบวนการย่อยสลายโปรตีน (proteolysis) เอนไซม์ (proteolytic enzyme) หลังจากการกำจัดโปรโตซัวซึ่งอาจทำให้มีผลต่อการไหลผ่านของโปรตีนสู่ลำไส้ได้สูงขึ้น Maeng et al. (1990) ได้ศึกษาแหล่งโปรตีนและผลกระทบต่อแบคทีเรียและโปรโตซัว พบว่า โปรโตซัวสามารถย่อยโปรตีนได้ แต่ก็ยังมีปัจจัยในเรื่องของรูปแบบของอาหารเช่น การอบความร้อนจะทำให้การย่อยสลายได้ช้าลง หรือ การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ก็มีผลในทางตรงกัน นอกจากนี้ Song and Kennelly (1990) พบว่าการฉีดแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (ammonium bicarbonate, NH_4HCO_3) ในระดับต่างๆ กัน มีผลทำให้การเพิ่มจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน แต่ก็ไม่มีผลต่อการย่อยสลายอาหาร

เกี่ยวกับการผลิตแก๊สหลังจากการกำจัดโปรโตซัวนั้น พบว่า ทั้งเมทาเนนและคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง (Enev et al., 1989) จากการผลิตไฮโดรเจนของโปรโตซัว ทำให้แบคทีเรียที่ผลิตเมทาเนนซึ่งอาศัยอยู่บนผิวของโปรโตซัวโดยวิธีพึ่งพาอาศัยกันระหว่างกัน นํามาผลิตเมทาเนนกับคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นการกำจัดโปรโตซัวจะสามารถทำให้ขบวนการผลิตเมทาเนนลดลงได้ถึง 30-40 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ การกำจัดโปรโตซัวสามารถลดการผลิตเมทาเนนได้ 75-100 ลิตรต่อวัน ในโคนน้ำหนัก 250 กิโลกรัม (Jouany et al., 1988)

2.3.3.5. ผลกระทบต่อผลผลิตจุลินทรีย์-ไนโตรเจน

โปรโตชีวในกระเพาะรูเมนนั้น จะย่อยสลายโปรตีน และผลิตแอมโมเนียและกรดอะมิโน รวมทั้งผลผลิตอื่นๆ ส่วนใหญ่ได้จากขบวนการเมตาบอลิซึมจากการกินและการย่อยสลายแบคทีเรีย และโปรตีนในอาหาร (Bird et al., 1989) การใช้ประโยชน์โปรตีนไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการหมักเวียนกลับของไนโตรเจนโปรโตชีวที่แตกสลายไปใช้และหมักเวียนในรูเมน จากการศึกษาของ Bird et al. (1989) ได้ประมาณโปรตีนที่โปรโตชีวกลับไปใช้จากแบคทีเรียเป็นอาหารสูงถึง 67 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนที่สร้างขึ้นได้เหลือเพียง 33 เปอร์เซ็นต์ ที่สามารถผ่านออกจากรูเมน ดังนั้นการกำจัดโปรโตชีว มีผลทำให้การใช้ประโยชน์จากสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนดีขึ้น (NPN) ลดการย่อยสลายโปรตีนในรูเมน และทำให้ผลผลิตจุลินทรีย์จากขบวนการหมัก และ ไหลผ่านไปสู่ลำไส้เล็ก ได้สูงขึ้น

2.3.3.6. ผลของการกำจัดโปรโตชีวในรูเมนต่อสมรรถนะของสัตว์

จากการศึกษาของ Bird et al. (1989) พบว่า การกำจัดโปรโตชีวในแกะสามารถเพิ่มผลผลิตขนและน้ำหนักตัว โดยใช้ฟาง (wheat straw) ร่วมกับการเสริมอาหารชั้นในระดับต่างๆ กัน การตอบสนองในการเจริญของขนแกะ แสดงให้เห็นได้ชัดเจนตามระดับการเสริมอาหารหรือโปรตีนที่ไหลผ่าน (protein by-pass) ลงไปสู่ลำไส้เล็กโดยมีผลสนับสนุนจากการกำจัดโปรโตชีว นอกจากนั้นแล้วปริมาณการกินได้ของฟางยังสูงขึ้น อาจสรุปได้จากผลของการกำจัดโปรโตชีวซึ่งทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของฟางข้าวในรูเมนสูงกว่า

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงอัตราการเจริญเติบโตในกระบือ (murrah buffalo) น้ำหนักเฉลี่ย 105 กิโลกรัม โดยใช้ฟางข้าวสาลี 3 กิโลกรัมต่อวันเป็นอาหารหลักเสริมด้วยแร่ธาตุและกากถั่วลิสง 4 ระดับ พบว่า การกำจัดโปรโตชีวในรูเมน ทำให้น้ำหนักเพิ่มต่อวันสูงกว่า และยังผลให้ปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารดีขึ้น การเสริมอาหารร่วมกับอาหารหลัก (GNC 750 กรัมต่อวัน) สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มที่ไม่กำจัดโปรโตชีวจาก 220 กรัมต่อวัน เป็น 400 กรัมต่อวัน (82 เปอร์เซ็นต์) และอัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มที่กำจัดโปรโตชีวเพิ่มจาก 263 กรัม



คือวันเป็น 477 กรัมต่อวัน (82 เปอร์เซ็นต์) และถ้าเปรียบเทียบกับระหว่างกลุ่ม พบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มจาก 220 กรัม เป็น 477 กรัมต่อวัน (117 เปอร์เซ็นต์) Moate (1989) ศึกษาการกักโปรโตซัวในรูเมนต่อผลผลิตน้ำนมในโคนม พบว่า ผลผลิตและโปรตีนในน้ำนมสูงขึ้นจากการกักโปรโตซัว และยังผลทำให้อัตราส่วนโปรตีนต่อไขมันนมสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากผลของการกักโปรโตซัวในด้านของการกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA) ในรูเมนและการปรับปรุงการย่อยสลายของโปรตีน

2.3.4. การเสริมเชื้อยีสต์ (Supplemental yeast culture)

ปัจจุบันความสนใจของการใช้สารเสริมอาหารประเภท probiotics ต่อการปรับปรุงการให้ผลผลิตของสัตว์เลี้ยงมีมากขึ้น โดยเฉพาะในสัตว์เคี้ยวเอื้องนี้มีการนำใช้เชื้อราในการเสริมในอาหารที่สำคัญคือ *Aspergillus oryzae* และเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งในที่นี้จะขอลำถึงผลที่มีต่อการให้ผลผลิตของสัตว์เคี้ยวเอื้องต่อความสัมพันธ์การให้ผลผลิต และขบวนการหมักภายในกระเพาะรูเมนจากการใช้เชื้อยีสต์เสริมในอาหาร

การใช้ยีสต์มีชีวิตในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้น กำลังเป็นที่ได้รับความสนใจ ซึ่งพบว่าสามารถปรับปรุงปริมาณการกินได้ เพิ่มปริมาณน้ำนมในโคนม ส่วนในโคเพศผู้ค่อนั้นสามารถเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยต่อวันได้สูงขึ้นเกี่ยวกับที่ระดับรูเมนนั้นพบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำลง และกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVFA) และความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) สูงขึ้นแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้เสริมยีสต์ในอาหาร และส่งผลต่อสมรรถนะการผลิต

1. ผลกระทบต่อการให้ผลผลิต

ผลที่มีต่อการเพิ่มน้ำหนักจากการเสริมได้มีรายงานการทดลองในโคลูกผสม (Williams, 1988; Hughes, 1988; Newbold, 1990) และในโคขุน (Adams et al., 1981; Wiedmeier et al., 1987 ; Edwards et al., 1990) อย่างไรก็ตาม การศึกษาส่วนใหญ่ก็มุ่งเน้นไปที่การตอบสนองต่อผลผลิตน้ำนมในแม่โคให้นม ซึ่ง William and Newbold (1990)

ก็ได้พบผลของการเสริมเชื้อยีสต์ต่อการเพิ่มปริมาณน้ำนมในแม่โค 2000 ตัว ที่เพิ่มขึ้นจำนวน 1-2 ลิตรต่อวัน ถึงอย่างไรก็ตามอาหารที่สัตว์ได้รับนั้นพบว่ามีอิทธิพลต่อการใช้อาหารร่วมกับเชื้อยีสต์ จากรายงานของ Huber et al. (1985) และ Williams et al. (1990) ได้แสดงให้เห็นได้ว่า อัตราส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบที่สัตว์ได้รับถ้าสูงขึ้นสามารถทำให้ปริมาณน้ำนมสูงขึ้น

นอกจากนี้แล้วได้มีรายงาน การศึกษาถึงผลที่มีต่อการเพิ่มปริมาณการกินได้อย่างอิสระ (voluntary feed intake) เมื่อเสริมเชื้อยีสต์ในอาหารสัตว์ (Williams, 1988 Newbold, 1990; Sievert and Shaver, 1990 Williams et al., 1990)

2. ผลกระทบต่อรูเมน

2.1. เมตาโบลิซึมของไนโตรเจนในรูเมน

อาหารโปรตีนที่ผ่านเข้าสู่รูเมนส่วนใหญ่แล้ว จะถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนีย โดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในรูเมน (Leng, and Nolan, 1982; Orskov and Ryle, 1990; Orskov, 1982; Satter and Roffler, 1974) ซึ่งทำให้การนำไนโตรเจนจากอาหารมีประสิทธิภาพต่ำลงในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ดังนั้น การพยายามป้องกันการผลิตแอมโมเนีย หรือป้องกันการย่อยสลายอาหารโปรตีนในรูเมนและการกระตุ้นการใช้ประโยชน์จากแอมโมเนีย เพื่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนโดยจุลินทรีย์ในรูเมน จึงเป็นการนำใช้ประโยชน์ของ ไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้องให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น (เมธา, 2533)

จากรายงานที่มีการเสริมเชื้อยีสต์ในอาหารสัตว์พบว่า มีผลทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในรูเมนลดลง (Harrison et al., 1988; Dawson, 1988; Newbold, 1990) และพบว่า เอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนและ เปปไตน์ ของจุลินทรีย์ภายในรูเมน ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักหรือการสลาย โปรตีนมีอยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างจากการไม่เสริม ขณะเดียวกันประชากรแบคทีเรียโดยเฉพาะอย่างยิ่ง cellulolytic bacteria

มีการเพิ่มจำนวนสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการกระตุ้นการเจริญเติบโตและสังเคราะห์เซลแบคทีเรียโปรตีน ซึ่งจะไหลผ่านลงไปสู่ลำไส้เล็กถูกย่อยสลายและดูดซึมเข้าโกชนะที่จำเป็นใช้ประโยชน์ต่อไป จากรายงานการทดลองของ Gomez-Alarcon et al. (1990) พบว่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แบคทีเรียโปรตีนเพิ่มขึ้น 11-31 เปอร์เซ็นต์ในโคเพศผู้ตอนเมื่อเสริมในปริมาณ 3 กรัมต่อวัน และ Williams et al. (1990) รายงานการเสริมยีสต์ในปริมาณ 4 กรัมต่อวัน สามารถเพิ่มการไหลผ่านของไนโตรเจนที่ไม่ใช่แอมโมเนีย และการดูดซึมที่ลำไส้เล็กเพิ่มสูงมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลที่ทำให้ผลผลิตของสัตว์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.2. ความสามารถในการย่อยสลายเยื่อใยอาหาร

การเสริมเชื้อยีสต์ในอาหารสัตว์ ทำให้การเพิ่มความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบ (dry matter) และ acid detergent fiber (ADF) (Weidmeier et al., 1987) Williams et al. (1990) พบว่าการเสริมเชื้อยีสต์ในอาหารสามารถเพิ่มอัตราการย่อยสลายของอาหารในรูเมนแต่จะไม่มีผลกระทบต่ออัตราการย่อยสลายของหญ้าแห้ง เมื่อลดปริมาณอาหารชั้นลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของ Chademana and Offer (1990) ที่การย่อยได้ของเยื่อใยจะเด่นชัดขึ้น เมื่อสัตว์ได้รับอาหารชั้นในระดับสูงและการเสริมจะช่วยลด lag phase ของการย่อยเยื่อใย ขณะเดียวกันก็เพิ่มอัตราการย่อยได้ให้สูงขึ้น

ผลจากการเสริมเชื้อยีสต์อาจจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Dawson, 1988) โดยเฉพาะอย่างยิ่งประชากรของ cellulolytic bacteria ซึ่งจะทำหน้าที่ในการย่อยสลายเซลลูโลสในอาหารมีจำนวนสูงขึ้น ซึ่งอาจอธิบายได้ถึงการเพิ่มอัตราการย่อยได้ อัตราการดูดซึมอาหารสูงขึ้นและส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณการกินได้ในที่สุด

2.3. จำนวนจุลินทรีย์ในรูเมน

ผลของการย่อยสลายอาหารสัตว์ในรูเมน และการไหลผ่านของโปรตีนจากรูเมน มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับจำนวนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ Harrison et al. (1988) พบว่าประชากรแบคทีเรียที่เพิ่มสูงขึ้น 60 เปอร์เซ็นต์และทำให้จำนวนของ cellulolytic bacteria ในรูเมนเพิ่มขึ้น ในโคกำลังให้นม เมื่อเสริมยีสต์ในอาหาร 5-7 กรัมต่อวัน นอกจากนั้น Dawson

and Newman (1988) ได้พบว่าเพิ่มประชากรแบคทีเรีย 51-461 เปอร์เซ็นต์ และประชากรของ cellulolytic bacteria เพิ่มขึ้น 16-50 เปอร์เซ็นต์ จากการเสริมในปริมาณ 1 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนรายงานของ Dawson et al., (1990) , Wiedmeier et al. (1987) พบว่าจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ และ 60 เปอร์เซ็นต์ใน cellulolytic bacteria จากการเสริมในอาหารปริมาณ 90 กรัมต่อวันในโคเนื้อ ส่วนผลที่กระทบต่อประชากรโปรโตซัวที่อาศัยอยู่ในรูเมนนั้น จำนวนโปรโตซัวที่ลดลงนั้นเป็นผลดีต่อสัตว์ที่มีการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย ซึ่งโปรโตซัวตามลำและกินเป็นอาหารจำนวนน้อยลง (Jouany et al., 1988) อาจช่วยอธิบายถึงการให้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการมีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น

2.4. ผลกระทบต่อความเป็นกรด-ด่าง (pH) และกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA)

พบว่า การเสริมเชื้อยีสต์ในอาหารสัตว์ ช่วยให้ระดับความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นประมาณ 0.5 หน่วย ที่เวลาหลังจากการให้อาหาร 4 ชั่วโมง (Newbold, 1990) และสามารถรักษาความเป็นกรด-ด่างให้คงที่ประมาณ 6-7 ซึ่งเป็นสภาวะที่นำไปสู่การทำงานของแบคทีเรียเป็นไปตามปกติ (เมธา, 2534) ผลกระทบต่อระดับความเป็นกรด-ด่าง ที่สูงขึ้นนี้อาจเกี่ยวเนื่องมาจากความเข้มข้นกรดแลคติก ลดลง (Williams et al., 1990) และการลดลงของความเข้มข้นของกรดแลคติกในรูเมนก็มีความสัมพันธ์กับการลดลงของ oligosaccharides ในรูเมนอีกด้วย ดังนั้น การลดความเข้มข้นของกรดแลคติกอาจมีสาเหตุที่เกี่ยวเนื่องมาจาก substrate ที่ลดลง (Newbold, 1990) ผลจากการที่ระดับของความเป็นกรด-ด่างที่มีความสม่ำเสมอและอยู่ในช่วงที่เหมาะสมนี้อาจช่วยอธิบายได้ถึงจำนวนแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมเชื้อยีสต์ที่มีชีวิต เนื่องจากที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่ำ มีผลทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในรูเมนจะลดลง Russell et al. (1979); Russell and Dombrowski (1980)

2.4. ฟางข้าว

2.4.1. ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของฟางข้าว

อาหารหยาบคุณภาพต่ำ เช่น ฟางข้าว มีโภชนาการอยู่ต่ำมากโดยมีโปรตีนอยู่เพียง 3-4% (CP) เท่านั้น และยังประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตโครงสร้าง (structural carbohydrate) ในปริมาณสูงมาก เช่น ADF 49.2% โดยเฉพาะส่วนที่จับตัวระหว่างลิกนินกับ

เซลลูโลส (ligno-cellulosic fraction) นอกจากนั้น ปริมาณแร่ธาตุที่จำเป็น ยังน้อยมาก เช่น ฟอสฟอรัส (0.10%) (Wanapat et al., 1983a) ถึงแม้ว่าแคลเซียมมีอยู่ในปริมาณน้อยมากก็ตามการนำให้ประโยชน์อาจจะลดลง ทั้งนี้เพราะอาจจะอยู่ในรูปของเกลือออกซาเลท (oxalate) หรือซิลิเคท (silicate) ที่น่าสังเกตอีกอย่างหนึ่งคือ ปริมาณซิลิกา (silica) ที่มีอยู่ในพางข้าวนี้มากกว่าในพางธัญพืชชนิดอื่นๆ ซิลิกาเองอาจมีส่วนเกี่ยวข้อง ทำให้การใช้ประโยชน์ของพางข้าวต่ำลงได้ นอกจากนี้แล้วปริมาณซิลิกาในลำต้นน้อยกว่าในใบ เมื่อเปรียบเทียบกับพางธัญพืชชนิดอื่นๆ แล้ว พางข้าวประกอบด้วยซิลิกาในปริมาณค่อนข้างสูง ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ (Jackson, 1977b)

2.4.2. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของพางข้าว

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของพางข้าวมีหลายประการ เช่น ชนิดและพันธุ์ข้าว, ส่วนต่างๆของพาง, ปริมาณน้ำฝน, อุณหภูมิ, ความอุดมสมบูรณ์ของดิน, ชนิดและอัตราการใส่ปุ๋ย, ช่วงการเจริญเติบโตความสูงของการเกี่ยว, สัดส่วนของใบกับลำต้น, วิธีการเก็บเกี่ยว, ลักษณะและวิธีการเก็บรักษาพางหลังเก็บเกี่ยว และการปลอมปนของวัสดุอื่นๆ (Devendra, 1982) ดังจะขอยกผลของปัจจัยบางอย่างที่มีผลต่อคุณค่าดังต่อไปนี้

2.4.2.1. ชนิดและพันธุ์ข้าว

จากการรวบรวมผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพางข้าวเหนียวที่ใช้ในการทดลองต่างๆ พบว่าพางข้าวเหนียวมี CP 2.6-4.0%, ADF 49.2-56%, ADL 3.9-5.8% และ IVDMD 46 %

Cheva-Isarakul and Cheva-Isarakul (1984) ได้ทำการศึกษาถึงความแตกต่างของโภชนาการในพางข้าวเจ้าและพางข้าวเหนียว พบว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนที่แตกต่างคือ ADL และพลังงาน (DE, ME) เท่านั้น แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวนาปรังกับข้าวนาปี แล้ว ข้าวนาปรังมี %CP สูงกว่าทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว เบอร์เซนคือนิพัตของข้าวเจ้านาปีสูงกว่าข้าวนาปรัง เมื่อคู่สหสัมพันธ์ระหว่างเบอร์เซนคือนิพัตการย่อยได้และสิ่งอื่นๆ จะพบว่า ทั้ง IVDMD

และ IVOMD มีสหสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับ NDF, ADF, ADL ในทางเดียวกันกับ DE และ ME แต่ที่น่าสนใจก็คือ IVMD มีค่าสหสัมพันธ์กับซิลิก้าในทางเดียวกัน ซึ่งในงานทดลองนี้แสดงว่าซิลิก้ามีส่วนน้อยมากในการขัดขวางการย่อยได้ (Roxas et al., 1984) ในทำนองเดียวกัน Cheva-Isarakul and Cheva-Isarakul (1989) ได้ทำการทดลองกับสัตว์พบความแตกต่างน้อยมากระหว่างฟางข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ในด้านสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของส่วนประกอบต่างๆ ยกเว้นการย่อยได้ NDF ของฟางข้าวเจ้ามีค่าสูงกว่า (49.4 และ 54.2%, $P < .05$)

2.4.2.2. ส่วนต่างๆ ของฟาง

ความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมี IVMD ในฟางข้าวทั้งต้นและในส่วนต่างๆ ของฟางข้าวจะพบว่าโปรตีนหยาบจะมีค่าสูงสุดในใบ (5.6%) และต่ำสุดในลำต้น (3.1%) แต่ปริมาณซิลิก้าจะตรงกันข้ามกับปริมาณโปรตีน นอกจากนั้น % IVMD จะสูงในส่วนที่มีซิลิก้าประกอบอยู่น้อย (Sannasgala and Jayasuriya, 1984) ในทำนองเดียวกัน Pearce (1984) ได้รายงานให้เห็นว่า % IVMD ในส่วนต่างๆ ของฟางข้าวมีความแตกต่างกัน คือ มีค่าสูงสุดในลำต้น(ข้อ+ปล้อง) รองลงมา คือ ใบ

2.4.2.3. อิทธิพลการใส่ปุ๋ยและการป้องกันแมลง

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวพันธุ์ต่างๆ มีแนวโน้มทำให้โปรตีนหยาบเพิ่มขึ้น (Roxas et al., 1984, Sannasgala et al., 1984;), % IVMD เพิ่มขึ้น (Roxas et al., 1984) แต่ส่วนประกอบอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก นอกจากนั้นแล้ว Roxas et al. (1984) ยังพบว่าการใช้ยาป้องกันแมลงในนาข้าวพันธุ์ต่างๆ ไม่มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของฟางข้าวแตกต่างไปจากแมลงที่ไม่ได้ใช้ยา

2.4.2.4. วิธีการเก็บฟาง

จากการเปรียบเทียบวิธีการเก็บฟาง 3 แบบ คือ การเก็บไว้ได้ร่ม, การบิด้านบน และ

การเก็บไว้กลางแจ้ง พบว่าการเก็บไว้ในร่มจะทำให้คุณค่าทางโภชนาของฟางข้าวสูงที่สุด โดยเฉพาะโปรตีนหยาบ, พลังงาน, แคลเซียม, ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม จะมีค่าลดลงตามลักษณะการเก็บตามลำดับ (Devendra, 1982)

2.4.3. ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องกับการกินฟางของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

โดยทั่วไปแล้วฟางข้าวมีโภชนาที่ย่อยได้รวม (total digestible nutrient, TDN) ประมาณ 45% ทำให้เกิดปัญหาในการกินฟางของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะฟางมีความฟางสูง มีพื้นผิวต่ำ ทำให้สัตว์กินฟางได้น้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการโภชนาของสัตว์ ทั้งนี้ เพราะปัจจัยความจุของกระเพาะ (distention factor/gut fill) เข้ามาขัดขวางการกินได้ นอกจากนั้นแล้วยังมีข้อจำกัดอื่นๆ อีก คือ

2.4.3.1. การย่อยได้และอัตราการย่อยได้ของฟางต่ำ

2.4.3.2. อัตราการย่อยสลายของอนุภาคของฟางให้เล็กลง เพื่อเหมาะสมกับการย่อยได้ต่ำ

2.4.3.3. อัตราการไหลผ่านของส่วนที่ย่อยไม่ได้ช้า จึงทำให้ฟางข้าวมีเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนาน

ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ จะส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ของฟางในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (เมธา, 2533) เนื่องจากลักษณะต่างๆ ของฟางข้าวที่กล่าวมาแล้ว ทำให้สัตว์สามารถกินฟางได้น้อยและได้รับปริมาณโภชนาต่ำกว่าระดับที่ต้องการ แม้แต่เพื่อการดำรงชีพ ดังจะเห็นจากการที่สัตว์มีน้ำหนักลดในช่วงฤดูแล้งของแต่ละปี เพราะนอกจากสัตว์จะแทะเล็มหญ้าตามธรรมชาติที่มีอยู่อย่างประปรายและมีคุณค่าต่ำแล้ว สัตว์ยังได้รับฟางข้าวที่เกษตรกรเก็บไว้ใช้ จากการรวบรวมผลการทดลองต่างๆ ในประเทศต่างๆ ในเขตเอเชียพบว่า โดยเฉลี่ยแล้วปริมาณฟางข้าวที่โค กระบือ และแกะ สามารถกินได้นั้นยังอยู่ในระดับต่ำประมาณ 2% ของน้ำหนักตัว มีสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของสิ่งแห้งประมาณ 45% ในโคและกระบือ จึงแสดงให้เห็นชัดว่าปริมาณที่สัตว์กินได้และการย่อยได้ของฟาง เป็นตัวจำกัดในการใช้ประโยชน์ของฟางโดยสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยทั่วไป

2.4.4. การปรับปรุงการใช้ประโยชน์ของฟางข้าว

การปรับปรุงการใช้ฟางข้าวนั้น อาจกระทำได้โดยการเสริมด้วยอาหารชั้น แต่อาจจะเป็นการลงทุนที่สูง แนวทางในการปรับปรุงการใช้วิธีหนึ่งที่เป็นไปได้ง่าย คือ การเสริมฟางข้าวด้วยพืชตระกูลถั่ว หรือเศษเหลือจากการเกษตรที่มีโปรตีนสูง เช่น ใบไมยราบยักษ์ ใบปอ ใบมันสำปะหลัง ซึ่งอยู่ในระยะหน้าแล้งจะเห็นได้ว่าสัตว์ที่ได้รับฟางข้าวอย่างเดียวจะไม่สามารถรักษาน้ำหนักตัวได้ แต่ถ้ามมีการเสริมด้วยใบพืชหรือเศษของพืชตระกูลถั่ว จะทำให้สัตว์สามารถเพิ่มน้ำหนักตัวได้ ที่น่าสนใจอีกอย่างคือ การนำใช้ผักจามจรร่วมกับฟางข้าว (Siri and Niemsup, 1983) ซึ่งผักจามจรร่วมอยู่โดยทั่วไปในช่วงหน้าแล้ง

จากองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวดังกล่าว ซึ่งมีผลทำให้การย่อยได้และคุณค่าทางอาหารของฟางข้าวดังนั้น จึงมีผู้ทำการทดลองปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของฟางข้าวให้สูงขึ้นด้วยกรรมวิธีต่างๆ กันเช่น ทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพ เป็นต้น วิธีที่นิยมกันมากคือ การปรับปรุงทางเคมีโดยใช้สารเคมีต่างๆ และพบว่าสารเคมีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดได้แก่ โซดาไฟ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เมธา, 2528; Waller, 1976; Jackson, 1978)

Waller (1976) สรุปผลของการใช้โซดาไฟต่อฟางข้าวไว้ดังนี้

1. เพิ่มความสามารถการละลายได้ (solubility) ของเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)
2. เพิ่มการย่อยได้ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (cellulose and hemicellulose)
3. เพิ่มอัตราการย่อยของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

โซดาไฟไม่มีผลต่อการลดปริมาณลิกนิน เพียงแต่สลายการจับตัวระหว่างลิกนินกับเซลลูโลส หรือเฮมิเซลลูโลส เท่านั้น

เมธา (2528) สรุปวิธีการปรับปรุงฟางข้าวด้วยโซดาไฟไว้ ดังนี้

1. วิธีของ Beckmann โดยการแช่ฟางข้าวในสารละลายของโซดาไฟที่มีความเข้มข้น 1.0-1.5 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 18-20 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำ 40-50 ลิตรต่อฟางข้าว 1

กิโลกรัม วิธีนี้ทำให้เกิดพิษตกค้างของสารเคมี สูญเสียโภชนะที่ละลายง่าย 10-15 เปอร์เซ็นต์ ล้วนเปลี่ยนแปลงสารเคมีและน้ำ

2. วิธีการของ Torglimsby ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Beckmann โดยการใช้ถังแช่ 3 ใบ ใบแรกบรรจุสารละลายของโซดาไฟที่มีความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ (สารละลาย 10 ลิตรต่อฟางข้าว 1 กิโลกรัม) อีก 2 ใบบรรจุน้ำเพื่อใช้ล้างฟางเป็นการลดพิษตกค้างของโซดาไฟ

3. วิธีการของ Sundstol โดยการแช่ฟางข้าวลงในสารละลายของโซดาไฟที่มีความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลานาน 30 นาที วิธีนี้ประหยัดสารเคมีและเวลา แต่พิษตกค้างสูง

4. วิธีของ Rexen และคณะ โดยแช่ฟางข้าวในสารละลายของโซดาไฟที่มีความเข้มข้น 12 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที และทำการอัดบีบด้วยความดัน 25 กิโลกรัมต่อตารางเมตร แล้วนำมาทำให้เป็นกลางด้วยแก๊สร้อน (CO_2 และ SO_2) วิธีนี้ทำให้ฟางมีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งสูงแต่ความเข้มข้นของโซเดียมในฟางสูง

5. วิธีการของ Piatkowski และคณะ โดยแช่ฟางข้าวในสารละลายของโซดาไฟที่มีความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ (สารละลาย 20 ลิตรต่อฟางข้าว 1 กิโลกรัม) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชะล้างด้วยน้ำ 4 ลิตร วิธีนี้ทำให้สูญเสียวัตถุแห้งสูง

6. วิธีการของ Wilson และ Pigden โดยวิธีการพ่นสารละลายโซดาไฟที่มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 4-9 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของฟางข้าวต่อสารละลายของโซดาไฟคือ 1:1 และไม่ต้องชะล้างด้วยน้ำ ทำให้ไม่สูญเสียวัตถุแห้งและฟางข้าวมีความชื้นต่ำ