

ตรวจเอกสาร

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสำคัญต่อมนุษย์มาก เพราะมนุษย์ได้ใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น ใช้เป็นอาหาร ได้แก่ เนื้อ , นม เป็นเครื่องนุ่งห่ม ได้แก่ หนัง นอกจากนี้ยังได้อาศัยแรงงานด้วย (บุญล้อม, 2527) ความสามารถพิเศษของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่แตกต่างจากสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องทั่วไป คือ การใช้อาหารหยาบ (roughage) และ การใช้ non-protein nitrogen (NPN) เนื่องจากกระเพาะอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องแบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ กระเพาะหมักหรือค้ำข้าว (rumen), รังคัง (reticulum), สามสิบกลีบ (omasum) และ กระเพาะจริง (abomasum) ในบริเวณเหล่านี้โดยเฉพาะกระเพาะหมักจะมีประชากรจุลินทรีย์อาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก (เมธา, 2533) จะทำการย่อยหมักอาหารก่อนที่จะถึงกระเพาะจริง จึงทำให้สามารถใช้อาหารที่มีเยื่อใยสูงได้ดี

2.1 จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

ประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ถูกควบคุมโดยสมดุลทางนิเวศวิทยาภายในรูเมน สภาวะภายในรูเมนจะแตกต่างไปจากระบบการหมักในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนอื่น ๆ คือ สามารถรักษาระดับอุณหภูมิได้ซึ่งจะอยู่ที่ 39 °C โดยถูกควบคุมจากกระบวนการ homeothermic metabolism ของตัวสัตว์เอง การหมักของอาหารจะได้กรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid , VFA) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ใน ช่วง 6-7 (Van Soest , 1982)

จุลินทรีย์ในรูเมนส่วนใหญ่เป็นพวก obligate anaerobes คือ อยู่ได้ในสภาพที่มีออกซิเจนน้อยบ้าง แต่การมีออกซิเจนมากเกินไปอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์พวกนี้ได้ (เมธา, 2533) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง จุลินทรีย์จะให้เอ็นไซม์ในการหมัก การแบ่งชนิดของจุลินทรีย์เป็น 3 กลุ่มหลัก คือ แบคทีเรีย , โปรโตซัว และ เชื้อรา ซึ่งแต่ละชนิดมีความแตกต่าง

กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร , สภาพนิเวศวิทยาภายในรูเมน และ ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของจุลินทรีย์ (Orskov and Ryle, 1990)

2.1.1 แบคทีเรียในรูเมน

ในรูเมนประกอบด้วยแบคทีเรีย ประมาณ $10^{10} - 10^{11}$ ตัว / มล. ของของเหลวในกระเพาะรูเมน และ ประมาณ 75 % จะเข้าจับกับอนุภาคของอาหารที่อยู่ในรูเมน (Orskov and Ryle, 1990) ประชากรแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นพวกไม่สร้างสปอร์ (Bryant, 1963) มีรูปร่างและการจัดสีแกรมต่างกัน เช่น รูปร่างกลม (cocci) จัดสีแกรมบวก รูปร่างท่อนสั้น (short rod) จัดสีแกรมลบ ชนิดของแบคทีเรียที่เข้าย่อยสลายอาหารจะแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหารที่สัตว์ได้รับ โดยการแบ่งกลุ่มแบคทีเรียออกตามการใช้ประโยชน์ของอาหารหรือผลผลิตที่สังเคราะห์ ได้เป็นแบคทีเรียที่ใช้เซลลูโลส (cellulolytic bacteria), แบคทีเรียที่ใช้เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose digesting bacteria), แบคทีเรียที่ใช้แป้ง (amylolytic digesting bacteria), แบคทีเรียที่ใช้กรด (bacteria utilizing acids), แบคทีเรียที่ใช้โปรตีน (Proteolytic bacteria), แบคทีเรียที่ผลิตแอมโมเนีย (ammonia-production bacteria), แบคทีเรียที่ผลิตเมทาเซน (Methanogenic bacteria), แบคทีเรียที่ใช้ไขมัน (lipolytic bacteria), แบคทีเรียที่สังเคราะห์วิตามิน (vitamin-synthesizing bacteria) (เมธา ,2533)

2.1.2. เชื้อรา (Phycomycetous fungi)

Preston and Leng (1987) อ้างถึงโดย เมธา (2533) ได้กล่าวว่า กลุ่ม anaerobic fungi เป็นกลุ่มที่พบเมื่อไม่นานมานี้ โดยทำหน้าที่เกี่ยวกับการหมักย่อยอาหารในรูเมน พบว่าเชื้อราเหล่านี้ฝังตัวอยู่ในเยื่อใยของอนุภาคอาหาร และเชื่อว่ามีส่วนช่วยย่อยสลายพวกเซลลูโลส เชื้อราจะเข้าย่อยสลายส่วนของเยื่อใยอาหารเป็นกลุ่มแรก โดยย่อยจากส่วนด้านในก่อน ช่วยลดการจับยึดแน่นของอนุภาคของอาหาร จึงเป็นการเพิ่มการ

บดเคี้ยวของอนุภาคอาหารได้มากยิ่งขึ้นในระหว่างการเคี้ยวเอื้อง การที่เชื้อราทำให้ผิวหนังของอาหารแตกเปราะ เป็นการช่วยสนับสนุนให้แบคทีเรียเข้ายึดเกาะ และย่อยสลายอาหารได้ง่ายและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เชื้อรากลุ่มนี้จึงเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของการย่อยสลายของผนังเซลล์ของพืชที่ย่อยสลายได้ยาก จากการค้นพบพอที่จะสรุปได้ว่าเชื้อรากลุ่มนี้จะช่วยย่อยแขนงจับตัวของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน (hemicellulose, lignin complex) และช่วยให้ลิกนินสลายได้ในรูเมน แต่ไม่ได้ย่อยลิกนินโดยตรง ซึ่งจะช่วยให้เยื่อใยตัวอื่นที่ถูกครอบคลุมนำโดยลิกนินได้มีโอกาสให้แบคทีเรียเข้าย่อยสลายได้

2.1.3 โปรโตซัว (Rumen protozoa)

โปรโตซัวมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา มีจำนวน $10^5 - 10^6$ ตัว / มล. ของของเหลวในกระเพาะรูเมน (Orskov and Ryle, 1990) โปรโตซัวส่วนใหญ่เป็นพวกมีขน (ciliated protozoa) และมีบางสปีชีส์ที่เป็น flagellated protozoa ซึ่งพบในกระเพาะรูเมนของสัตว์ในระยะแรกเกิดเท่านั้น จากรายงานการทดลองพบว่าโปรโตซัวมีระบบเอนไซม์ที่คล้ายคลึงกับแบคทีเรีย โปรโตซัวต้องการแบคทีเรียเพื่อการเจริญเติบโต โดยจะกลืนกิน (engulf) แบคทีเรียเข้าไปในตัว เพื่อใช้เป็นแหล่งของกรดอะมิโน และ nucleic acid (บุญล้อม, 2527)

2.2 อาหารคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์จะประกอบด้วย 2 กลุ่มหลัก คือ

2.2.1 คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่าย ส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆ ได้แก่ กลูโคส , กาแลคโตส , ฟรุคโตส , อะราไบโนส , ไวโบส และ โซโลส

2.2.2 คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง ส่วนใหญ่ประกอบด้วย เซลลูโลส , เฮมิเซลลูโลส , ลิกนิน และ เพคติน (เมธา, 2533)

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งอาหารพลังงานที่สำคัญต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและตัวของสัตว์เอง

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตในพืชอาหารสัตว์ (% of DM)
(ดัดแปลงจาก Van Soest, 1982)

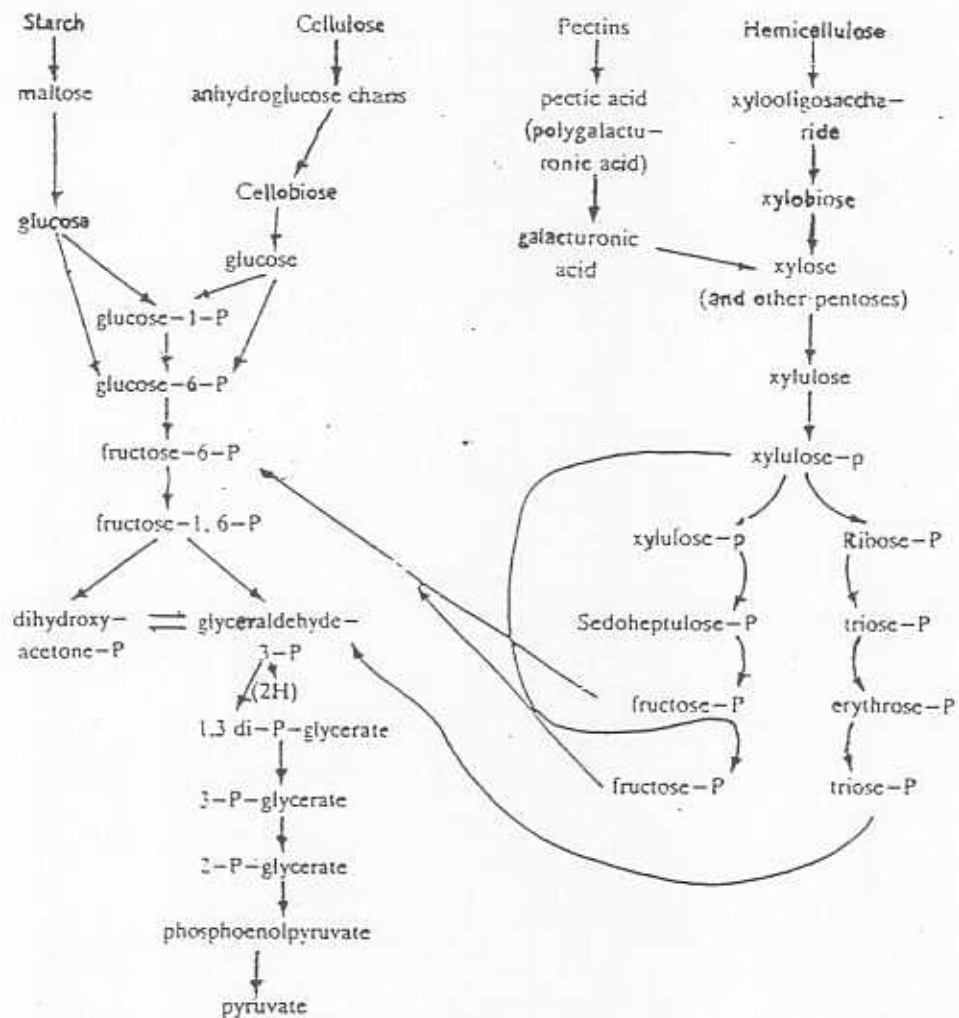
Component	Trop. grasses	Temp. grasses	Alfalfa
Sugar	5	10	5-15
Fructosan	0	1-25	0
Strach	1-5	0	1-7
Pectin	1-2	1-2	5-10
Cellulose	30-40	20-40	20-35

จากตารางพบว่าคุณภาพของ Temperate grasses มีคุณภาพดีกว่า Tropical grasses เนื่องจากมีปริมาณเยื่อใยที่ต่ำกว่า อัตราส่วนของลิกนินต่อเซลลูโลสเท่ากับ 0.08-0.24 และมีค่าการย่อยได้ของเซลลูโลสเท่ากับ 40-90 % ส่วน Tropical grasses อัตราส่วนของลิกนินต่อเซลลูโลสมีค่าเท่ากับ 0.11-0.20 และมีค่าการย่อยได้ของเซลลูโลสเท่ากับ 30-60% (Van Soest, 1982)

2.3 เมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและการค้ำจุนที่ระเหยได้ในกระเพาะรูเมน

สารประกอบคาร์โบไฮเดรตชนิดต่าง ๆ จะถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเข้าย่อยสลาย โดยแบคทีเรียจะย่อยโพลีแซคคาไรด์(polysaccharides) ภายนอกเซลล์ (extracellular degradation) ให้ได้เป็นโอลิโกแซคคาไรด์(oligosaccharides) สลายสั้นก่อน แล้วจึงส่งเข้าไปในเซลล์เพื่อไฮโดรไลซ์(hydrolysed) ให้ได้เป็นน้ำตาล

โมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) (บุตุลอม, 2527) คือ กลูโคส จากนั้นจะย่อยสลายให้ได้เป็นกรดไพรูวิก (pyruvic acid) โดยผ่านกระบวนการของไกลโคไลซิส (glycolysis) หรือเอ็มเพเดน-มายเออร์ฮอฟ-พาร์นาส (Empden-Meyerhof-Parnas of glycolysis, EMP) กรดไพรูวิกที่ได้จะใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA) เช่น กรดอะซิติก (C_2) กรดโพรพิโอนิก (C_3) กรดบิวทีริก (C_4) และกรดวาลาริก เป็นต้น คอโป (เมธา, 2533) ซึ่งร้อยละ 90 ของแบงก์ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (Orskov, 1988)

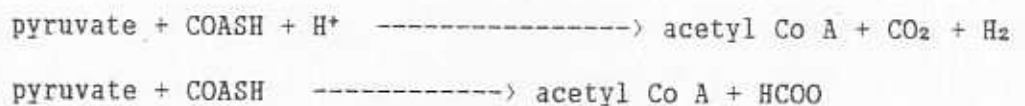


ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการหมักในรูเมนของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในพืช
ที่มา : เมธา (2533)

2.3.1 การสังเคราะห์กรดไขมันที่ระเหยได้ (เมธา, 2533)

2.3.1.1 การสังเคราะห์อะซิเตท (acetate) และฟอร์มเมท (formate)

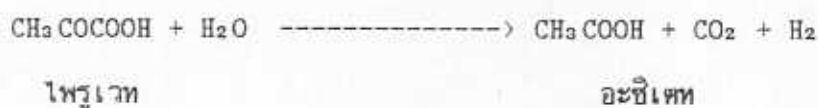
การสังเคราะห์อะซิเตทเป็นการเปลี่ยนไพรูเวท (pyruvate) ให้เป็นอะซิติลโคเอ (acetyl CoA) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไฮโดรเจน (H) หรืออะซิติลโคเอ และฟอร์มเมท ดังสมการ



หรือไพรูเวทอาจทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตได้เป็นอะซิติลฟอสเฟต (acetyl phosphate) และฟอร์มเมทหรือคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ดังสมการ



ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ในทั้งสองระบบข้างต้นจะต้องมีไทอามีน ไพโรฟอสเฟต (thiamine pyrophosphate, TPP), โคเอ็นไซม์-เอ และฟอสเฟต ฟอร์มเมทที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปอย่างรวดเร็วในกระเพาะรูเมน อาจเป็นเพราะการทำงานของน้ำย่อย เฟอร์ดอกซิน-ดีเพนเดนซ์ ฟอร์มิก ดีไฮโดรจีเนส (ferredoxin-dependent formic dehydrogenase) ได้อิโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ การผลิตอะซิเตทจึงพอจะสรุปได้ดังสมการ



2.3.1.2 การสังเคราะห์โพรปิโอเนต (propionate)

การเปลี่ยนแลคเตท (lactate) หรือไพรูเวท ให้เป็นโพรปิโอเนต เกิดได้สองทาง คือ

ก. ขบวนการที่ 1 ผ่านการผลิตออกซาโลอะซีเตท (oxaloacetate) และซักซิเนต (succinate)

ข. ขบวนการที่ 2 ผ่านการผลิตอะครีเลต (acrylate)

ตามปกติจะเกิดขบวนการที่ 1 มากกว่าขบวนการที่ 2 ยกเว้นในกรณีที่เกิดการขาดวิตามินบี 12 จะทำให้ประชากรจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะในสัตว์ที่ได้รับอาหารชั้นพลังงานสูง อาจทำให้ขบวนการที่ 2 มีความสำคัญมากขึ้น นอกจากนี้กระบวนการผลิตโพรปิโอเนตต้องอาศัยวิตามินบีสิบสองเป็นโคเอนไซม์ในขบวนการ (เมธา, 2533) ดังภาพที่ 2

ปฏิกิริยาการเกิดโพรปิโอเนต พอจะสรุปได้ดังนี้



ไพรูเวท

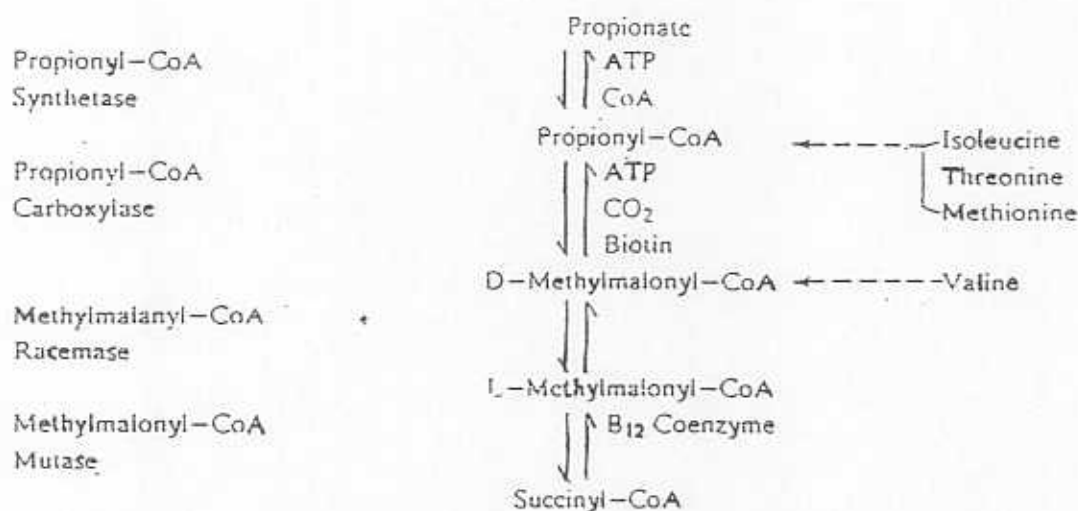
โพรปิโอเนต

2.3.1.3 การสังเคราะห์บิวทีเรต (butyrate)

บิวทีเรตอาจจะถูกสร้างได้จากอะซีเตทหรือจากสารประกอบที่สามารถผลิตอะซีติลโคเอ เช่น ไพรูเวทและกลูตาเมต เป็นต้น ปฏิกิริยาการเกิดอาจเป็นไปได้สองทาง คือ

ก. จากอะซีเตท 2 โมล ปฏิกิริยานี้จะคล้ายคลึงกับการย้อนกลับของวิถีเบตาออกซิเดชัน (β -oxidation) ในการนี้จะใช้ ATP เพียง 1 mole

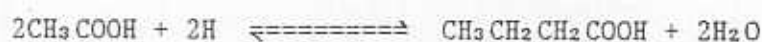
ข. โดยการใช้อะซีติลโคเอ 1 โมล ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นมาโลนิลโคเอ (malonyl CoA) ในการนี้ต้องใช้ ATP 2 โมล



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนเริ่มต้นในกระบวนการเมทาบอลิซึมของไพรูบีโอเนต

ที่มา : เมธา (2533)

ซึ่งปฏิกิริยาการสร้างบีวที่เรพหจะสรุปได้ดังสมการ



อะซิเตท

บีวที่เรพ

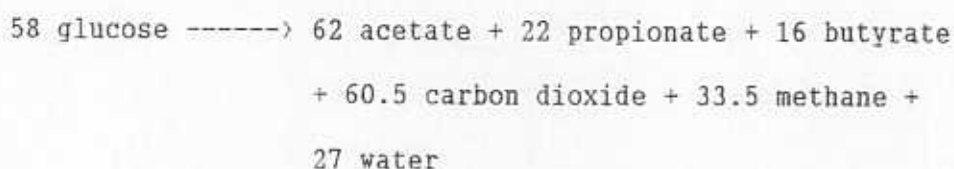
ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้อาจสามารถเปลี่ยนกลับไปได้ โดยถ้าบีวที่เรพเปลี่ยนเป็นอะซิเตทจะได้พลังงานเกิดขึ้นตามขบวนการเบต้า-ออกซิเดชั่น แต่ถ้าอะซิเตทถูกเปลี่ยนเป็นบีวที่เรพจะสูญเสียพลังงาน พบว่า 40-80% ของบีวที่เรพจะถูกสร้างจากอะซิเตท และ 6-20% ของอะซิเตทจะถูกสร้างจากบีวที่เรพ (บุญล้อม, 2527)

การผลิตอะซิเตทจะก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน จุลินทรีย์พวกที่สามารถผลิตแก๊สเมเทน (methanogenic bacteria) จะรีดิวซ์ให้เป็นแก๊สเมเทน ดังสมการ

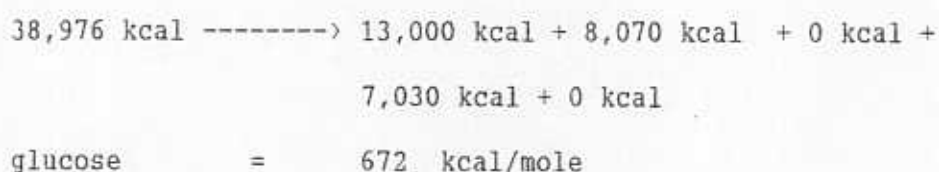


ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานไป และยังพบว่าฟอร์เมทและซักซิเนตเป็นตัวให้ไฮโดรเจน แก่ปฏิกิริยานี้ด้วย จึงทำให้ไม่พบสารทั้งสองนี้ในรูเมนหรือพบน้อยมาก ส่วนในการผลิตบิวทีเรท จะอาศัยแก๊สไฮโดรเจนเพื่อปรีดิคัลอะซิโตะซีเตท (acetoacetate) จึงเป็นการช่วยจำกัดการผลิตแก๊สเมเทน

Hungate (1966 อ้างถึงโดย เมธา , 2533) ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ของกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานให้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ คาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สเมเทน ซึ่งพบความเข้มข้นของอะซิเตท โพรปิโอเนต และบิวทีเรท ในกระเพาะรูเมนเป็น 62 , 22 และ 16% ตามลำดับ ตามทฤษฎีแล้วถ้ามีการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ในความเข้มข้นเช่นนี้ จะต้องเริ่มต้นจากกลูโคส 58 โมล ดังสมการ



ซึ่งมีสมมูลทางพลังงานเท่ากับ



จากสมการจะเห็นว่า การเปลี่ยนกลูโคสเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ลดลงเหลือ 75.5% ทั้งนี้การสูญเสียพลังงานเนื่องจากขบวนการ 9,566 kcal สูญเสียพลังงานในรูปเมเทน 7,030 kcal ซึ่งคิดเป็น 18% ของพลังงานเริ่มต้น และที่เหลือจะสูญเสียในรูปของความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหมักคิดเป็น 2,536 kcal

2.3.2 ประสิทธิภาพการใช้กรดไขมันที่ระเหยได้เป็นแหล่งของพลังงาน

กรดไขมันที่ระเหยได้ที่เกิดขึ้นในรูเมนถูกนำไปใช้ประโยชน์ที่สำคัญ คือ ให้พลังงาน แก่ตัวสัตว์ ส่วนแก๊สเมเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จะถูกกำจัดโดยการเรอ เนื่องจากกรดไขมันที่ระเหยได้ถูกสร้างจากกลูโคสเป็นหลัก เมื่อจะศึกษาถึงประสิทธิภาพในการใช้เป็นพลังงานจึงควรที่จะเปรียบเทียบกับกลูโคส ดังนี้

2.3.2.1 การผลิตอะซิเตท



ดังนั้นกลูโคส 1 โมล จะได้อะซิเตท 2 โมล

กลูโคส 1 mole เมื่อนำไปเผาใน bomb calorimeter จะให้พลังงาน 673.0 kcal ส่วนอะซิเตท 1 mole จะให้พลังงาน 209.4 kcal ดังนั้นประสิทธิภาพในการเปลี่ยนกลูโคสเป็นอะซิเตทเพื่อใช้เป็นพลังงานแก๊สตัว เท่ากับ

$$\frac{209.4 \times 2}{673.0} \times 100 = 62.2 \%$$

2.3.2.2 การผลิตโปรปิโอเนต

เนื่องจาก กลูโคส 1 mole จะได้โปรปิโอเนต 2 mole เมื่อนำไปเผาใน bomb calorimeter โปรปิโอเนต 1 mole จะให้พลังงาน 367.2 kcal ดังนั้น ประสิทธิภาพการเปลี่ยนกลูโคสเป็นโปรปิโอเนต เท่ากับ

$$\frac{367.2 \times 2}{673.0} \times 100 = 109.1 \%$$

2.3.2.3 การผลิตบิวทีเรท

เพราะบิวทีเรทเกิดจากการรวมตัวของอะซิเตท 2 mole ได้เป็น acetoacetate ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ได้เป็นบิวทีเรทในที่สุด กลูโคส 1 mole จึงได้บิวทีเรท 1 mole หลังงานในบิวทีเรทเท่ากับ 524.3 kcal ดังนั้นประสิทธิภาพในการเปลี่ยนกลูโคสเป็นบิวทีเรท เท่ากับ

$$\frac{524.3}{673.0} \times 100 = 77.9 \%$$

จะเห็นได้ว่าการย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยจุลินทรีย์เป็นการใช้กลูโคสหรือคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายเป็นแหล่งพลังงาน จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าในสัตว์กระเพาะเคี้ยว แต่การมีจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จะมีประโยชน์ในการใช้คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างของพืชซึ่งในสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิต VFA

การผลิต VFA มีความผันแปรไปตามความสามารถในการหมัก (fermentation) ของสัตว์แต่ละตัว ชนิดของสัตว์ ความแตกต่างของอาหาร วิธีการเก็บและวิเคราะห์ ตัวอย่าง (เมธา, 2533) ปัจจัยทางด้านอาหารที่มีผลต่อการผลิต VFA ได้แก่

2.3.3.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้และความเข้มข้นของ VFA ในรูเมน

Sutton (1980) พบว่าการผลิต VFA ในรูเมนมีความสัมพันธ์กับการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุโดยประมาณ (apparent digestible organic matter, ADOM) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ประมาณถึงจำนวนอินทรีย์วัตถุที่ถูกหมักในรูเมน โดยอัตราการผลิต VFA จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ADOM ในทางเดินอาหารทั้งหมด

2.3.3.2 ลักษณะของเยื่อใยหรืออาหารหยาบและอาหารข้น

คาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างมีความสัมพันธ์กับการผลิตกรดอะซิติก(C_2) โดยพบว่ากรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสัตว์ได้รับอาหารเยื่อใยในระดับสูงขึ้น และความเข้มข้นของกรดอะซิติกจะลดลงเมื่อสัตว์ได้รับอาหารข้นสูงขึ้น (Goetsch and Galyean, 1982)

2.3.3.3 ปริมาณอาหารที่สัตว์กินและความถี่ในการให้อาหาร

โดยทั่วไปเมื่อระดับการกินอาหารเพิ่มขึ้น อัตราการไหลผ่านของอาหารจะเร็วขึ้น ระยะเวลาที่อาหารอยู่ในรูเมน(rumen retention) น้อยลง และการย่อยได้ของโภชนาต่าง ๆ ลดลง แต่ความเข้มข้นของ TVFA เพิ่มขึ้น Bath และ Rook (1963) รายงานว่าการเพิ่มการให้อาหารจากวันละ 1 ครั้ง เป็น 4 ครั้ง โดยมีปริมาณวัตถุแห้งที่กินเท่าเดิมพบว่า ความเป็นกรด-ด่าง, TVFA และสัดส่วนของ VFA แต่ละตัว (molar %) ค่อนข้างคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากเหมือนให้อาหารครั้งเดียว

2.3.3.4 ระดับโปรตีนในอาหาร

สัตว์ที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงทำให้การผลิตบิวทีเรท และ branched chain VFA สูงขึ้น Chanthai *et al.* (1987) พบว่าความเข้มข้นของ TVFA ในโคและกระบือที่ได้รับทางหมักยูเรีย (5% ยูเรีย) จะสูงกว่าที่ได้รับทางธรรมชาติ อาจเนื่องมาจากสัตว์ได้

รับไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในรูเมน และทำให้กระบวนการหมักมีประสิทธิภาพ

2.3.3.5 การแปรรูปอาหาร

Rhodes และ Woods (1962) รายงานว่า การอัดเม็ดอาหารทำให้สัดส่วนของ $C_2:C_3$ แคลลง ความเข้มข้นของ TVFA สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการบด เมื่อเวลาหลังให้อาหาร นานขึ้นสัดส่วนของ $C_2:C_3$ กว้างขึ้น เพราะระดับ C_2 ถึงระดับสูงสุด (peak) ประมาณ 4 ชั่วโมงหลังให้อาหาร และขณะที่สัดส่วนของ $C_2:C_3$ แคล เเปอร์เซ็นต์ของกรดไอโซบิวทีริก (isobutyric acid) และกรดไอโซวาเลอริก (isovaleric acid) ลดลง แต่ เปอร์เซ็นต์กรดวาเลอริก (vaeric acid) สูงขึ้น Woods และ Luther (1962) พบว่า การอัดเม็ดอาหาร complete ration ทำให้สัดส่วนของ $C_2:C_3$ แคลลง ส่วนการบดอาหารเพียงอย่างเดียวไม่ช่วยปรับปรุงการหมักในรูเมน แต่เมื่อให้ร่วมกับอาหารข้น การผลิต C_3 ในรูเมนของแกะเพิ่มขึ้น

2.3.3.6 สารเสริมอาหาร (feed additive)

สัตว์ที่ให้ผลผลิตสูง เช่น โคขุน หรือโคนม จำเป็นจะต้องได้รับโภชนาจำนวนมาก ดังนั้นต้องให้อาหารข้นในระดับสูง ทำให้ความเป็นกรด-ด่างในรูเมนค่าไม่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก จึงได้มีการใช้สารเคมีเติมลงไปในการให้อาหารเพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการหมักให้สูง ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ช่วยเพิ่มระดับความเป็นกรด-ด่างในรูเมนให้สูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ยาปฏิชีวนะ (antibiotic หรือ antiprotozoa) ในอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สัตว์เจริญเติบโตดี เพิ่มสมรรถภาพการเจริญเติบโต สารจำพวกนี้ใช้ในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้แก่ สารพวกไอโอโนฟอร์ เช่น โมแนนซิน (monensin) เป็นต้น ซึ่งมีบทบาทในการยับยั้งและควบคุมจุลินทรีย์บางชนิดในรูเมนทำให้ความเข้มข้นของ C_3 เพิ่มขึ้น ลดความเข้มข้นของ

อะซีเทท, บิวทีเรท และไอโซบิวทีเรท รวมทั้งลดการผลิตแก๊สเมเทนด้วย (Chen and Wolin, 1979; Sauer and Teather, 1987)

2.4 อาหารโปรตีน

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถพิเศษที่แตกต่างไปจากสัตว์กระเพาะเดียวทั่วไป โดยสามารถเปลี่ยนโปรตีนคุณภาพต่ำให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในรูเมนในการเปลี่ยนเป็นจุลินทรีย์โปรตีน

2.4.1 การแบ่งส่วนประกอบของโปรตีน

โปรตีนสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะส่วนประกอบดังนี้ (เมธา และ จลอง, 2533)

1. โปรตีนทั้งหมด (total protein) เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยโปรตีนแท้และไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ (non-protein nitrogen, NPN) เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยโปรตีนแท้ และจากการวัดปริมาณไนโตรเจนในอาหารทั้งหมดตามวิธีของ Kjeldahl แล้วเปลี่ยนปริมาณไนโตรเจนให้เป็นโปรตีนโดยใช้ 6.25 คูณปริมาณไนโตรเจนที่วัดได้

2. โปรตีนแท้ (true protein) เป็นโปรตีนที่มีการคละโมโนจับกันเป็นสายยาว เรียกว่า เปปไทด์ (peptide) เป็นปริมาณโปรตีนที่แท้จริง ซึ่งแยกเอาไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ ออก

3. ไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ (NPN) ได้แก่ ยูเรีย, ไบยูเรต, กรดอะมิโนอิสระ และการคั่วคลอิด เป็นต้น

โดยทั่วไปโปรตีนในอาหารโคนม จะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายได้ (soluble protein) และกลุ่มที่ละลายได้น้อยหรือไม่ละลาย (insoluble protein) ส่วนที่ละลายได้เร็วส่วนมาก เช่น กากถั่วเหลือง เป็นต้น (Timminga, 1979) ส่วน non-protein nitrogen จะสลายตัวให้แอมโมเนียอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ในรูเมน แต่อาหารบางชนิด เช่น dehydrated alfalfa และ ปลาบ่นจะย่อยสลายในรูเมนได้

น้อย ใช้เป็นแหล่งของ undegradable protein ที่ใช้ในการประกอบสูตรอาหาร (Hussein *et al.*, 1991) โดยปลาบ่มมีเปอร์เซ็นต์ที่ไม่ถูกย่อยสลายอยู่ในช่วง 30-70% (Orskov *et al.*, 1971)

ค่าของ protein solubility จะมีการเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการเก็บรักษาอาหาร เช่น ในอาหารหยาบ พบว่า การทำหญ้าแห้งหรือหญ้าหมัก ที่ส่งผลให้ความชื้นลดลงก่อนนำไปหมัก โดยปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติในแปลงหญ้า ปรากฏว่าหลังจากตัดหญ้าแล้วการทำงานของ plant protease จะสูงขึ้น ทำให้การสลายตัวของไนโตรเจนสูงตามไปด้วย (Sullivan, 1973; McDonald, 1981) แต่ถ้านำหญ้าขึ้นมาผ่านความร้อนหลังการตัด เพื่อลดความชื้นอย่างรวดเร็ว การทำงานของ protease จะถูกจำกัดให้น้อยลง

2.4.2 Non-protein nitrogen (NPN)

จากการที่จุลินทรีย์ในรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถสังเคราะห์โปรตีนได้ โดยใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งของไนโตรเจน โดยธรรมชาติแล้ว จุลินทรีย์จะได้รับแอมโมเนียจากการย่อยสลายโปรตีนทุกประเภทที่มีในอาหาร ซึ่งระดับแอมโมเนียในอาหารที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5-8 mg% (Satter and Slyter, 1974) โดยที่จุลินทรีย์ไม่สามารถแยกได้ว่าแอมโมเนียมาจากส่วนใด และนอกจากนี้แอมโมเนียไม่ทำให้เกิดความแตกต่างในการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์แต่อย่างใด (Satter and Roffler, 1974) ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้ NPN จากแหล่งอื่นที่ไม่ใช่จากอาหารธรรมชาติมาช่วยเสริมให้มีแอมโมเนียเจือมากขึ้น หรือทดแทนจากส่วนที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนได้ในกรณีที่มีการลดอัตราการย่อยสลายของโปรตีนในรูเมน เพื่อที่จะให้มีแอมโมเนียในปริมาณที่พอเพียงสำหรับจุลินทรีย์นำไปสังเคราะห์โปรตีนต่อไป

National Research Council (1988) สรุปว่าการใช้ยูเรียเป็นแหล่งของ NPN เปรียบเสมือนกับการใช้เพื่อเป็นแหล่งของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ (degradable intake protein, DIP) แต่ยูเรียไม่ได้เป็นแหล่งของคาร์บอนสายยาวหรือแหล่งของกำมะถัน เช่น ในกรณีของ undegradable intake protein (UIP) ซึ่งสองอย่างนี้มี

ความต้องการสำหรับการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน Agricultural Research Council (1980) ประเมินไว้ว่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนจากยูเรียเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนจาก UIP แล้ว คิดเป็น 80% เท่านั้น การใช้ประโยชน์จากยูเรียให้มีประสิทธิภาพสูงสุดให้สัมพันธ์กับพลังงานนั้น Burroughs *et al.* (1971, 1974 อ้างถึงโดย เมธา, 2533) ได้เสนอระบบการให้อาหารร่วมกับอาหารชนิดต่าง ๆ โดยใช้ระดับ Urea Fermentation Potential (UFP) โดยอาศัยระดับของพลังงานที่ย่อยได้และปริมาณของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในรูเมน สามารถใช้สูตรคำนวณหาค่า UFP ของอาหารแต่ละชนิดได้ดังนี้

$$UFP = \frac{(1.044 \text{ TDN}-B)}{2.8}$$

B = ปริมาณของโปรตีนที่สลายในรูเมน (กรัม) ใน 1 กก. ของอาหารที่สัตว์กิน

2.8 = ค่าเปลี่ยนโปรตีนให้เป็นค่าไนโตรเจนของยูเรีย

หาก UFP มีค่าสูง แสดงว่าการให้อาหารร่วมกับอาหารชนิดนั้น ๆ จะให้ผลดี ซึ่งสามารถนำหลักการนี้ไปใช้ในการผสมสูตรอาหาร เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการให้อาหาร

2.4.3 โปรตีนในอาหารโคเม

โคเมในช่วงต้นของการให้นมมีความต้องการโปรตีนเพิ่มขึ้น มีรายงานว่า โคให้ผลผลิตนมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับโปรตีนในอาหาร (Kung and Huber, 1983b; Edwards *et al.*, 1980) แต่การเพิ่มระดับโปรตีนในอาหาร ทำให้ผลตอบแทนในทางเศรษฐกิจลดลง จึงได้มีการศึกษาหาวิธีการที่ทำให้โคให้ผลผลิตสูงได้รับโภชนาตามความต้องการทั้งปริมาณและคุณภาพซึ่งมีผลสำคัญต่อการให้ผลผลิต โดยทั่วไปแล้วการลดการย่อยได้ของ

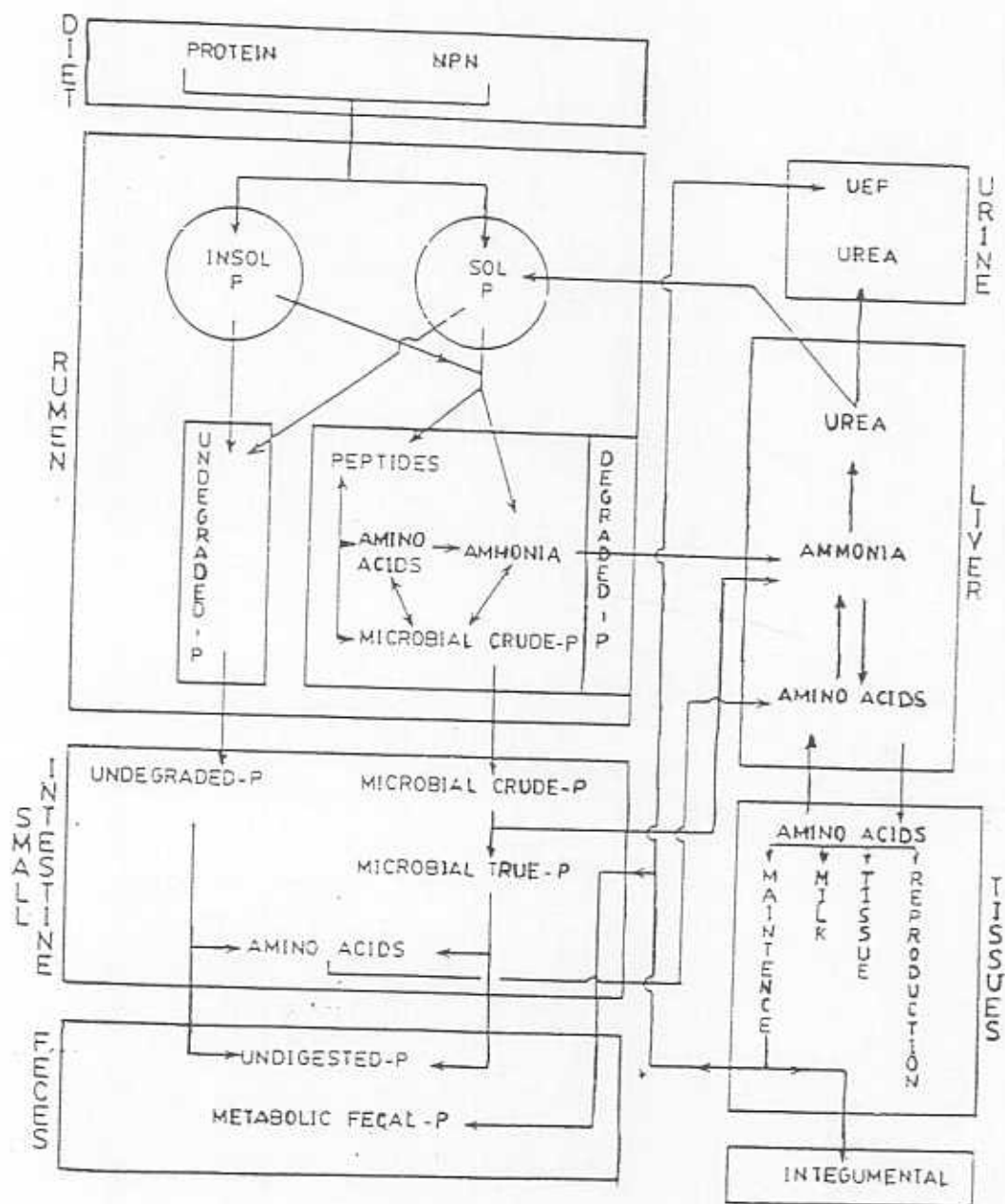
โปรตีนในรูเมน จะช่วยให้การดูดซึมที่ส่วน lower gut เพิ่มขึ้น (Satter, 1986) การลดการย่อยสลายอาจทำได้โดยการใช้ความร้อน (Sherrod and Tillman, 1974 อ้างถึงโดย พิทยา, 2536) การใช้สารเคมี (Schmidt *et al.*, 1973) และการจัดสัดส่วนอาหารที่มีแหล่งอาหารโปรตีน ซึ่งย่อยสลายได้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ในรูเมนได้น้อย (Robinson and Kennelly, 1988) มีรายงานวิจัยพบว่าการใช้ undegradable protein นั้นจะช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนม (Atwal and Erfle, 1992) แต่ก็มีบางรายงานที่พบว่าไม่มีผลต่อการให้ผลผลิต (Paul, 1991; Spain *et al.*, 1989) ในการใช้ undegradable protein เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนม แต่ไม่ประสบผลสำเร็จอาจเนื่องมาจาก 1) โปรตีนในอาหารมีมากเกินความต้องการของสัตว์ 2) การใช้ประโยชน์ได้ต่ำเมื่อใช้ในโคที่ให้ผลผลิตต่ำ 3) undegradable protein ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้เมื่อผ่านลงสู่ลำไส้เล็ก 4) แอมโมเนียในโตรเจนในรูเมนมีความเข้มข้นต่ำ ทำให้การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนลดลง (Chalupa, 1974) ดังนั้นการจัดสัดส่วนของโปรตีนในอาหารโคนม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของโปรตีน ซึ่งจะมีผลไปถึงการเพิ่มผลผลิตน้ำนม จึงนำแนวคิดของ Satter (1986) ที่เหมาะสมบางประการ คือ หดแทนแหล่งโปรตีนในอาหารด้วย NPN พร้อมกับเติมแหล่งของพลังงานและโปรตีนแท้ ซึ่งย่อยสลายได้น้อยในรูเมน ซึ่งจะครอบคลุมความต้องการโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดี

2.4.4 การย่อยสลายและการใช้ประโยชน์ของโปรตีนในโคนม

สารประกอบไนโตรเจนที่ผ่านเข้ามาในกระเพาะรูเมน จะมีความสามารถในการย่อยสลายแตกต่างกัน การย่อยสลายโปรตีนจะใช้เอนไซม์ protease และ peptidase จากแบคทีเรีย (Church, 1979) ได้เป็นสารเบีบไทด์และกรดอะมิโน ซึ่งกรดอะมิโนที่ได้จะถูกสลายตัวโดยขบวนการ deamination ได้เป็น แอมโมเนีย และแอลฟา-คีโตแอซิด (α -keto acid) ซึ่งอาจถูกสลายตัวต่อไป เพื่อใช้ในการสารประกอบอื่น หรือ เป็นแหล่งพลังงาน หรือถูกนำกลับมาสังเคราะห์กรดอะมิโนใหม่ ซึ่ง pH ที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์นี้อยู่ระหว่าง 6-7 นอกจากนี้แล้วสัตว์เคี้ยวเอื้องยังสามารถใช้สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช้ในโตรเจนแท้ (NPN) เช่น ยูเรีย ได้ โดยเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในรูเมน จะถูกนำไปสร้าง กรดนิวคลีอิก , กรดอะมิโน หรือ โปรตีนในตัวจุลินทรีย์ ซึ่ง National Research Council (1976 อ้างถึงโดย เมธา, 2533) ได้สรุปขบวนการใช้ NPN ในรูเมนดังนี้

1. NPN (urea) $\xrightarrow[\text{urease}]{\text{microbial}}$ $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$
2. carbohydrates $\xrightarrow[\text{enzyme}]{\text{microbial}}$ VFA + keto acids
3. $\text{NH}_3 + \text{keto acid}$ $\xrightarrow[\text{enzyme}]{\text{microbial}}$ amino acids
4. amino acid $\xrightarrow[\text{enzyme}]{\text{microbial}}$ microbial protein
5. microbial protein $\xrightarrow[\text{small intestine}]{\text{animal enzymes in the abomasum and}}$ free amino acid
6. free amino acids $\xrightarrow{\hspace{1cm}}$ absorbed โดยตัวสัตว์ เพื่อนำไป
เลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย



ภาพที่ 4 แสดงการย่อยสลายและเส้นทางการเมตาบอลิซึมของอาหารโปรตีนในโค
ที่มา : Chalupa (1984)

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าแอมโมเนียเป็นตัวทำหน้าที่ในปฏิกิริยาของการใช้ NPN ในระบบของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าจุลินทรีย์ในรูเมนไม่สามารถที่จะย่อยสลายสารประกอบ NPN ให้ได้แอมโมเนียที่อยู่ในรูปอิสระ สารประกอบนั้นก็ไม่มีประโยชน์ในการใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจน ส่วน NPN อื่นๆ ก็คล้ายกับกระบวนการใช้ยูเรีย กรณีการใช้ NPN ร่วมกับอาหารหยาบคุณค่าต่ำ ซึ่งประกอบด้วย lignocellulosic complex ที่ย่อยสลายได้ยาก ทำให้กระบวนการขั้นตอนที่ 1 เกิดขึ้นเร็วกว่าขั้นตอนที่ 2 กรณีเช่นนี้จะเป็นการจำกัดการผลิตกรดคีโต (keto acid) ที่จะนำมาใช้สังเคราะห์กรดอะมิโน ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียแอมโมเนียผ่านรูเมน ทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าระดับของยูเรียเหมาะสมกับอัตราการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรต จะทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนดีขึ้น แอมโมเนียส่วนที่เหลือจะถูกดูดซึมผ่านผนังรูเมน หรือผนังลำไส้ แล้วถูกส่งผ่านหลอดเลือด (portal vein) ไปยังตับ และถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียโดยอาศัย urea cycle

2.4.5 ข้อดีและข้อเสียของการย่อยโปรตีนโดยจุลินทรีย์

การที่โปรตีนมีการสลายตัวในรูเมนได้เป็นแอมโมเนียและแอลฟา-คีโต แอซิด ซึ่งอาจถูกสลายตัวต่อไปให้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ หรือถูกจุลินทรีย์นำมาสังเคราะห์เป็นโปรตีนในตัวเอื้องนั้น นับว่ามีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี คือ ถ้าโปรตีนที่สัตว์กินมีคุณภาพต่ำ มีสัดส่วนของกรดอะมิโนไม่เหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ หรือขาดกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) เป็นจำนวนมาก การถูกย่อยสลายในรูเมนแล้วสร้างเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ขึ้นใหม่ นับเป็นข้อดี เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นได้ เมื่อจุลินทรีย์ไหลผ่านออกจากรูเมนไปกับอาหารจนถึงลำไส้เล็ก จะถูกย่อยโดยเอนไซม์จากตัวสัตว์ได้เป็นกรดอะมิโน เช่นเดียวกับการย่อยโปรตีนในสัตว์กระเพาะเดียว ทำให้สัตว์ได้รับสัดส่วนของกรดอะมิโนที่เหมาะสมกับความต้องการของร่างกายยิ่งขึ้น

ข้อเสีย คือ ถ้าโปรตีนที่สัตว์กินมีคุณภาพดีอยู่แล้ว คือมีสัดส่วนของกรดอะมิโนเหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ และมีกรดอะมิโนที่จำเป็นอย่างพอเพียง การถูก



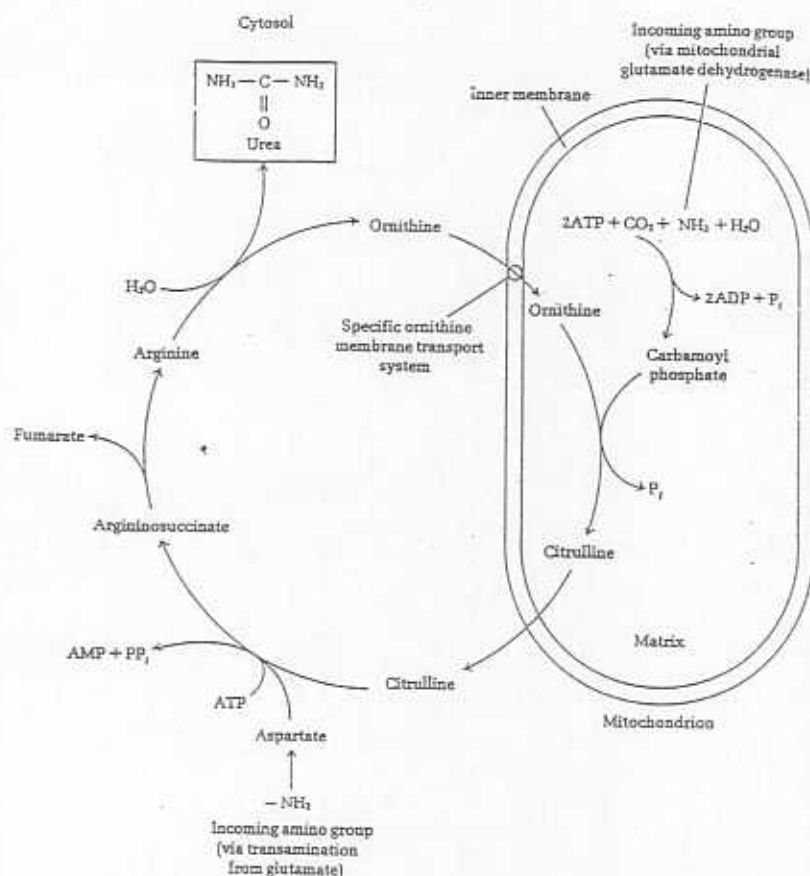
ย่อยสลายในรูเมนเพื่อนำไปสร้างเป็นโปรตีนในตัวจุลินทรีย์เป็นข้อเสีย เนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนในตัวจุลินทรีย์ประมาณ 20% ของไนโตรเจนทั้งหมด สัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ อีกทั้งสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นในโปรตีนของจุลินทรีย์นั้นอาจต่ำกว่าในอาหารเดิม นอกจากนี้ การย่อยสลายโปรตีนให้กลายเป็นแอมโมเนียในจุลินทรีย์อาจนำแอมโมเนียไปใช้ได้ไม่หมดหรือไม่ทัน ทำให้เกิดการสูญเสีย (บุญล้อม, 2527)

ห้ามยืมออก

2W
SF
1768

2.4.6 การนำกลับไนโตรเจนเข้าสู่รูเมน (N-recycling)

ไนโตรเจนสามารถกลับเข้าสู่รูเมนในรูปของยูเรีย โดยผ่านทางน้ำลายและโดยการแพร่(diffusion) ของยูเรียในเลือดผ่านผนังรูเมน Houpt (1968, อ้างถึงใน Church, 1979) รายงานว่า ในแกะ ยูเรียผ่านทางเลือดเข้าสู่รูเมนมากกว่าทางน้ำลายถึง 16 เท่า ขณะที่ยูเรียผ่านเข้าสู่ผนังรูเมนนั้น ส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนีย โดยเอนไซม์ urease ของแบคทีเรียที่ซึมเข้าไปอยู่ใน ruminal epithelium การนำกลับของยูเรียเข้าสู่รูเมนนี้ ช่วยทำให้การใช้ประโยชน์จาก N ได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงที่สัตว์ได้รับอาหารที่มี N ค่า หรืออยู่ในระยะอดอาหาร ประมาณว่า 14% ของไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ได้รับ จะถูกนำกลับเข้าสู่รูเมนโดยผ่าน 2 ทางดังกล่าว (เมธา, 2533) แอมโมเนียที่ไม่ถูกใช้โดยจุลินทรีย์ จะถูกดูดซึมผ่านผนังรูเมนเข้ากระแสโลหิต ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว โดยผลิตเป็นยูเรียโดยวัฏจักรยูเรียในไซโตซอล (cytosol) และไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ที่ตับ (Lehninger, 1975) ซึ่ง Riss (1983) ได้กล่าวว่าการผลิตยูเรียจะมีอัตราใกล้เคียงกันและมีอัตราสูงในสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต, กำลังให้ผลผลิตน้ำนม และในสัตว์ที่ได้รับอาหารโปรตีนในระดับสูง แต่ถ้ามีแอมโมเนียในเลือดอยู่ในระดับสูงจนเกินความสามารถในการทำงานของวัฏจักรยูเรีย ก็จะทำให้แอมโมเนียในเลือดสูง เนื่องจากวัฏจักรยูเรียมีอัตราคงที่ ทำให้แอมโมเนียในเลือดสูงเกินกว่าการที่เลือดจะรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างให้คงที่ ซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้น การขับคาร์บอนไดออกไซด์จะหยุดชะงักลง อาจทำให้สัตว์ตายได้ ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่อาจก่อให้เกิดพิษได้ คือ ประมาณ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูเมน และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรในเลือด (เมธา, 2533)



ภาพที่ 5 แสดง urea cycle ในตับ

ที่มา : Lehniger (1975)

2.4.7 การผลิตจุลินทรีย์โปรตีน

ในการสร้างจุลินทรีย์โปรตีนนั้น ปัจจัยที่สำคัญต่อการสร้างจุลินทรีย์โปรตีน คือ แอมโมเนียที่จุลินทรีย์นำไปใช้ได้ จุลินทรีย์จะใช้แอมโมเนียในการสังเคราะห์เป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ จากการศึกษาพบว่า 59% ของไนโตรเจนที่เข้าไปในรูเมนจะถูกทำให้สลายตัว โดย 71% จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนีย อีก 29% ถูกใช้ไปในรูปของการคั่งสะสมในประมาณว่า 80% ของไนโตรเจนในตัวจุลินทรีย์ถูกสร้างจากแอมโมเนีย อีก 20% ถูกสร้างโดยตรงจากการคั่งสะสม (บุตลอม, 2527) Satter และ Slyter (1974) พบว่าระดับของแอมโมเนียในรูเมนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 50-80 mg $\text{NH}_3\text{-N/l}$ ของของเหลวในรูเมน ซึ่งจะทำให้การเจริญของจุลินทรีย์สูงสุด ระดับของโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ใน

รูเมน ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะมีค่า 14-15% ของวัตถุดิบในอาหาร (Hoover and Stokers, 1991)

ในการประเมินว่าประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจะดีเพียงใดนั้น ต้องคำนึงถึงพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และเพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในรูเมน (Oldham, 1984) ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่จะได้จากคาร์โบไฮเดรต นั่นคือ ถ้ามีไนโตรเจนเพียงพอแต่ขาดพลังงานก็ทำให้การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนถูกจำกัดด้วย ถ้าสัตว์ได้รับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตอย่างเพียงพอก็จะทำให้สามารถนำแอมโมเนียไปใช้ประโยชน์ได้มาก เป็นผลให้มีการกักไนโตรเจนในร่างกายน้อยลง คาร์โบไฮเดรตที่ควรจะมีอยู่ในรูปที่ย่อยได้ง่ายด้วย (บุญล้อม, 2527)

2.4.8 การย่อยสลายโปรตีนโดยจุลินทรีย์ในรูเมน

โปรตีนที่ผ่านเข้ามาในรูเมน จะย่อยถูกสลายโดยแบคทีเรียและโปรโตซัวเพื่อใช้เป็นแหล่งของ substrate สำหรับการเจริญเติบโตต่อไป ซึ่งการย่อยสลายโปรตีนของแบคทีเรียและโปรโตซัวนั้นจะมีข้อแตกต่างกันอยู่ โดย Timminga (1979) ได้ให้รายละเอียดดังนี้

1. การย่อยสลายโปรตีนโดยแบคทีเรีย

สายโพลีเปปไทด์ของโปรตีนจะแตกตัวออกเป็นส่วนของเล็กลง โดยการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) พันธะเปปไทด์ ซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นนอกเซลล์ของแบคทีเรีย จากนั้นเปปไทด์และกรดอะมิโนจะเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรีย เปปไทด์จะไฮโดรไลซิสต่อไปในเซลล์ได้ กรดอะมิโนจะถูกนำไปสร้างเป็นส่วนประกอบของจุลินทรีย์โปรตีนหรือสลายเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้บางส่วน ผลผลิตสุดท้าย (end product) ที่ผลิตได้นี้ จะถูกหลั่งออกมาจากเซลล์ของแบคทีเรีย กลับเข้าสู่ของเหลวในรูเมน ดังในภาพที่ 6

2. การย่อยสลายโปรตีนโดยโปรโตซัว

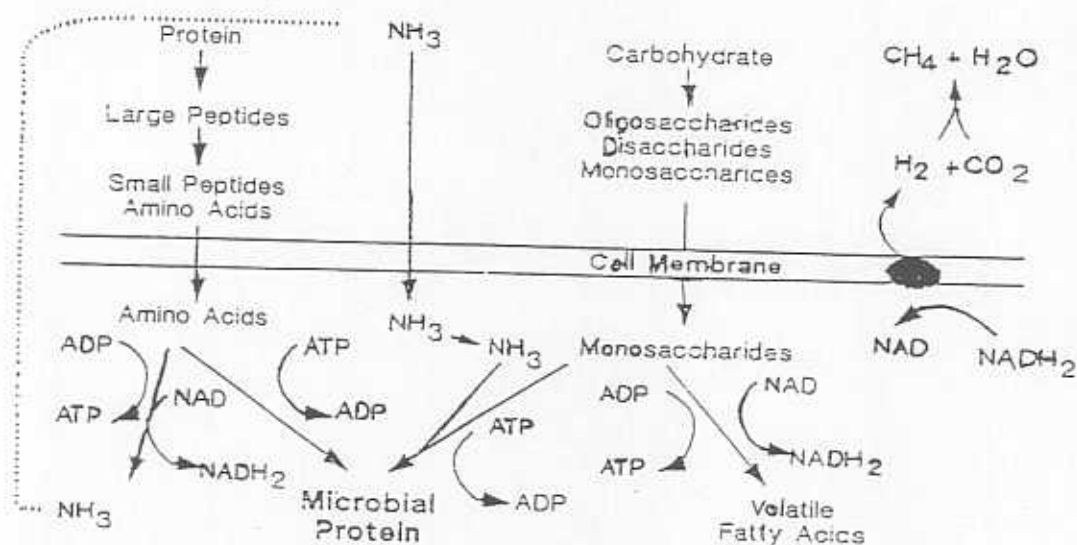
การย่อยสลายโปรตีนโดยโปรโตซัวยังไม่เป็นที่เข้าใจแน่ชัด แตกต่างไปจากแบคทีเรีย ซึ่งมีการย่อยสลายภายนอกเซลล์ ส่วนใหญ่การย่อยสลายโปรตีนของโปรโตซัวจะเกิดขึ้นภายในเซลล์ เนื่องจากโปรโตซัวมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย จึงสามารถกลืนกิน (engulf)

อนุภาคเล็ก ๆ ของอาหารรวมทั้งกินแบคทีเรียได้ด้วย กรดอะมิโนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จะถูกปล่อยออกมาสู่ช่องเหลวภายในรูเมน Coleman (1975 อ้างถึงโดย พิทยา, 2536) พบว่าประมาณครึ่งหนึ่งของกรดอะมิโนจากแบคทีเรีย จะถูกปล่อยออกจากเซลล์ของโปรโตซัวเข้าสู่ช่องเหลวในรูเมน

2.4.9 โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมน (escape protein) ในอาหารโคเม

โปรตีนที่เข้ามายังลำไส้เล็กของสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. โปรตีนจากอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมน (escape protein)
2. โปรตีนจากจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นในรูเมน
3. โปรตีนที่ถูกขับออกมาจากแหล่งต่างๆ ภายในร่างกาย (endogenous secretions)



ภาพที่ 6 แสดงการย่อยสลายและใช้ประโยชน์ของโปรตีนของแบคทีเรียในรูเมน

ที่มา : Nocek and Russell (1988)

โปรตีนทั้งสองส่วนแรกจะเป็นตัวสำคัญที่จะกำหนดว่าสัตว์จะได้รับโปรตีนเพียงพอหรือไม่ ในสัตว์ที่ให้ผลผลิตต่ำ จะมีความต้องการโปรตีนน้อย การได้รับโปรตีนจากจุลินทรีย์เท่านั้นอาจจะพอเพียง แต่ในสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูง จำเป็นจะต้องได้รับโปรตีนจากอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมนด้วย(บุญล้อม, 2527) โดยเฉพาะในโคเมที่กำลังให้ผลผลิตนั้น จะมีความต้องการอาหารโปรตีนในรูปกรดอะมิโนปริมาณสูง(NRC, 1988) แต่การย่อยสลายของโปรตีนในรูเมน จะมีผลต่อการดูดซึมกรดอะมิโนในส่วนของลำไส้เล็ก กล่าวคือ อาหารที่ย่อยสลายได้เร็ว เมื่อผ่านเข้าสู่รูเมนจะถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนีย ซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในรูเมน เพื่อใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน และจุลินทรีย์โปรตีนที่ได้จากการเจริญเติบโตของสัตว์ในรูเมน สามารถใช้เพื่อการเจริญเติบโตของสัตว์และการตั้งท้องในระยะแรกได้ (Satter and Roffler, 1974) แต่ยังไม่พอเพียงต่อความต้องการในการให้ผลผลิตในระดับสูง (Wohlt *et al.*, 1991) ดังนั้นการใช้อาหารโปรตีนที่ย่อยสลายในรูเมนได้น้อยในสูตรอาหารโคเม จึงมีความสำคัญสำหรับสัตว์ที่อยู่ในช่วงให้ผลผลิต (Chalupa, 1984)

2.4.9.1 การป้องกันการย่อยสลายของโปรตีนในรูเมน

มีการใช้วิธีป้องกันการย่อยสลายของโปรตีนในรูเมนในอาหารโคเมหลายวิธี คือ (บุญล้อม, 2527)

1. เลือกใช้แหล่งอาหารโปรตีนที่ถูกย่อยได้น้อยในรูเมน โดยที่โปรตีนแต่ละชนิดมีความสามารถในการถูกย่อยได้ต่างกัน เช่น zein ซึ่งเป็นโปรตีนจากข้าวโพด จะมีการย่อยสลายได้ต่ำเพียง 30-40% ในขณะที่เคซีน (casein) มักจะถูกย่อยได้สูงถึง 90-100% แหล่งของโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในรูเมนที่ดี คือ ปลาป่น (NRC, 1988)

2. การใช้สารเคมีในการเคลือบโปรตีนมีหลายชนิด เช่น พอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde), แทนนิน (tannin) เป็นต้น

3. การใช้ความร้อน โดยการทำให้เกิดความร้อน เช่น การอัดเม็ด, การสะกิดน้ำมัน, การอบ, การนึ่ง เป็นต้น จะทำให้โปรตีนย่อยสลายในรูเมนได้น้อยลง แต่จะต้องคำนึงถึง อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมด้วย ซึ่ง จลอง และคณะ (2534) พบว่าเมื่อ

ให้ความร้อนแก่ กากเมล็ดฝ้าย และ กากถั่วเหลือง จะทำให้การย่อยสลายในรูเมนของโปรตีนลดลง แต่ถ้าให้ความร้อนในระดับที่สูงมากเกินไปจะทำให้โปรตีนไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากสัตว์ไม่สามารถย่อยสลายโปรตีนได้

4. การป้องกันการกรดคละมิโน ได้มีการทดลองเสริมกรดคละมิโนลงในอาหารให้แก่สัตว์ที่ให้ผลผลิตสูงมาก ๆ เพราะสัตว์อาจได้รับโปรตีนไม่เพียงพอ แต่ถ้าให้กรดคละมิโนโดยตรง อาจจะถูกทำให้สลายตัวในรูเมน ทำให้การใช้ประโยชน์ไม่ดี จึงต้องมีการป้องกันการถูกย่อยสลายในรูเมน ซึ่งอาจทำได้โดย วิธีเคลือบหรือผสมกับสารที่มีไขมันหรือกรดไขมันเป็นองค์ประกอบ และวิธีทางเคมี โดยทำให้โครงสร้างของกรดคละมิโนเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ยังไม่สะดวกในทางปฏิบัติ

2.4.10 ผลของอาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมน

เนื่องจากโคที่กำลังให้ผลผลิตมีความต้องการอาหารโปรตีนในรูปกรดคละมิโน ในปริมาณสูง แต่การย่อยสลายของโปรตีนในรูเมนจะมีผลต่อการดูดซึมของกรดคละมิโนในส่วนที่ละลายได้เล็กน้อย เนื่องจากอาหารโปรตีนที่ย่อยสลายในรูเมนได้ต่ำจะทำให้กรดคละมิโนในอาหารมีโอกาสไหลผ่านลงสู่ทางเดินอาหารส่วนล่าง (lower gut) (Winsryg et al., 1991) แต่การเพิ่มอาหารโปรตีนในระดับที่สูงเกินไป ก็ไม่ช่วยให้สัตว์ได้รับประโยชน์จากอาหารที่ให้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากโปรตีนจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในรูเมนได้ ผลผลิตสุดท้ายแอมโมเนีย (Satter and Roffler, 1974) ซึ่งจะเกิดการสูญเสีย ทำให้สัตว์ใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้ต่ำ จากการหมุนเวียนผ่านวัฏจักรยูเรีย ทางน้ำลายหรือการขับถ่ายของเสีย ดังนั้น การให้มีการย่อยสลายในรูเมนต่ำ แต่มีการย่อยและดูดซึมที่ส่วนลำไส้เล็กสูง จึงเป็นแนวทางสนับสนุนให้การใช้อาหารโปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพกว่า เนื่องจากการได้รับโภชนะหรือกรดคละมิโนในปริมาณที่ใกล้เคียงกับที่มีอยู่ในอาหารเพิ่มขึ้น (Kung and Huber, 1983a)

สิ่งสำคัญในการใช้ประโยชน์ของการไหลผ่านของโปรตีน คือ การที่อาหารไม่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในรูเมน สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพในลำไส้เล็ก ซึ่งจะช่วยเพิ่มผลผลิตและปริมาณโปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น (Chalupa, 1976) ซึ่ง พัทยา

(2536) ได้ศึกษาการใช้โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมนที่ระดับต่างกัน 3 ระดับ คือ 34, 38 และ 42% ในอาหารโคคม โดยใช้ร่วมกับหญ้าซีแฮ้ง (ruzi hay) พบว่า มีแนวโน้มที่เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำนม ส่วนประกอบของน้ำนม รวมไปถึงผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ กล่าวคือ การให้อาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมนที่สูงในระดับ 38-42% จะเพิ่มปริมาณการผลิตน้ำนม โปรตีนในน้ำนม และ ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (SNF) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sklan และ Tinaky (1993) แต่ขัดแย้งกับ Higginbotham และคณะ (1989) ที่พบว่า อาหารที่มีระดับโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมนต่ำกว่าจะให้ผลผลิตที่สูงกว่า แต่อาจเนื่องมาจากความสามารถในการย่อยอย่างเด่นชัดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนและโปรตีนที่ย่อยสลายได้ต่ำในอาหาร (Winsryg *et al.* 1991 ; Kung and Huber, 1983b)

การย่อยสลายของอาหารโปรตีนในรูเมน มีผลต่อการเพิ่มและลดของผลผลิตน้ำนมในโคคม อาหารที่มีโปรตีนที่ย่อยสลายได้ต่ำมีผลต่อการส่งเสริมให้ปริมาณนมและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากโคที่กำลังให้ผลผลิตน้ำนมโดยเฉพาะที่ให้ผลผลิตสูงมีความต้องการโภชนาการทั้งเพื่อใช้ในการดำรงชีพ และ การให้ผลผลิต ซึ่งอาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายและไหลผ่านออกจากรูเมน จะมีการดูดซึมที่ส่วนของลำไส้เล็ก นำไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย จึงควรใช้ความสามารถในการไม่ถูกย่อยสลายของโปรตีนในอาหาร ร่วมกับการใช้แหล่งโปรตีนอื่นที่มีความสามารถในการย่อยสลายในรูเมน เพื่อให้สภาพการหมักมีความเหมาะสมต่อตัวสัตว์

ตารางที่ 2 ผลของระดับโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมนต่อผลผลิตและส่วนประกอบของน้ำนม

ผลผลิตน้ำนม		% ไขมันนม		% โปรตีน		แหล่งที่มา
ต่ำ	สูง	ต่ำ	สูง	ต่ำ	สูง	
19.6	20.2	4.0	4.2	3.4	3.4	Robinson and Kennelly (1988)
26.5	28.7	2.8	3.1	3.1	3.1	Higginbotham <i>et al.</i> (1989)
29.1	29.6	2.9	2.4	3.1	3.0	Taylor <i>et al.</i> (1991)
31.4	32.1	3.3	3.7	2.9	2.9	Atwal and Erfle (1992)
34.2	35.8	3.7	3.6	3.3	3.3	Carroll <i>et al.</i> (1994)
8.3	9.2	3.3	3.4	3.6	4.4	พิทยา (2536)

2.4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีนในอาหาร

การให้อาหารที่มีความสมดุลของโภชนะจะทำให้สัตว์ตอบสนอง โดยให้ผลผลิตสูงขึ้น เนื่องจากโภชนะจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ More และ Tyrrel (1972 อ้างถึงโดย กังวาน, 2531) พบว่า การเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารโคที่มีระดับพลังงานเท่ากัน ช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของโปรตีนและประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น ในอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำจะเป็นตัวจำกัดการกินได้อย่างอิสระ (voluntary intake) เพราะมีไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในรูเมนลดลง มีผลทำให้อัตราการย่อยสลายของอาหารลดลง แต่ถ้าโปรตีนเกินระดับที่เหมาะสมทำให้ความสมดุลของพลังงานลดลง หมายถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของ ME ลดลง ในสภาพที่มีโปรตีนหรือไนโตรเจนเพียงพอ ตัวที่จำกัดการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนคือพลังงาน ดังนั้นต้องมีโภชนะทั้งสองอย่างเพียงพอต่อความต้องการทั้งจุลินทรีย์และตัวสัตว์เอง ถ้าสัตว์ได้รับคาร์โบไฮเดรตเพียงพอ ทำให้การนำ

แอมโมเนียมาใช้ประโยชน์ได้มาก ถ้าพลังงานที่ใช้ คือ ATP ซึ่งได้มาจากการหมักของคาร์โบไฮเดรตที่มีเพียงพอ จะสามารถใช้ประโยชน์ร่วมกันได้ดีกับกรดอะมิโน เพื่อเปลี่ยนเป็นจุลินทรีย์โปรตีน แต่ถ้า ATP มีไม่พอเพียงจะเกิดการหมักเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน นอกจากนี้ยังเกิดการสะสมของแอมโมเนียอีกด้วย

Hoover (1986) ได้เสนอว่าระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์และการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 3.3-8.0 mg/dl แต่อย่างไรก็ตาม ค่าเหล่านี้อาจอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1-73 mg/dl และขึ้นอยู่กับอาหารโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตอีกด้วย ความแตกต่างของคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่จะมีผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในรูเมน จากการศึกษาในระบบ *in vitro* พบว่าการเติมคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายในรูปของแป้งหรือน้ำตาลลงในการหมัก rumen fluid ทำให้มีแอมโมเนียเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากว่าแอมโมเนียถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์จุลินทรีย์ (บุญล้อม, 2527) และยังมีผลทำให้ประชากรของจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น พวกแบคทีเรียที่ใช้เซลลูโลสจะมีความสัมพันธ์กับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในรูเมน หากแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีความเข้มข้นต่ำจะทำให้การย่อยสลายพวกคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate) โดยแบคทีเรียจำพวกนี้ลดลง

2.5 การใช้กากน้ำตาลผสมยูเรียในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในช่วงฤดูแล้งการเลี้ยงโคนมจะประสบปัญหาอย่างมาก เนื่องจากขาดแคลนอาหารหยาบที่มีคุณภาพดี โดยทั่วไป อาหารหยาบที่ใช้ คือ พางข้าว เพราะมีปริมาณมากและจัดหาได้ง่าย แต่พางข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำมาก คือ มีโปรตีน (CP) ประมาณ 3% และประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างในปริมาณที่สูงมาก เช่น acid detergent fiber (ADF) 49.3% (เมธา, 2529) จึงมีการแก้ไขโดยการปรับปรุงการใช้ประโยชน์จากพางข้าว วิธีที่นิยมมากที่สุด คือ การหมักด้วยยูเรีย อย่างไรก็ตาม ยังมีแนวทางอื่น ๆ ที่น่าจะมีการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงการใช้ประโยชน์จากพางข้าวได้ จากรายงานของ กองวิจัยการเกษตร (2536) พบว่า ประเทศไทยมีการส่งออกกากน้ำตาลใน

ปี 2535-2536 เป็นจำนวน 1.05 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 1,473.10 ล้านบาท ซึ่งนับว่าเป็นจำนวนมาก จึงได้มีการนำเอากากน้ำตาลมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์

กากน้ำตาล(molasses) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่าย(non-structural carbohydrate, NSC) เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทราย โดยปกติในการผลิตน้ำตาลทราย 100 กิโลกรัม จะได้กากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้ประมาณ 25-50 กิโลกรัม กากน้ำตาลมีหลายชนิดตามพืชที่ใช้ในการผลิตน้ำตาล เช่น กากน้ำตาลอ้อย (sugar cane molasses) กากน้ำตาลจากหัวบีท (sugar beet molasses) เป็นต้น ซึ่งกากน้ำตาลจากอ้อยเป็นชนิดที่หาได้ง่ายที่สุด (สาโรช, 2523) กากน้ำตาลมีคุณสมบัติเป็นของเหลวข้น สีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นหอม จึงได้มีการนำกากน้ำตาลมาเป็นอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยใช้เป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานอื่น ๆ ช่วยลดความเป็นพิษ เพิ่มรสชาติให้กับอาหาร และยังเป็นตัวเชื่อมส่วนผสมให้สามารถอัดเป็นเม็ดได้ (จรัส, 2527)

การใช้กากน้ำตาลสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้หลายรูปแบบ เช่น ผสมอาหารแห้งเพื่อทำอาหารข้นหรืออาหารอัดเม็ด, ให้สัตว์เลียกินในรูปของเหลวหรือของแข็งเป็นก้อน, ผสมอาหารหยาบพวกฟางหรือหญ้า นอกจากนี้ยังใช้เป็นสิ่งที่เติมลงในการหมักหญ้าหมัก โดยใช้ประมาณ 8% ของส่วนผสมทั้งหมด กากน้ำตาลจะเกิดการหมัก ทำให้มีคุณค่าทางอาหารมากขึ้น และช่วยทำให้อาหารมีกลิ่นและรสที่น่ากินด้วย แต่กากน้ำตาลมีข้อจำกัดในการใช้ คือ เป็นของเหลว ทำให้ยากแก่การขนส่งไปในระยะทางไกล และมีปริมาณของไนโตรเจนต่ำ (เกียรติภูมิ, 2530) นอกจากนี้ถ้าสัตว์ได้รับกากน้ำตาลในปริมาณมากจะเกิดพิษกับสัตว์ได้ ซึ่ง Preston และ Leng (1987) พบว่าสัตว์ที่ได้รับกากน้ำตาลอย่างรวดเร็วจะเกิดผลเสีย คือ เกิดเป็นพิษ (molasses toxicity) และท้องอืด (bloat) ขึ้น โดยความเป็นพิษที่เกิดขึ้นนี้ เนื่องจากการขาดแคลนกลูโคส เพราะเมื่อสัตว์ได้รับกากน้ำตาลระดับของโปรบิโอเทสจะลดลงอย่างเด่นชัด (Losada and Preston, 1973 อ้างถึงโดย Preston and Leng, 1987) ซึ่งในโคนมพบว่า 60% ของกลูโคสจะผลิตจากโปรบิโอเทส ส่วนการเกิดท้องอืดน่าจะมาจากเมื่อสัตว์ได้รับกากน้ำตาลอย่างรวดเร็ว จะทำให้อัตราการหมักสูง ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลง โปรคาร์บอเนต (bicarbonate) ในของเหลวในรูเมนจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

การผลิตแกลสจะเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก ทำให้เกิดท้องอืด (Preston and Leng, 1987) นอกจากนี้ Ernst และคณะ (1975) พบว่าการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวเป็นอาหารโคจะเพิ่มการกินได้ของอาหารหยาบ แต่ไม่ได้เพิ่มการย่อยได้ เนื่องจากกากน้ำตาลมีรสชาติหอมหวาน แต่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ สัตว์จึงได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายและของจุลินทรีย์ในรูเมน จึงได้มีการปรับปรุงโดยการเพิ่มไนโตรเจน ซึ่งกากน้ำตาลมีปริมาณน้อย โดยแหล่งที่ใช้ คือ ยูเรีย Burroughs และคณะ (1971, 1974 อ้างถึงโดย เมธา, 2533) ได้เสนอระบบการให้ยูเรียร่วมกับอาหารชนิดต่าง ๆ โดยใช้ระบบ Urea Fermentation Potential (UFP) ซึ่งอาศัยระดับของพลังงานที่ย่อยได้ และปริมาณของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในรูเมนสามารถใช้สูตรคำนวณหาค่า UFP ของอาหารแต่ละชนิดพบว่า กากน้ำตาลมีค่า UFP เท่ากับ 20.1 ก/กก. ในขณะที่ปลายันมีค่าเท่ากับ -177.1 ก/กก. ซึ่งหมายความว่า การให้ยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลจะให้ผลดีกว่าใช้ร่วมกับปลายัน จึงได้มีการนำกากน้ำตาลมาใช้ร่วมกับยูเรียในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งของพลังงานและยูเรียเป็นแหล่งของไนโตรเจน Ernst และคณะ (1975) พบว่า เมื่อเสริมยูเรีย-กากน้ำตาลในโคจะเพิ่มการกินได้และการย่อยได้ของวัตถุดิบแห้ง (dry matter, DM) ของหญ้าแห้ง เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการกินได้ของอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำ คือ ระดับของไนโตรเจน (Weston, 1967 อ้างถึงโดย Ernst et al., 1975) Oldham (1984) พบว่า ปริมาณอาหารที่กินได้และการย่อยได้ของอาหารจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มโปรตีนในอาหาร เนื่องจากมีจุลินทรีย์ทั้งชนิดและปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอต่อการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนจากโปรตีน ซึ่งมีผลให้ปริมาณการกินได้สูงขึ้นอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการย่อยที่ดีขึ้น จีระชัย และ บุญล้อม (2529) ได้ศึกษาการให้ยูเรีย-กากน้ำตาลราดบนฟางข้าวเปรียบเทียบกับฟางหมักยูเรีย 4% พบว่าการให้ยูเรีย-กากน้ำตาลราดบนฟางข้าวจะเพิ่มการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการจาก 43.23% เป็น 55.07% เนื่องจากเมื่อให้ยูเรีย-กากน้ำตาล จุลินทรีย์ในรูเมนจะได้รับแอมโมเนียจากการแตกตัวของยูเรีย และได้รับพลังงานจากกากน้ำตาล ซึ่งจะนำมาสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ทำให้จำนวนของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ใช้เซลลูโลสเพิ่มขึ้น ทำให้การย่อยได้ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับฟางหมักยูเรีย 4% พบว่าฟางหมักยูเรียมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบแห้ง (DM) และ อินทรีย์วัตถุ (OM) สูง

กว่า (54.16 กับ 51.94 และ 55.52 กับ 52.15 ตามลำดับ) แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการกินได้ พบว่า พางข้าวราดขี้เถ้า-กากน้ำตาลมีปริมาณการกินได้สูงกว่า อาจเนื่องมาจากขี้เถ้า-กากน้ำตาลมีกลิ่นที่หอมและมีรสหวานแต่พางหมักขี้เถ้ามีกลิ่นของแอมโมเนียซึ่งฉุน ทำให้ลดการกินได้ของสัตว์ลง นอกจากนี้ Hatch และ Beeson (1972) พบว่า เมื่อเสริมขี้เถ้า-กากน้ำตาลจะเพิ่มปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดและแอมโมเนียในรูเมน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมของจุลินทรีย์สำหรับการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนดีขึ้น และ Hennessy และคณะ (1978) พบว่า โคที่สามารถรักษาน้ำหนักมีชีวิตในช่วงฤดูแล้งได้ จะต้องมีการกินได้ของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (digestibility organic matter intake, DOMI) $41 \text{ g kg}^{-0.75}/\text{วัน}$ ซึ่งในโคที่ได้รับการฉีดขี้เถ้า-กากน้ำตาลเข้าในรูเมนโดยผ่านท่อที่เจาะไว้ (rumen fistulated) จะมีค่า DOMI $46.8 \text{ g kg}^{-0.75}/\text{วัน}$ ดังนั้นสัตว์จึงสามารถรักษาน้ำหนักมีชีวิตในช่วงฤดูแล้งได้ ซึ่งสอดคล้องกับ White และคณะ (1973)

ตารางที่ 3 แสดงส่วนประกอบทางโภชนาของกากน้ำตาล

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
Dry matter (%)	75.00
TDN (%)	72.00
Crude protein (%DM)	5.80
Calcium (%DM)	1.00
Phosphorus (%DM)	0.11
ME (Mcal/kg)	2.76
NEI (Mcal/kg)	1.64
NE _m (Mcal/kg)	1.91
NE _g (Mcal/kg)	1.27

ที่มา : คัดแปลงจาก NRC (1988) และ Wiedmeier และ คณะ (1992)

แต่เนื่องจากการใช้ยูเรีย-กากน้ำตาลในรูปของเหลว จะประสบปัญหาในด้านการขนส่งเป็นระยะทางไกล และมักเกิดปัญหาเกี่ยวกับการเป็นพิษของยูเรีย (เกียรติกุมิ, 2530) และของกากน้ำตาลเอง (Preston and Leng, 1987) ถ้าสัตว์ได้รับในปริมาณมากและรวดเร็ว จึงได้มีการปรับปรุงรูปแบบการใช้ยูเรีย-กากน้ำตาลขึ้นมาในรูปแบบใหม่ โดยนำมาผสมกับวัตถุดิบอาหารอื่น ๆ ที่มีในท้องถิ่น เพื่อเพิ่มโอกาสให้เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ โดยการอัดเป็นก้อนหรือเม็ดเพื่อช่วยแก้ปัญหาด้านต่าง ๆ เช่น การขนส่ง, ลดอันตรายที่เกิดจากการได้รับยูเรีย-กากน้ำตาลในปริมาณที่มากและรวดเร็ว ซึ่งอาหารที่ผลิตได้มีชื่อเรียกที่ต่างกัน เช่น urea molasses mineral block lick (Garg and Gupta, 1992a), urea molasses multivitamin block (Cheva-Isarakul and Cheva-Isarakul, 1991), อาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูง (High quality feed block/pellet, HQFB/HQFP) (เมธา และคณะ, 2535) เป็นต้น

2.6 ผลของการเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูง (High quality feed block /pellet, HQFB/HQFP)

อาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูง เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารที่มีคุณภาพดีในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งจะประกอบด้วยสูตรอาหารที่มีแหล่งอาหารที่จำเป็น เพื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารอาหารให้เพียงพอต่อศักยภาพการผลิตน้ำนม กระตุ้นและส่งเสริมการย่อยอาหาร ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพการกินได้ของอาหารหยาดด้วย อาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูงจะประกอบไปด้วย พลังงานที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น กากน้ำตาล, มันเส้น โปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น ยูเรีย โปรตีนที่ย่อยสลายได้ต่ำในรูเมน เช่น ปลาบ่น, กากเมล็ดฝ้าย ไขมัน แร่ธาตุ วิตามิน และสารยัด (เมธา, 2538) ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่กากน้ำตาล-ยูเรีย ให้เพียงพอและเหมาะสมต่อการนำมาเลี้ยงสัตว์ ในการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากอาหารหยาดคุณภาพต่ำ (Huque and Stem, 1994) ซึ่งพบว่าสัตว์ที่ได้รับอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูง จะมีผลการตอบสนองต่อการย่อยได้ ปริมาณการกินได้อย่างอิสระ (voluntary feed intake, VFI) และสภาพร่างกาย

ของสัตว์เป็นไปในทางบวก (Preston and Leng, 1987) รวมทั้งมีผลทำให้เพิ่มผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมัก (Leng, 1984) เมธา และคณะ (2535) ได้ศึกษาผลของการเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูง ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูง 500 กรัม/ตัว/วัน พบว่า ปริมาณการกินฟางข้าวเพิ่มขึ้น 22% ในกระบือ 20% ในโคเนื้อ และ 15% ในโคนม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Garg และ Gupta (1992b) โดยพบว่า นอกจากปริมาณการกินได้ของฟางข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูงให้แก่สัตว์แล้ว ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนและอัตราผลิตแบคทีเรียในรูเมนก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นเพราะการเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูงจะช่วยเพิ่มโภชนาที่สัตว์ขาดแคลนเมื่อกินฟางข้าว นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูงจะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำนมในกระบือมูราห์ (Kunju, 1988) และในแพะนมด้วย (Sarwiyono *et al.*, 1992) เมธา (2538) ได้ศึกษาการใช้อาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูงในโคนม พบว่าผลผลิตน้ำนม, เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม, เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม และเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (SNF) ในน้ำนมจะเพิ่มขึ้นได้มีการศึกษาผลของการเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูงในฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย โดย Cheva-Isarakul และ Cheva-Isarakul (1991) ซึ่งเปรียบเทียบผลของการเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูงในฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย กับฟางข้าวธรรมดาและฟางหมักยูเรียที่ไม่มีการเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูง พบว่า เมื่อเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูง จะเพิ่มปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของโภชนาทั้งในฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย และการเสริมในฟางหมักยูเรียจะให้ค่าสูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูงในฟางข้าวกับฟางหมักยูเรีย พบว่า มีปริมาณการกินได้ที่สูงกว่า และค่าการย่อยได้ของโภชนาก็ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูง สามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ให้กับสัตว์ที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหลักได้ดี ดังตารางที่ 4 ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับ Badurdeen และคณะ (1994)

ดังนั้น อาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูง จึงเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารหมักที่มีคุณภาพในช่วงฤดูแล้งที่น่าสนใจอีกแนวทางหนึ่ง เพราะเป็นการนำวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ มีวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก เกษตรกรสามารถผลิตขึ้นใช้

ได้เอง การขนส่งสะดวก และลดอันตรายที่จะเกิดกับสัตว์เนื่องจากความเป็นพิษของยูเรีย และกากน้ำตาล ซึ่งผลของการเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูงสามารถช่วยให้สัตว์ได้รับ โภชนะที่เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย โดยเสริมในปริมาณที่น้อยเมื่อ เทียบกับปริมาณการใช้อาหารข้น จึงเป็นแนวทางที่ช่วยแก้ไขปัญหาค่าให้เกษตรกรรายย่อย ในการเลี้ยงโคนม ให้สามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของน้ำนมเพื่อเพิ่มรายได้ให้มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4 แสดงผลของการเสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูงในทางและทางหมักยูเรีย เปรียบเทียบกับทางและทางหมักยูเรียที่ไม่ได้เสริมอาหารก้อน/เม็ดคุณภาพสูง

รายการ	ทาง	ทาง+HQFB	ทางหมักยูเรีย	ทางหมักยูเรีย+HQFB
Total DMI				
(%LW)	2.3	3.2	2.7	3.5
Digestibility				
DM	49.0	55.3	58.3	63.1
OM	54.5	60.7	65.3	70.3
NDF	48.4	55.2	67.0	71.8
ADF	48.1	53.6	59.2	61.8

ที่มา : Cheva-Isarakul และ Cheva-Isarakul (1991)