

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

อาหารโปรตีนเป็นโภชนะหลักที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก และมีความจำเป็นเพื่อใช้ในการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และการให้ผลผลิต โดยพบว่าประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวเป็นสารประกอบโปรตีน ซึ่งโปรตีนเหล่านี้จะอยู่ในเนื้อเยื่อ เอนไซม์ ฮอร์โมน และภูมิคุ้มกันภายในร่างกาย (Tisch, 2006) นอกจากนี้ ฉลอง (2541) กล่าวว่า โปรตีนเป็นอินทรีย์สารที่ประกอบไปด้วย กรดอะมิโน ซึ่งมีหมู่อะมิโน (NH_2) และหมู่คาร์บอกซิล (COOH) เกาะติดกับธาตุคาร์บอนซึ่งเป็นแกนกลาง โปรตีนสามารถจำแนกได้ 2 ส่วน ได้แก่ โปรตีนแท้ (true protein) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจับกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเปปไทด์ ได้แก่ อัลบูมิน โกลบูลิน โปรลามีน และกลูเตลิน เป็นต้น วัตถุดิบอาหารโปรตีนกลุ่มนี้ เช่น โปรตีนจากสัตว์ เช่น เลือดป่น ปลาป่น เป็นต้น และโปรตีนจากพืช เช่น กากถั่วเหลือง กากปาล์ม เป็นต้น อีกส่วนหนึ่งคือ NPN ได้แก่ กรดอะมิโนอิสระ ไพริมิดีน พิวรีน แป้งไคต์ เอไมด์ เอมีน ไนเตรท ไนไตรท์ ยูเรีย และไบยูเรท แหล่งของ NPN ที่นิยมกันอย่างแพร่หลายใช้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง คือ ยูเรีย เพราะหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูกเมื่อเทียบราคาต่อหน่วย CP

กรดอะมิโนซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามความต้องการของสัตว์ คือ กรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) เป็นกลุ่มของกรดอะมิโนที่ตัวสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ จำเป็นที่จะต้องได้รับจากอาหารที่กินเข้าไป ได้แก่ อาร์จินีน ฮีสติดีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน ไลซีน เมไทโอนีน เบนิลอะลานีน ทรีโอนีน ทริปโตเฟน และวาเลีน กรดที่จำเป็นเหล่านี้ต้องมีเพียงพอในอาหาร ถ้าขาดจะทำให้การเจริญเติบโตไม่ดีหรือให้ผลผลิตได้ไม่เต็มที่ตามพันธุกรรมของสัตว์ อีกชนิดหนึ่งคือ กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non essential amino acid) เป็นกลุ่มของกรดอะมิโนที่ร่างกายของสัตว์สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาเองได้ ได้แก่ อะลานีน กรดแอสพาร์ติก ซีสเตอีน กลูตามีน กรดกลูตามิก ไกลซีน ไพรอลีน เซอริน และไทโรซีน เนื่องจากในโคมิจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักที่มีความสามารถในการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นโปรตีนในตัวจุลินทรีย์ (microbial protein) โคสามารถให้ประโยชน์จากโปรตีนจุลินทรีย์ที่มีส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นประกอบอยู่อีกต่อหนึ่ง ดังนั้น ถ้าให้กรดอะมิโนจำเป็นในระดับที่เพียงพอ คุณภาพโปรตีนในอาหาร โคจึงมีความสำคัญน้อยกว่าในสัตว์กระเพาะเคี้ยวที่มีความต้องการโปรตีนคุณภาพสูง ซึ่งระดับโปรตีนที่ต้องการในโคจะค่อยๆ ลดลงตามสัดส่วนของอายุโคที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะความจำเป็นในการใช้โปรตีนจากอาหารเพื่อใช้ในการ

เจริญเติบโตของกล้ามเนื้อลดลง เช่น ในโคสาวช่วงอายุ 1 ปี มีความต้องการโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร TMR เพียงพอต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต (วิโรจน์, 2546)

สูตรอาหารที่มีคุณภาพ โปรตีนสูงส่งผลให้โคมีปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ดังรายงานของ Poos et al. (1979) ได้ทำการศึกษา ใช้กากถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับยูเรียเพื่อเป็น แหล่งของโปรตีนในสูตรอาหาร โดยใช้ข้าวโพดหมัก อัลฟัลฟาหมัก และชังข้าวโพดบดเป็นแหล่ง อาหารหยาบ โดยมีสูตรอาหาร 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 ไม่มีการใช้ยูเรียและกากถั่วเหลือง สูตรที่ 2 การใช้ยูเรีย 3.7 เปอร์เซ็นต์ และ สูตรที่ 3 การใช้กากถั่วเหลือง 17.4 เปอร์เซ็นต์ โดยอาหารทั้ง 3 สูตร มีโปรตีน 17 เปอร์เซ็นต์เท่ากันทุกสูตร พบว่า การใช้กากถั่วเหลืองสูตรอาหารมีการกินได้ของวัตถุดิบ สูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 14.4, 15.7 และ 20.3 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ นอกจากนี้อาหารสูตรที่ ใช้กากถั่วเหลืองมีการย่อยได้ของวัตถุดิบสูงสุด คือ 59.1, 67.0 และ 67.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากกากถั่วเหลืองมีส่วนโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กและ กระเพาะแท้และถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กโคจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2.2 การแบ่งประเภทโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในปัจจุบันการให้อาหาร โปรตีนจะต้องคำนึงถึงความต้องการโปรตีนแท้ และความต้องการ ของจุลินทรีย์เพื่อสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะหมัก จึงจะทำให้โคตอบสนองต่อการให้ ผลผลิตได้ดี การจำแนกอาหารโปรตีนตามคุณสมบัติการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเป็น 2 ลักษณะ คือ rumen degradable protein (RDP) หมายถึง อาหารโปรตีนส่วนที่ย่อยสลายได้ใน กระเพาะหมัก ซึ่ง RDP ในส่วนของ CP ประกอบด้วยทั้งโปรตีนแท้ และ NPN โดย RDP จะสลายตัวในกระเพาะหมักได้เป็นแอมโมเนีย จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจะใช้แอมโมเนียร่วมกับ คาร์โบไฮเดรตเพื่อการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ในรายงานของ Karsli and Russell (2001) กล่าวว่า การให้โปรตีน 11 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร เพียงพอกับความต้องการของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อีกส่วนหนึ่งคือ rumen undegradable protein (RUP) หมายถึง อาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก แต่มีการไหลผ่านไป ย่อยสลายที่ส่วนของลำไส้เล็กส่วนต้น โดยส่วนที่เป็นโปรตีนจากตัวจุลินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดย เอนไซม์ต่างๆ ที่ลำไส้เล็กได้เป็นกรดอะมิโน และถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือด เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่ง NRC (2001) รายงานไว้ว่า ระดับของ RUP ที่เหมาะสมในโคนมเพื่อ ใช้ประโยชน์จากอาหาร โปรตีนอย่างสูงสุดควรอยู่ที่ระดับ 35 เปอร์เซ็นต์

การให้โปรตีนในระดับสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนออกจากร่างกาย ทำให้การใช้โปรตีนไม่มีประสิทธิภาพ Cunningham et al. (1996) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของแหล่ง

ของโปรตีนและระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในสูตรอาหาร โดยใช้ข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบ กลุ่มทดลองแบ่งเป็น กลุ่มที่ 1 สูตรอาหารที่มีระดับ CP 14.5 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 2 สูตรอาหารที่มีระดับ CP 16.5 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับของ RUP ต่ำ กลุ่มที่ 3 สูตรอาหารที่มีระดับ CP 16.5 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับของ RUP สูง กลุ่มที่ 4 สูตรอาหารที่มีระดับ CP 18.5 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับของ RUP ต่ำ และกลุ่มที่ 5 สูตรอาหารที่มีระดับ CP 18.5 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับของ RUP สูง พบว่า เมื่อเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารจาก 14.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 16.5 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตน้ำนมปรับไขมันที่ 4 เปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระดับ CP เป็น 18.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ผลผลิตน้ำนมไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 16.5 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลจากระดับของ RUP ที่แตกต่างกัน (24.7, 26.3, 28.4, 27.1 และ 30.3 กิโลกรัม ตามลำดับ)

นอกจากนี้ Nocek and Russell (1988) รายงานว่า โปรตีนยังสามารถแบ่งตามอัตราการละลายได้ในกระเพาะหมักได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ 1) กลุ่มที่มีละลายทันที (ส่วน A) มีการละลายที่รวดเร็วในกระเพาะหมัก เช่น ยูเรีย แอมโมเนีย และกรดอะมิโนอิสระ ถ้ามีโปรตีนส่วนนี้ในปริมาณมากเกินไปอาจทำให้เกิดพิษจากแอมโมเนียได้ 2) กลุ่มที่ไม่มีการละลายแต่มีการย่อยสลายได้ (ส่วน B) สามารถแบ่งเป็นหลายส่วนย่อย คือ กลุ่มที่มีการย่อยสลายอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมัก กลุ่มที่มีการย่อยสลายปานกลาง และกลุ่มที่มีการย่อยสลายช้าในกระเพาะหมัก โดยส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายที่กระเพาะหมักนี้จะไหลผ่านไปย่อยสลายและดูดซึมที่ลำไส้เล็กที่กระเพาะแท้ต่อไป และ 3) กลุ่มที่ไม่มีละลายและไม่มีการย่อยสลาย (ส่วน C) หรือโปรตีนในเยื่อใย ADF (acid detergent insoluble protein, ADIP) โปรตีนส่วนนี้จะมีการยึดเกาะกันอย่างแน่นหนากับเยื่อใย ADF พบในใบและลำต้นของพืช โปรตีนส่วนนี้สัตว์ไม่สามารถย่อยสลายได้ ทำให้สัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ และถูกขับออกไปทางมูล (ตารางที่ 2-1)

อัตราในการย่อยสลายของอาหารโปรตีนในกระเพาะหมักที่แตกต่างกันมีผลต่อการให้ผลผลิตของโคนม ในรายงานของ Brito and Broderick (2007) ได้ทำการศึกษาการใช้แหล่งโปรตีนจากยูเรียเปรียบเทียบกับโปรตีนจากพืชได้แก่ solvent soybean meal (SSBM), cotton seed meal (CSM) และ canola meal (CM) โดยในแต่ละสูตรอาหารมี CP เท่ากันคือ 16.6 เปอร์เซ็นต์ ใช้ข้าวโพดหมัก 35 เปอร์เซ็นต์ และถั่วอัลฟาฟ่าหมัก 21 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก โดยแบ่งอาหารเป็น 4 สูตร คือ สูตรที่ 1 ใช้ยูเรีย 2 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับ high-moisture shelled corn (HMSC) 41 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 2 ใช้ SSBM 12 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการใช้ HMSC 31 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 3 ใช้ CSM 14 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับ HMSC 29 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ 4 ใช้ CM 16 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับ HMSC 27 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การเสริมยูเรียทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบจะต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 22.1, 24.2, 24.7 และ 24.9 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ และปริมาณผลผลิตน้ำนม

ต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 32.9, 40.0, 40.5 และ 41.1 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเสริมโปรตีนจากยูเรียทำให้ลดปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ และผลผลิตน้ำนมลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการให้โปรตีนจากรัฐพืชชนิดต่างๆ นอกจากนี้ สูตรที่ใช้ยูเรียในสูตรอาหารทำให้ระดับของยูเรียในโตรเจนในกระแสเลือด (blood urea nitrogen, BUN) สูงที่สุด โดยระดับ BUN ในกระแสเลือดมีค่าเท่ากับ 16, 12.5, 12.8 และ 13 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากยูเรียมีการละลายอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมักได้เป็นแอมโมเนีย จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจะนำแอมโมเนียมาใช้ควบคู่กับแหล่งพลังงานไม่สมดุลกัน แอมโมเนียที่เหลือจากการใช้ของจุลินทรีย์ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักไปยังกระแสเลือด ส่งผลทำให้มีระดับ BUN สูงกว่าสูตรอื่นๆ นอกจากนี้ การใช้ยูเรียในสูตรอาหารจะทำให้การย่อยได้ของวัตถุดิบและการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ โดยการย่อยได้ของวัตถุดิบมีค่าเท่ากับ 71.9, 70.0, 68.9 และ 69.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าเท่ากับ 72.8, 70.1, 66.2 และ 69.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากยูเรียมีการย่อยสลายได้ง่ายและย่อยได้เร็ว ทำให้มีแหล่งแอมโมเนียเพียงพอกับการใช้ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แต่การใช้ยูเรียในสูตรอาหารจะทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบลดลง เนื่องจากทำให้รสชาติอาหารมีความน่ากินต่ำ แต่การใช้ยูเรียในสูตรอาหารจะทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น และทำให้ระดับ BUN สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้โปรตีนแท้

ตารางที่ 2-1 แสดงการแบ่งส่วนการละลายหรือย่อยสลายได้ของโปรตีนในกระเพาะหมัก

ส่วนของการละลาย	โปรตีน	ความสามารถในการละลายหรือการย่อยสลาย	% ละลายต่อ ชม.
A	แอมโมเนีย, กรดอะมิโนอิสระ และโปรตีนที่ละลายได้	ละลายได้ทันที	2 - 240
B ₁	ย่อยสลายเร็วมาก เช่น โปรตีน และ โอลิโกเปปไทด์	มีการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว	1 - 30
B ₂	โปรตีนที่ย่อยสลายเร็ว	ไม่ละลายแต่ย่อยสลาย	
B ₃	โปรตีนที่ย่อยสลายเร็วปานกลาง	ไม่ละลายแต่ย่อยสลาย	
B ₄	โปรตีนที่ย่อยสลายช้ามาก	ไม่ละลายแต่ย่อยสลาย	
C	โปรตีนที่จับกับ ADF	ไม่ละลายและไม่ย่อยสลาย	0

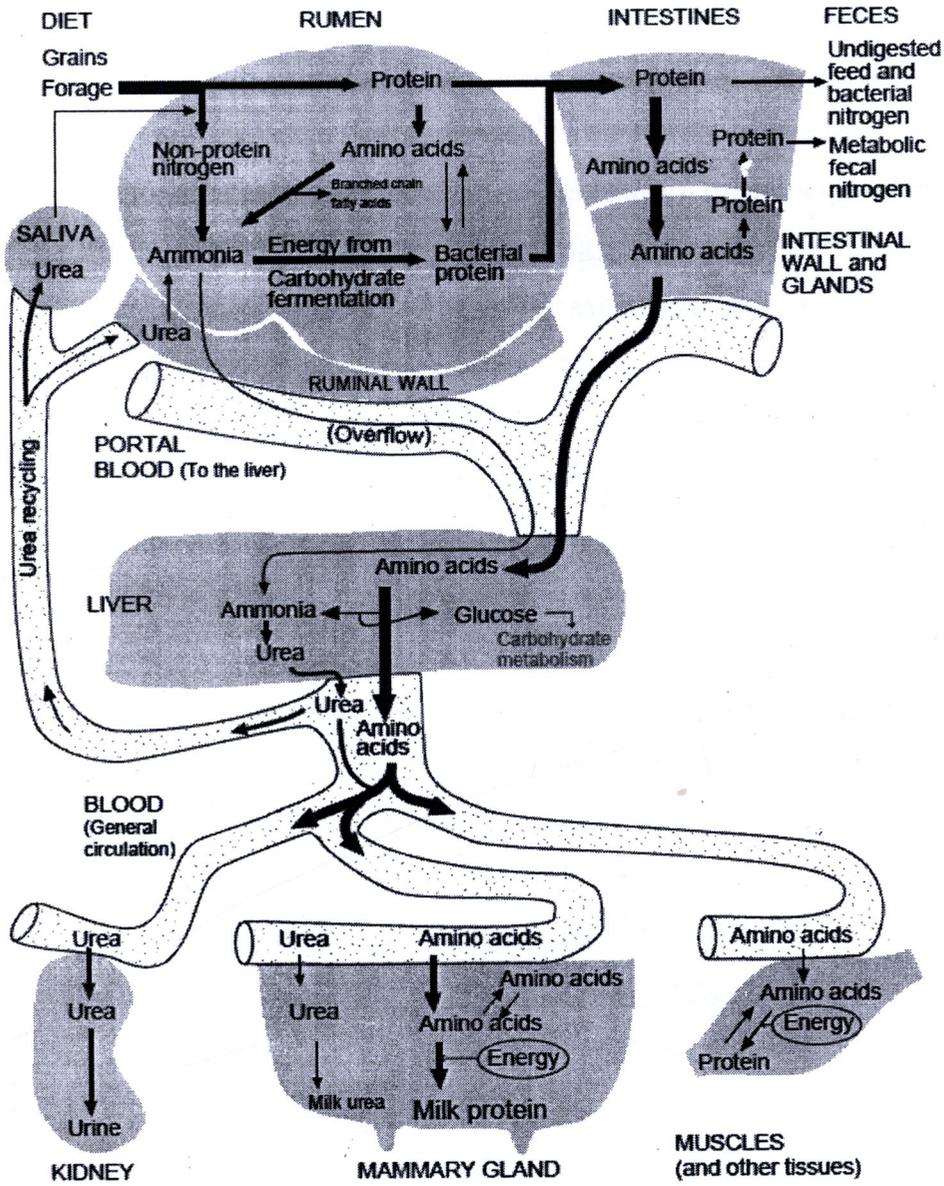
ที่มา : Nocek and Russell (1988)

Huber and Kung (1981) รายงานว่า การใช้ยูเรียที่ระดับ 1.5-2 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร จะทำให้อัตราการกินได้ลดลง ซึ่งแตกต่างจากโปรตีนจากรัฐพืชที่ละลายได้บางส่วนในกระเพาะหมัก

โดยส่วนใหญ่มีการไหลผ่านไปยังย่อยและดูดซึมที่ลำไส้เล็ก ส่งผลให้กลุ่มที่ได้รับการเสริมโปรตีนจากพืชมีปริมาณการกินได้ของสิ่งแห้งและผลผลิตน้ำนมในระดับสูงกว่าการใช้ยูเรียที่มีการละลายอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมัก

2.3 การเมทาบอลิซึมของโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายเป็นเปปไทด์ กรดอะมิโน และแอมโมเนีย กรดอะมิโนจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนียโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ซึ่งบางส่วนจะถูกใช้ในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน สัดส่วนของโปรตีนประมาณกว่า 65 เปอร์เซ็นต์จะถูกย่อยในกระเพาะหมัก ส่วนที่เหลือจะไหลผ่านไปยังกระเพาะส่วนล่าง และผ่านต่อไปยังลำไส้เล็ก การย่อยจะเป็นเช่นเดียวกับการย่อยของสัตว์ กระเพาะเคี้ยว คือ มีการย่อยโดยเอนไซม์ที่ขับออกมาจากกระเพาะจริงและลำไส้เล็ก โปรตีนที่ไหลผ่านมายังกระเพาะส่วนล่างจะประกอบด้วยส่วนผสมของโปรตีนในอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (undegraded dietary protein, UDP) และจุลินทรีย์โปรตีนคือประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนที่ผ่านไปยังลำไส้เล็กทั้งหมด จุลินทรีย์โปรตีนประกอบไปด้วยกรดอะมิโนจำเป็นซึ่งเหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ ดังนั้นสัตว์เคี้ยวเอื้องจึงสามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งอาหารที่มีโปรตีนต่ำได้ดีกว่าสัตว์ชนิดอื่นๆ แต่ยังคงสามารถนำไปผลิตโปรตีนที่มีคุณภาพสูง เช่น เนื้อ หรือน้ำนมได้ (Wattiaux, 2000) (ภาพที่ 2-1) แต่หากระดับของแอมโมเนียมีอยู่สูงเกินกว่าความต้องการของจุลินทรีย์เพื่อสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนและการเจริญเติบโตและมีพลังงานในอาหารอยู่อย่างจำกัด แอมโมเนียบางส่วนจะถูกดูดซึมผ่านผนังของกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อลำเลียงไปยังตับ ผ่านทางเส้นเลือดดำ (portal vein) เพื่อเมทาบอลิซึมให้เป็นยูเรีย โดยวัฏจักรยูเรีย ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณไมโทคอนเดรียของเซลล์ตับซึ่งตับจะทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นยูเรียแล้วขับออกจากร่างกาย ถ้ามีก๊าซแอมโมเนียมากเกินไปจนตับไม่สามารถเปลี่ยนยูเรียและขับออกจากร่างกายได้ทันจะทำให้เกิดพิษ (เปรมใจ และคณะ 2548) นอกจากนี้เมธา (2533) กล่าวว่า ในน้ำลายประกอบด้วยยูเรียประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ของสารประกอบไนโตรเจนทั้งหมด ยูเรียที่ดูดซึมไปตามกระแสเลือดบางส่วนจะถูกหมุนเวียนโดยผ่านทางน้ำลายหรือดูดซึมผ่านทางผนังกระเพาะหมัก ทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้รับไนโตรเจนเพื่อใช้ในการสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2-1 การเมตาบอลิซึมของโปรตีนในโคนม

ที่มา : Wattiaux (2000)

2.4 การย่อยสลายอาหารโปรตีนโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในกระเพาะหมักมีความหลากหลายทางระบบนิเวศของจุลินทรีย์ แต่จุลินทรีย์ไม่ได้มีแหล่งกำเนิดเพียงในกระเพาะหมักเท่านั้น แต่อาจติดมากับอาหารที่กินหรือมาจากสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เนื่องจากสภาพภายในกระเพาะหมักนั้นเป็นระบบไร้ออกซิเจน จึงทำให้กลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีอาหารและมีความเป็นกรดต่ำที่เหมาะสมเท่านั้น โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง อัตราการขยายตัวของจุลินทรีย์ควรจะสูงกว่าอัตราการไหลออกจาก

ของเหลวในกระเพาะหมัก เพราะทั้งแบคทีเรียและโปรโตซัวจะเกาะติดอยู่กับอนุภาคของอาหาร ในขณะที่ชิ้นส่วนของอาหารไหลผ่านออกจากกระเพาะหมักอย่างต่อเนื่อง แบคทีเรียบางส่วนจะหลุดจากการเกาะติดอยู่กับชิ้นส่วนของอาหารจะไหลผ่านไปยังกระเพาะโอม่าซั่ม และกระเพาะโอบมาซั่มหรือกระเพาะแท้ หลังจากนั้นจะถูกเอนไซม์ในกระเพาะแท้อย่อยสลายได้สารอาหารที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ฉะนั้นแบคทีเรียที่หลุดจากการเกาะติดเกาะกับชิ้นอาหารและปะปนอยู่ในกระเพาะหมักจะเป็นตัวที่มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประชากรและเข้าเกาะยึดชิ้นอาหารใหม่เพื่อการย่อยต่อไป

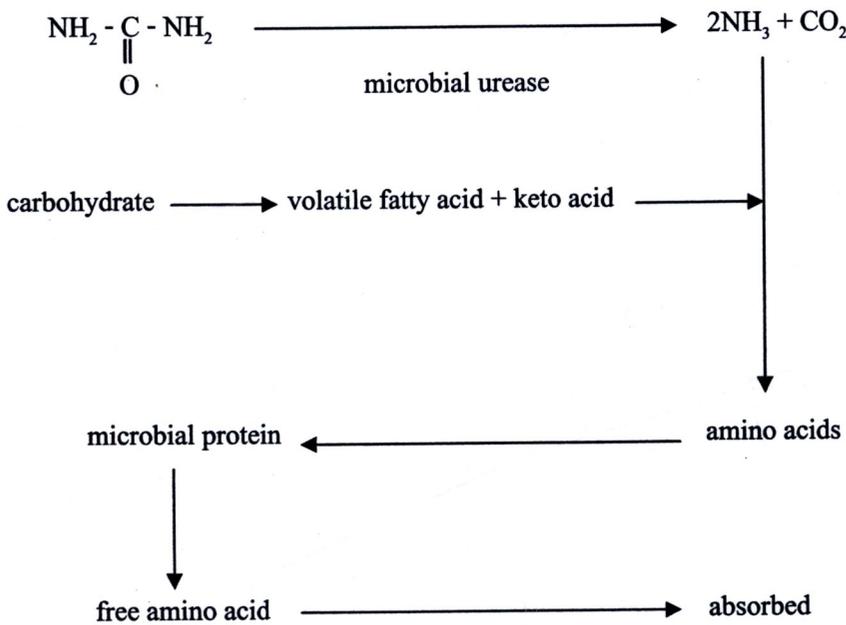
Bach et al. (2005) กล่าวว่า อาหารโปรตีนประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ จะถูกจุลินทรีย์ในของเหลวในกระเพาะหมักย่อยสลายด้วยเอนไซม์โปรตีเอส (protease) ที่ผิวเซลล์ ผลผลิตจากการย่อยจะได้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน จากนั้นจะถูกนำเข้าสู่เซลล์เพื่อดึงหมู่อะมิโนออก (deamination) แบคทีเรียยังมีการผลิตแอมโมเนีย กรดไขมันระเหยได้ง่าย คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และความร้อน ซึ่งเรียกว่า ผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการหมัก โดยจุลินทรีย์จะปลดปล่อยผลผลิตเหล่านี้ออกมาสู่ของเหลวในกระเพาะหมัก โดยแอมโมเนียบางส่วนจะถูกนำกลับมาใช้เพื่อสร้างเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ นอกจากนี้จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตเพื่อนำคาร์บอนมาสร้างเป็นโครงสร้างภายในตัวจุลินทรีย์ ส่วนอาหารโปรตีนที่เหลืออีกประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ จะไหลผ่านไปย่อยสลายที่ลำไส้เล็ก Griswold et al. (2003) รายงานว่าจุลินทรีย์สามารถใช้แอมโมเนียที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนแท้และ NPN เป็นแหล่งของไนโตรเจนประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลืออีก 20 เปอร์เซ็นต์ จำเป็นต้องได้จากกรดอะมิโน ทั้งนี้ต้องมีพลังงานที่ได้จากการหมักย่อยของคาร์โบไฮเดรตในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ด้วย ความสัมพันธ์ของพลังงานที่ได้รับและการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนนี้คือหัวใจสำคัญของการใช้ประโยชน์ของอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมีความสามารถในการใช้ประโยชน์ของสารตั้งต้นที่แตกต่างกันออกไป วิโรจน์ (2548) ได้จัดกลุ่ม จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมักออกเป็น 3 กลุ่ม คือ proteolytic bacteria คือแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายโปรตีน โดยใช้เอนไซม์ในการย่อยโปรตีน และจะมีการทำงานร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ เช่น *Prevotella ruminicola*, *Selenomonas ruminantium* และ *Streptococcus bovis* ซึ่งสามารถทำงานได้ในสภาพไร้ออกซิเจน โดยการปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสลาย (hydrolysis) โปรตีน พวกโพลีเปปไทด์ ได้เป็นเปปไทด์สายสั้นๆ และกรดอะมิโนจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรีย จากนั้นจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ทำการย่อยสลายต่อภายในเซลล์เพื่อให้ได้เป็นกรดอะมิโนไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ต่อไป ส่วน proteolytic protozoa เป็นโปรโตซัวกลุ่มที่ย่อยสลายโปรตีน ที่พบในกระเพาะหมักมี 2 พวก คือ พวกมีขน (ciliates) และ มีหาง (flagellates) ซึ่งพบว่ามีจำนวนน้อยกว่าแบคทีเรีย แต่คิด

เป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เพราะโปรโตซัวมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรียมาก โดยโปรโตซัวกลุ่ม *isotrichia* ซึ่งส่วนใหญ่ใช้แบคทีเรียเป็นแหล่งโปรตีน โดยการกลืนกิน และกินอนุภาคอาหารเล็กๆ ดังนั้นโปรโตซัวในกระเพาะหมักมีผลทำให้แบคทีเรียลดจำนวนลง และมีผลต่อกระบวนการหมักได้ นอกจากนี้ Punnia et al. (1992) รายงานว่าการจำกัดโปรโตซัวจะส่งผลให้แอมโมเนียในกระเพาะหมักลดลง เนื่องจากแบคทีเรียมีจำนวนเพิ่มขึ้นทำให้มีการใช้แอมโมเนียเพิ่มขึ้น และกลุ่มสุดท้ายคือ รา (fungi) ในกระบวนการหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีชนิดที่เป็นเซลล์เดี่ยวคือยีสต์ นอกจากนี้ก็มีเชื้อราอีกชนิด โดยยีสต์และเชื้อราชนิดสามารถอาศัยอยู่ในกระเพาะหมักในสภาพที่ไร้ออกซิเจนได้ เช่น *Aspergillus fumigatus* และ *Mucor rouxii* ราจะฝังตัวอยู่ในอาหารพวกเยื่อใยในกระเพาะหมัก ช่วยทำให้ชิ้นส่วนอาหารถูกแยกแตกเป็นชิ้นเล็ก ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายอาหารได้ง่ายขึ้น รามีจำนวนน้อยกว่า 10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในของเหลวในกระเพาะหมัก จึงมีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนน้อยมาก เชื้อราจะทำงานหรือแพร่ขยายพันธุ์บนชิ้นอาหารที่สัตว์กินเข้าไป โดยการขยายโคโลนีบนชิ้นส่วนของเยื่อใยช่วยให้ชิ้นส่วนของอาหารถูกย่อยแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ทำให้การจับตัวระหว่างเยื่อใยลวมขึ้นง่ายต่อการเข้าย่อยเยื่อใยของจุลินทรีย์

2.5 แนวทางการใช้ยูเรียเป็นแหล่งโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ประเทศไทยมีการใช้ยูเรียในอาหารสัตว์อย่างแพร่หลาย ซึ่งการใช้ยูเรียเป็นแหล่งของไนโตรเจนในอาหารโคนมทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลง แต่การใช้ยูเรียจะมีการเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมัก (Huber and Kung, 1981) ยูเรียเป็นสารโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก ยูเรียมีสีขาว มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีและดูดความชื้นจากอากาศได้สูง สามารถซึมผ่านเซลล์และเนื้อเยื่อทุกส่วนของร่างกายได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ที่บริเวณต่อมสร้างน้ำนม ยูเรียสามารถถูกส่งผ่านระหว่างเลือดและน้ำนมเช่นเดียวกับเนื้อเยื่อส่วนอื่นๆ ยูเรียเกิดจากการรวมตัวกันของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแอมโมเนีย (NH_3) สูตรทางเคมีคือ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ยูเรียมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 46 เปอร์เซ็นต์ หรือเทียบเท่ากับ CP ประมาณ 288 เปอร์เซ็นต์ การใช้ยูเรียในสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นแหล่งของ NPN สามารถลดต้นทุนการเสริมโปรตีนในอาหารหยาบคุณภาพต่ำได้เป็นอย่างดี และยูเรียยังมีราคาถูกเมื่อเทียบกับแหล่งของโปรตีนแหล่งอื่นๆ เช่น ปลาป่น หรือกากถั่วเหลือง เมื่อคิดเทียบต่อหน่วยของ CP (พันทิพา, 2538) แต่ยูเรียเป็นวัตถุขี้ที่มีรสฝาด และมีความน่ากินต่ำ วิโรจน์ (2546) กล่าวว่า โดยทั่วไปการใช้ยูเรียที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร TMR หรือ 2 เปอร์เซ็นต์ในอาหารข้นไม่เกิดผลกระทบต่ออาการกินได้ แต่ถ้ามีการใช้ในระดับที่สูงขึ้นจะทำให้มีผลต่ออัตราการกินได้ อย่างไรก็ตามการใช้ยูเรียในสูตรอาหารควรมีการใช้สารช่วยเพิ่มความน่ากิน เช่น กากน้ำตาล เมล็ดธัญพืช เป็นต้น นอกจากนี้ บุญล้อม (2542)

กล่าวว่า ยูเรียเมื่อเข้าไปในกระเพาะหมักจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ยูเรียเอส (urease) จากแบคทีเรียอย่างรวดเร็วได้เป็นแอมโมเนีย แล้วแอมโมเนียจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ทำปฏิกิริยากับกรดคีโต (keto acid) ที่ได้จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตกลายเป็นกรดอะมิโนซึ่งจะถูกสร้างเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์เอง แล้วโปรตีนนี้จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากตัวสัตว์ที่กระเพาะแท้และลำไส้เล็กเป็นกรดอะมิโน ซึ่งสัตว์จะดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ขั้นตอนการย่อยสลายของยูเรียในกระเพาะหมักเพื่อนำไปใช้ประโยชน์
ที่มา : บุญล้อม (2542)

การใช้ยูเรียเป็นแหล่งอาหารโปรตีนของจุลินทรีย์ไม่ควรใช้ในระดับที่เกินความต้องการของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก อาจทำให้เกิดแอมโมเนียในกระเพาะหมักมากเกินไป โคจะได้รับอันตรายจากความเป็นพิษของแอมโมเนีย แต่ถ้ามีระดับของแอมโมเนียในกระเพาะหมักน้อยเกินไป อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะลดลง ทำให้ลดอัตราการย่อยอาหาร บุญล้อม (2542) รายงานว่า สัตว์จะแสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากยูเรีย คือมีอาการน้ำลายไหล ชัก (tetany) กล้ามเนื้อไม่สัมพันธ์กัน (ataxia) ท้องอืด (bloat) การหายใจผิดปกติ และถ้ามีระดับแอมโมเนียในเลือดโคสูงเกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตรสัตว์จะตาย ถ้าสัตว์เริ่มมีอาการให้รีบแก้ไขโดยการกรอกปากด้วยน้ำส้มสายชูหรือกรดอะซิติกผสมน้ำเย็น ความเป็นกรดของน้ำส้มสายชูจะช่วยลดความเป็นกรดต่างในกระเพาะหมักและในกระแสเลือด อีกทั้งน้ำเย็นยังช่วยลดอุณหภูมิของกระเพาะหมัก ทำให้



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่..... 12 มี.ค. 2556
เลขทะเบียน..... 209107
เลขเรียกหนังสือ.....

แอมโมเนียถูกดูดซึมช้าลง นอกจากนี้ ทรงศักดิ์ (2551) รายงานว่า การใช้ยูเรียในสูตรอาหารทำให้มีความน่ากินต่ำ เนื่องจากยูเรียมีรสฝื่อนการใช้ในระดับที่สูงเกินไปอาจทำให้การกินได้ลดลงได้

Broderick and Reynal (2009) ได้ทำการศึกษาแหล่งของ RDP คือ ยูเรียและกากถั่วเหลืองระดับที่แตกต่างกันในอาหาร TMR ของโครีคณมต่อการให้ผลผลิตในโคนมและเผาผลาญอาหารในกระเพาะหมัก โดยใช้ข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบหลัก 40 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารมีระดับโปรตีนเท่ากันคือ 16 เปอร์เซ็นต์ มีระดับเยื่อใย NDF 25 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย ADF 14 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับของ RDP เท่ากันคือ 10.5 เปอร์เซ็นต์ ใช้ยูเรียในสูตรอาหาร 4 ระดับ คือ 0, 1.2, 2.4 และ 3.7 เปอร์เซ็นต์ของ RDP โดยใช้ยูเรียในสูตรอาหารที่ระดับ 0, 0.41, 0.84 และ 1.31 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการใช้ยูเรียเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารทำให้การกินได้ของวัตถุดิบมีค่าเท่ากับ 23.6, 23.2, 23.0 และ 22.3 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ผลผลิตน้ำนมมีค่าเท่ากับ 39.3, 38.6, 38.5, 36.0 กิโลกรัมต่อวันตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการใช้ยูเรียระดับสูงขึ้นการกินได้ของวัตถุดิบและผลผลิตน้ำนมมีการลดลงแบบเส้นตรง การทดแทนการใช้กากถั่วเหลืองด้วยยูเรียทำให้ระดับของแอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมักมีค่าเท่ากับ 8.2, 9.3, 10.3 และ 10.7 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับระดับของ BUN มีค่าเท่ากับ 8.8, 9.9, 11.4 และ 12.8 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ การใช้ยูเรียระดับสูงขึ้นนี้ ทำให้มีระดับของแอมโมเนียมากเกินความต้องการของจุลินทรีย์ใช้แอมโมเนียในกระเพาะหมัก ทำให้เกิดการสูญเสียของแอมโมเนียโดยจะมีการดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือดและขับออกทางปัสสาวะต่อไป นอกจากนี้ การย่อยได้ของเยื่อใย NDF มีค่าเท่ากับ 47.2, 49.5, 52.3 และ 52.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใช้ยูเรียระดับสูงขึ้นการย่อยได้ของเยื่อใย NDF เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง เนื่องมาจากการจุลินทรีย์กลุ่มย่อยเยื่อใยมีการเพิ่มจำนวนประชากรมากขึ้นในกระเพาะหมัก ส่งผลให้การย่อยได้ของเยื่อใย NDF สูงขึ้น

2.5.1 รูปแบบการเสริมยูเรียในอาหารโคนมโดยทั่วไป

2.5.1.1 การใช้ยูเรียในการหมักอาหารหยาบคุณภาพต่ำ

ยูเรียจะเป็นแหล่งของโปรตีนที่ทำให้พืชหมักให้มีระดับโปรตีนสูงขึ้น Koster et al. (2002) รายงานว่า อัตราการใช้ยูเรียในอาหารหยาบควรใส่ในอัตรา 5 กิโลกรัมต่อตัน โดยผสมน้ำราดบนอาหารหยาบคุณภาพต่ำ ใช้เวลาในการหมัก 21 วัน จะทำให้ปรับการย่อยได้ของอาหารเพิ่มขึ้น และโคจะได้รับไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจากยูเรียด้วย อุทัย (2550) ได้ศึกษาการใช้ฟางหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบร่วมกับการเสริมแหล่งโปรตีนและพลังงานในโคให้นม แบ่งเป็น สูตรที่ 1 การใช้ฟางหมักยูเรียสับผสมกับข้าวโพดบด กากน้ำตาล รำและกากถั่วเหลือง สูตรที่ 2 หนักรูซี่แห้งสับผสมกับ ข้าวโพดบด กากน้ำตาล รำและกากถั่วเหลือง และสูตรที่ 3 การใช้ข้าวโพดหมักผสมกับ หนักรูซี่แห้ง โดยให้กินอาหารหยาบผสมแบบเต็มทีและให้อาหารข้นที่มีโปรตีน 20 เปอร์เซ็นต์

ในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อน้ำนม 2 กิโลกรัม พบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งไม่มีความแตกต่างกันแต่มีแนวโน้มว่า ผลผลิตน้ำนมผลผลิตน้ำนมของกลุ่มที่ 1 สูงกว่ากลุ่ม 2 และ 3 (16.85, 15.56 และ 16.61 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่า การใช้ฟางหมักยูเรียเสริมด้วยแหล่งโปรตีนและพลังงาน สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับ โคให้นมได้ไม่แตกต่างกับการใช้ข้าวโพดหมักผสมกับหญ้าธัญพืชแห้ง

สุรศักดิ์ (2542) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้มันสำปะหลังผสมกับยูเรียเม็ด (cassarea) เพื่อลดการละลายของยูเรียทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลือง โดยใช้ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบโดยให้กินแบบเต็มที่ และมีการเสริมมันสำปะหลังผสมกับยูเรียเม็ดเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลือง ในระดับ 30, 70 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณการกินได้ (3.03, 3.10 และ 3.01 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ตามลำดับ) และการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (59.0, 63.4 และ 59.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า การทำให้ยูเรียละลายช้าลงโดยการผสมกับมันสำปะหลังในการใช้ฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารแต่สามารถให้ยูเรียในสูตรอาหารได้มากขึ้น โดยไม่มีผลกระทบต่อการกินได้และความสามารถในการย่อยได้

2.5.1.2 การใช้ยูเรียร่วมกับกากน้ำตาล

การใช้ยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลส่วนใหญ่จะใช้ผสมในอาหารชั้น ทั้งในอาหารชั้นปกติหรืออาหารเสริมโปรตีน การใช้ยูเรียร่วมกับกากน้ำตาล อาจจะใช้ในรูปแบบแห้งหรือเป็นน้ำ ถ้าใช้ยูเรียผสมกับกากน้ำตาลแบบแห้ง มีโอกาสที่ยูเรียจะเกาะกับวัตถุดิบ และจะกระจายในอาหารไม่ทั่วถึง แต่การผสมยูเรียกับกากน้ำตาลแบบน้ำ นำไปผสมกับอาหารจะทำให้ยูเรียจะกระจายตัวได้ดีขึ้น ไม่ควรเสริมกากน้ำตาลเกิน 25 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารชั้น การใช้ยูเรียผสมร่วมกับกากน้ำตาลในอาหารชั้นในสัดส่วนที่เหมาะสม จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารแล้ว ยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์ให้ดีขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ พันทิพา (2538) รายงานว่า สัดส่วนของการใช้ยูเรีย:น้ำ:กากน้ำตาล ในอัตราส่วน 1:10:10 โดยให้โคเลียกินอย่างอิสระในปริมาณที่กำหนดไว้ พบว่าการเสริมกากน้ำตาลแก่แม่โค 2-3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ทำให้แม่โคกินอาหารได้มากขึ้น การได้รับอาหารเหลวโดยการเลียกิน จะทำให้ pH ในกระเพาะหมักเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ และเมื่อโคได้รับอาหารในรูปแบบเหลวจำนวนมากติดต่อกันนานๆ จะทำให้ระดับของ pH ในกระเพาะหมักต่ำลง ทำให้เกิดภาวะกรดในกระเพาะหมักสูง (acidosis) ส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์

การเสริมอีกรูปแบบหนึ่งคือ การเสริมยูเรียและกากน้ำตาลในรูปก้อนเป็นการนำอาหารเสริมมาอัดให้เป็นก้อน ดังรายงานของ เมธา (2547) กล่าวว่า การทำแบบก้อนควร

ขนาดประมาณ 1.5-2.5 กิโลกรัมต่อก้อน ทำโดยใช้ธัญพืชบด 40 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 20 เปอร์เซ็นต์ กากน้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย 10 เปอร์เซ็นต์ กระจกปูน 7 เปอร์เซ็นต์และเนือปน 5 เปอร์เซ็นต์ จะมี CP ประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์ สัตว์จะเล็กลงได้ประมาณ 50-80 กรัมต่อตัวต่อวัน โดยไม่ควรให้สัตว์แทะกินในปริมาณมากเกินไป เพราะโคจะได้รับยูเรีย ในการศึกษาของ Loest et al. (2001) ได้ศึกษาการใช้ยูเรียและไบยูเรตเป็นแหล่ง NPN ผสมกับกากน้ำตาลแบบก้อนในโคเพศผู้ต่อการกินได้และย่อยได้โดยให้กินหญ้าแห้งเป็นอาหารหยาบเต็มที่ กลุ่มทดลองแบ่งเป็น กลุ่มที่ 1 ไม่มีการเสริมยูเรียหรือไบยูเรตผสมกากน้ำตาลแบบก้อน กลุ่มที่ 2 การเสริมยูเรียผสมกากน้ำตาลแบบก้อน ที่มี CP 60 เปอร์เซ็นต์ โดยเป็นโปรตีนจากยูเรีย 83 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ 3 การเสริมยูเรียผสมกากน้ำตาลแบบก้อนที่มี CP 60 เปอร์เซ็นต์ โดยเป็นโปรตีนจากยูเรีย 42 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนของไบยูเรต 42 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การกินได้ของวัตถุแห้งของอาหารหยาบ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (4.34, 5.34 และ 5.25 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) เช่นเดียวกับการกินได้ของวัตถุแห้งของอาหารหยาบผสมกับยูเรีย หรือไบยูเรตผสมกับกากน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริม (4.74, 6.15 และ 6.06 กิโลกรัมต่อวัน) และยังพบว่า การเสริมยูเรียหรือไบยูเรตผสมกับกากน้ำตาลแบบก้อนยังสามารถเพิ่มการย่อยได้ของอาหารเพิ่มขึ้นอีกด้วย (49, 59.8 และ 57.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่า การเสริมแหล่งของ NPN ที่ระดับโปรตีน 60 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับกากน้ำตาลในรูปแบบก้อนสามารถเพิ่มการกินได้และการย่อยได้ของอาหารหยาบคุณภาพต่ำในอาหารโคได้ดี

2.6 คาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

อาหารพลังงานเป็นโภชนะหลักที่มีความสำคัญในการเจริญเติบโตของโคนม แหล่งของพลังงานสำหรับโคนมมีทั้งที่ได้มาจากอาหารหยาบและอาหารข้น Fox et al. (1999) รายงานว่า ความต้องการพลังงานสุทธิ (gross energy, GE) ของโคนั้น สามารถแยกออกได้ 2 ส่วน คือพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ และพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการทำงานของเซลล์และกิจกรรมต่างๆ ภายในร่างกาย เช่น การกินอาหาร การนอน การหายใจ การเดิน และพฤติกรรมต่างๆ ของสัตว์ รวมทั้งใช้ในกระบวนการหมักย่อยอาหารในกระเพาะหมัก ซึ่งกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ล้วนต้องใช้พลังงาน โดยถ้าหากว่าสัตว์ได้รับพลังงานสูงกว่าการดำรงชีพมากๆ แล้วสัตว์จะเก็บกักพลังงานไว้ในรูปของไขมันร่างกาย และจะถูกนำมาใช้เมื่อจำเป็นในกรณีที่สัตว์ขาดพลังงานหรือขาดอาหาร

พลังงานส่วนใหญ่ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง คือ คาร์โบไฮเดรต โดยจะอยู่ในรูปของ คาร์โบไฮเดรตทั้งที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate, SC) เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส

โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถย่อยสลายได้สูง และอีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non-structural carbohydrate, NSC) เช่น แป้ง กากน้ำตาล น้ำตาล และเพคติน เป็นต้น อีกส่วนหนึ่งที่เป็นส่วนน้อยจะอยู่ในรูปของไขมันทั้งไขมันพืชและไขมันสัตว์ Nocek and Tamminga (1991) กล่าวว่า NSC จะไม่สร้างพันธะกับลิกนินในผนังเซลล์ของพืช จึงสามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงถึง 90-100 เปอร์เซ็นต์ NRC (2001) รายงานว่า ระดับการใช้ NSC ที่เหมาะสมในอาหาร TMR ควรมีค่าระหว่าง 30-40 เปอร์เซ็นต์ ในการประเมินคุณค่าของเยื่อใยในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องนิยมใช้ค่าเยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF เป็นตัวชี้วัด ซึ่งค่าเยื่อใย NDF จะเป็นส่วนของเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ส่วนค่า ADF ประกอบด้วยส่วนของเซลลูโลส และลิกนิน โดยระดับของเยื่อใย ADF ในอาหารสามารถบ่งบอกถึงระดับการย่อยได้ของอาหารได้ ส่วนค่าระดับเยื่อใย NDF จะเป็นตัวบ่งบอกความฟุ่มของอาหารที่สัตว์กินเข้าไป โดยถ้ามีความฟุ่มในอาหารสูงสัตว์จะมีการกินได้น้อยลง ทำให้โคอาจได้รับพลังงานไม่เพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนี้ NRC (1989) รายงานว่า ระดับเยื่อใย NDF ในอาหาร TMR ของโคนมควรอยู่ในระดับ 25-28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระดับเยื่อใย ADF ควรอยู่ในระดับ 19-21 เปอร์เซ็นต์ จึงจะทำให้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้ผลผลิตของโคนม

Kendall et al. (2009) ได้ศึกษากระดับของ NDF ที่แตกต่างกันในอาหาร TMR ที่มีระดับโปรตีนหยาบ 17.5 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารมี 4 สูตร คือ สูตรที่ 1 มีระดับเยื่อใย NDF 28 เปอร์เซ็นต์ และมีการใช้ฟางข้าว (มีเยื่อใย NDF 77 เปอร์เซ็นต์, การย่อยได้ของ NDF ระดับต่ำคือ 41 เปอร์เซ็นต์) ใช้ในสูตรอาหาร 8.5 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 2 มีระดับเยื่อใย NDF 28 เปอร์เซ็นต์และมีการใช้ฟางข้าวหมักแอมโมเนีย (มีเยื่อใย NDF 76 เปอร์เซ็นต์, การย่อยได้ของ NDF ระดับสูงคือ 62 เปอร์เซ็นต์) ใช้ในสูตรอาหาร 8.5 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 3 มีระดับเยื่อใย NDF 32 เปอร์เซ็นต์และมีการใช้ฟางข้าว (มีเยื่อใย NDF 77 เปอร์เซ็นต์, การย่อยได้ของ NDF ระดับต่ำคือ 41 เปอร์เซ็นต์) ใช้ในสูตรอาหาร 16.2 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ 4 มีระดับเยื่อใย NDF 42 เปอร์เซ็นต์และมีการใช้ฟางข้าวหมักแอมโมเนีย (มีเยื่อใย NDF 76 เปอร์เซ็นต์, การย่อยได้ของ NDF ระดับสูงคือ 62 เปอร์เซ็นต์) ใช้ในสูตรอาหาร 16.2 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การกินได้ของวัตถุดิบทั้งมีค่าเท่ากับ 22.8, 23.4, 21.7 และ 22.3 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ผลผลิตน้ำนมมีค่าเท่ากับ 39.3, 40.8, 36.5 38.5, 38.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า สูตรอาหารที่มีระดับ NDF 28 เปอร์เซ็นต์ มีการกินได้ของวัตถุดิบสูงกว่าสูตรที่มีระดับ NDF 32 เปอร์เซ็นต์ แต่การกินได้ของวัตถุดิบไม่มีความแตกต่างกันเมื่อมีการใช้ระดับของอาหารหยาบคือฟางข้าวและฟางข้าวหมักแอมโมเนียที่มีการย่อยได้ต่างกัน นอกจากนี้ สูตรอาหารที่มีระดับ NDF 28 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตน้ำนมมากกว่าสูตรอาหารที่มีระดับ NDF 32 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการใช้อาหารหยาบที่มีการย่อยได้ของเยื่อใย NDF สูง จะมีผลผลิตน้ำนม

มากกว่าการให้อาหารหยาบที่มีการย่อยได้ของ NDF ต่ำ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระดับ NDF ในสูตรอาหารมีผลต่อปริมาณ DMI รวมไปถึงการย่อยได้ของ NDF ในอาหาร ซึ่งค่า NDF ในสูตรอาหารสูงจะมีผลต่อการกินได้และการย่อยได้ของ NDF ในอาหารลดลง

นอกจากนี้ Mourits et al. (2000) กล่าวว่า ลูกโคที่ได้รับคาร์โบไฮเดรตไม่เพียงพอจะมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต กล่าวคือลูกโคจะโตช้า น้ำหนักตัวน้อย ส่งผลให้ระยะเวลาที่จะโตเป็นโคสาวพร้อมผสมพันธุ์ช้าออกไป สาเหตุเพราะน้ำหนักตัวของโคจะมีผลโดยตรงต่อความเป็นหนุ่มเป็นสาว โดยถ้าหากมีอัตราการเจริญเติบโตสูงจะมีผลทำให้อายุที่สามารถให้ลูกตัวแรกของโคสาวเร็วขึ้น แสดงให้เห็นว่าถ้าโคนมที่ได้รับพลังงานไม่เพียงพอ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในอาหารจะลดลง เพราะพลังงานที่ได้รับจากคาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญต่อการนำไปโปรตีนมาใช้ โดยเฉพาะอาหารที่มีโปรตีนละลายได้ในกระเพาะหมักปริมาณสูง การขาดอาหารพลังงานจะทำให้โคนมไม่สามารถใช้แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในอาหารต่อประสิทธิภาพการผลิต

การให้อาหาร โคนมในปัจจุบันนั้นจะมุ่งเน้นที่การให้อาหาร โปรตีนแก่จุลินทรีย์และตัวสัตว์ เพราะจุลินทรีย์เป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่สำคัญสำหรับ โคนม Hoover and Stokes (1991) กล่าวว่า จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักต้องการ โภชนะหลักเป็นคาร์โบไฮเดรต และ โปรตีน เมื่อเกิดการย่อยโปรตีนแล้วได้ผลผลิตเป็นเปปไทด์, กรดอะมิโน และแอมโมเนียสะสมในกระเพาะหมัก และสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งของไนโตรเจนของจุลินทรีย์หลายชนิด นอกจากนี้ Nocek and Russell (1988) กล่าวว่า อาหาร โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งของการสร้างคาร์บอนจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตจุลินทรีย์จะนำเอาไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ให้ได้อย่างเหมาะสมกับการให้ผลผลิตของโคนม สอดคล้องกับ Aldrich et al. (1993) กล่าวว่า การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะหมักต้องอาศัยแหล่งพลังงานจากการหมักคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ผลผลิต อีกส่วนที่ได้มาจากการหมักคาร์โบไฮเดรต คือ กรดไขมันระเหยได้ง่ายใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักของตัวสัตว์ ส่วนจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นจะถูกย่อยที่ลำไส้เล็กเป็นแหล่งโปรตีนอีกแหล่งหนึ่งสำหรับสัตว์ นอกจากนี้ Reis and Combs (2000) กล่าวว่า การใช้สารประกอบในรูป NPN เป็นแหล่งแอมโมเนียเพื่อให้จุลินทรีย์สังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ควรมีแหล่ง NSC อย่างเพียงพอ ทำให้จุลินทรีย์สามารถนำแอมโมเนียมาใช้ได้ดี และมีการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเพิ่มขึ้น

ระดับของ โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่เพียงพอในสูตรอาหารจะทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังรายงานของ Cabrera et al. (2007) กล่าวว่า

การจะทำให้จำนวนจุลินทรีย์โปรตีนมีจำนวนมากนั้น สัตว์ต้องได้รับอาหารโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมักให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตและสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนอย่างเพียงพอ สอดคล้องกับ Rotger et al. (2006) ได้ทำการศึกษาการใช้ NSC และแหล่งของโปรตีนต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบในโคสาว โดยแหล่ง NSC ได้มาจากข้าวบาร์เลย์บด และข้าวโพดบด ส่วนแหล่งของโปรตีนได้จากกากถั่วเหลืองและกากเมล็ดทานตะวัน โดยใช้อาหารทดลอง คือ สูตรที่ 1 การใช้ข้าวบาร์เลย์ 76.5 เปอร์เซ็นต์ (CP 14 เปอร์เซ็นต์) สูตรที่ 2 การใช้ข้าวบาร์เลย์ 75.5 เปอร์เซ็นต์ (CP 14 เปอร์เซ็นต์) สูตรที่ 3 การใช้ข้าวโพด 68.7 เปอร์เซ็นต์ (CP 13 เปอร์เซ็นต์) และสูตรที่ 4 การใช้ข้าวโพด 65.6 เปอร์เซ็นต์ (CP 13 เปอร์เซ็นต์) ในสูตรอาหาร TMR พบว่า การกินได้ของวัตถุดิบในกลุ่มที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่ง NSC มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวบาร์เลย์ในสูตรอาหาร (5.1, 4.8, 5.4 และ 6.7 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) อาจมีสาเหตุมาจากสูตรที่ใช้ข้าวบาร์เลย์มีความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมักสูงกว่าสูตรที่ใช้ข้าวโพด (4.7, 5.5, 3.3 และ 2.2 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ) อีกทั้งข้าวบาร์เลย์มีการละลายได้ในกระเพาะหมักเร็วกว่าข้าวโพด (15.4 เปรียบเทียบกับ 4 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ) ทำให้จุลินทรีย์ใช้ประโยชน์จากแหล่ง NSC ร่วมกับแอมโมเนียในโตรเจนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักได้มากขึ้น นอกจากนี้ Gabler and Heinrichs (2003) ได้ทำการศึกษาระดับของโปรตีนในอาหารต่อการใช้ประโยชน์ของโภชนาในโคสาว โดยใช้สัดส่วนของ NSC:RDP เท่ากับ 4.05, 3.14, 2.71 และ 2.29 กรัมของ NSC ต่อกรัมของ RDP พบว่า การย่อยได้ของวัตถุดิบมีระดับไม่แตกต่างกัน (65.52, 65.24, 68.35 และ 67.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) โดยพบว่า การย่อยได้ที่อยู่ในระดับต่ำนั้น อาจมีสาเหตุจากมี NDF ระดับสูงในสูตรอาหาร (39.4, 40.9, 41.0 และ 43.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

Kalscheur et al. (2006) ได้ทำการศึกษาระดับการใช้ RDP ต่อการให้ผลผลิตน้ำนม โดยแหล่งข้าวโพดหมักเป็นอาหารหลักในระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารทดลองมี 4 สูตร คือ สูตรที่ 1 การใช้ RDP 6.8 เปอร์เซ็นต์ และมี CP 12 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 2 การใช้ RDP 8.2 เปอร์เซ็นต์ และมี CP 13.9 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 3 การใช้ RDP 9.6 เปอร์เซ็นต์ และมี CP 15.5 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ 4 การใช้ RDP 11 เปอร์เซ็นต์ และมี CP 17.1 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่าผลผลิตน้ำนมไขมันนมและโปรตีนนมเพิ่มสูงขึ้นในโคที่ได้รับระดับ RDP 11 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยปริมาณน้ำนมมีค่าเท่ากับ 31.7, 32.0, 33.1 และ 33.8 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณไขมันนมมีค่าเท่ากับ 1.17, 1.20, 1.26 และ 1.30 กิโลกรัมต่อวันตามลำดับ และปริมาณโปรตีนในน้ำนมมีค่าเท่ากับ 0.94, 0.96, 1.02 และ 1.05 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การที่มี RDP สูง ทำให้มีแหล่งของแอมโมเนียเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์เพื่อการสังเคราะห์โปรตีน

จุลินทรีย์สูงกว่ากลุ่มอื่น ทำให้สัตว์ได้รับกรดอะมิโนคุณภาพสูงจากจุลินทรีย์จากการดูดซึมที่ลำไส้เล็ก ส่งผลให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น

สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตต่อโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิต เช่นรายงานของ Aldrich et al. (1993) ได้ทำการศึกษาสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตไม่เป็นที่โครงสร้างที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในกระเพาะหมัก (rumen available nonstructural carbohydrate: RANSC) และโปรตีนที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในกระเพาะหมัก (rumen available nonstructural protein: RAP) ต่อสมรรถนะการผลิตในโคนม โดยใช้สัดส่วน RANSC สูง ต่อ RAP ในระดับสูง และต่ำ (2.5 และ 3.4 ตามลำดับ) และ RANSC ต่ำ ต่อ RAP ในระดับสูง และต่ำ (2.2 และ 2.6 ตามลำดับ) พบว่า ผลผลิตน้ำนมไม่มีความแตกต่างกัน (39.3, 38.8, 39.5 และ 39.6 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) แต่ผลผลิตน้ำนมปรับไขมันนมที่ 4 เปอร์เซนต์ กลุ่มที่มีการใช้ RANSC ในระดับต่ำ มีระดับสูงกว่ากลุ่มที่มีการใช้ RANSC ในระดับสูง (34.7, 35.2, 36.2 และ 35.9 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) สาเหตุเพราะกลุ่มที่มี RANSC ในระดับต่ำ มีเปอร์เซ็นต์ไขมันนมสูงกว่ากลุ่มที่มีการใช้ RANSC ในระดับสูง (3.26, 3.40, 3.46 และ 3.38 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ) อาจเป็นเพราะกลุ่มที่มีการใช้ RANSC ในระดับต่ำ มีการกินได้ของ NDF สูงกว่ากลุ่มที่มีการใช้ RANSC ในระดับสูง (8.5, 8.6 9.5 และ 9.0 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) ส่วนโปรตีนในน้ำนมของกลุ่มที่มีการใช้ RAP ในระดับสูงสูงกว่ากลุ่มที่มีการใช้ RAP ในระดับต่ำ (3.08, 3.05, 3.04 และ 2.98 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ) อาจเป็นเพราะเมื่อใช้โปรตีนในระดับสูงทำให้ได้รับกรดอะมิโนมากขึ้น หรือมีการสังเคราะห์โปรตีนที่เต้านมสูงกว่ากลุ่มที่ใช้โปรตีนต่ำในสูตรอาหาร

2.8 อิทธิพลของอาหารโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตต่อค่าเมทาบอลิซึมในเลือดของโค

2.8.1 ระดับยูเรียไนโตรเจนในเลือด (BUN)

ระดับยูเรียในร่างกายสามารถวัดได้โดยการตรวจหาระดับความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในซีรัม ค่าที่ได้นี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับ BUN กระบวนการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะอาศัยจุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายอาหาร โปรตีน ซึ่งผลของการย่อยโปรตีนจะได้แอมโมเนียออกมาด้วย Haussinger et al. (1990) กล่าวว่า แอมโมเนียยังได้จากกระบวนการแคทาบอลิซึม (catabolism) ของกรดอะมิโนในเนื้อเยื่อต่างๆ ด้วย ซึ่งแอมโมเนียเป็นสารพิษต่อร่างกายโดยเฉพาะสมอง ดังนั้น ร่างกายทำการกำจัดสารพิษออกโดยการขนส่งแอมโมเนียไปตามกระแสเลือดในรูปของกรดอะมิโนกลูตามีนเพื่อเปลี่ยนไปเป็นยูเรีย (ureagenesis) ที่ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ของเซลล์ตับแล้วขับออกทางปัสสาวะ ซึ่ง Guastafsson and Palmquist (1993) ได้รายงานว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมัก จะมีค่าสูงสุด

หลังจากกินอาหารไปแล้ว 1 ชั่วโมง และจะลดลงกับมาสู่ระดับปกติภายในเวลา 6 ชั่วโมง และหลังจากนั้นระดับของยูเรียในเลือดจะสูงที่สุดหลังจากกินอาหาร 1 ชั่วโมง 30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง ภายหลังจากที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมักขึ้นสู่ระดับสูงสุด อย่างไรก็ตาม Broderick and Clayton (1997) กล่าวว่า ปริมาณ BUN ไม่ได้เป็นผลมาจากโปรตีนส่วนเกินจากการย่อยสลายในกระเพาะหมักเท่านั้น แต่ยังรวมถึงยูเรียที่ได้จากการสังเคราะห์โปรตีนในเนื้อเยื่อ ที่เกิดมาจากการได้รับโปรตีนมากเกินไป โปรตีนที่ถูกดูดซึมไม่ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นโปรตีนทั้งหมด แต่มีบางส่วนถูกสังเคราะห์ให้เป็นพลังงาน ผลของการใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงานจะได้แอมโมเนียเป็นแหล่งพลังงานด้วย และไนโตรเจนส่วนนี้จะกระจายเป็นยูเรียไปทั่วร่างกาย

Law et al. (2009) ทำการศึกษาผลของระดับ CP ในอาหารต่อการเมทาบอลิซึมในเลือดในโคนมระยะให้นม อาหารหยาบที่ใช้คือ การใช้หญ้าหมัก 27 เปอร์เซ็นต์และข้าวโพดหมัก 18 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร TMR มีระดับพลังงานที่เกิดจากการเผาผลาญอาหารในร่างกาย (metabolizable energy, ME) เท่ากันทุกสูตรคือ 12.4 กรัมต่อกิโลกรัม โดยมี CP แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 11.4, 14.4 และ 17.3 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง 150 วันแรกของการให้นม พบว่า ระดับโปรตีนที่สูงขึ้นส่งผลให้ระดับของยูเรียในพลาสมาสูงขึ้นแบบเส้นตรง (1.56, 2.59, 4.32 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ) นอกจากนี้ Broderick and Clayton (1997) กล่าวว่า ปริมาณ BUN รวมไปถึงยูเรียในน้ำนม (milk urea nitrogen, MUN) ไม่ได้เป็นผลมาจากโปรตีนส่วนที่เกินที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักเพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงยูเรียที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ของโปรตีนในเนื้อเยื่อที่เกิดจากการให้โปรตีนที่มากเกินไป โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยบางส่วนถูกสังเคราะห์ให้เป็นพลังงาน ผลจากการใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงานจะได้แอมโมเนียเป็นผลพลอยได้ด้วย และแอมโมเนียส่วนนี้จะกระจายเป็นส่วนหนึ่งของยูเรียทั้งหมดในร่างกาย รวมทั้งส่วนที่อยู่ใน BUN ด้วย นอกจาก BUN จะขึ้นอยู่กับปริมาณสัดส่วนของโปรตีนและพลังงานแล้ว ค่าของ BUN ยังผันแปรตาม RDP และ RUP นอกจากนี้ Huntington et al. (2001) กล่าวว่า หากระดับ CP ในอาหารสูงส่งผลให้ระดับ BUN สูงขึ้น และเมื่อระดับโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักมีสูง ระดับของ BUN สูงขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับ Olmos Colmenero and Broderick (2006) ทำการศึกษาผลของระดับโปรตีนต่อการเผาผลาญไนโตรเจนในกระเพาะหมัก สูตรอาหารมี 5 สูตร คือ สูตรที่ 1 ระดับ CP 13.5 เปอร์เซ็นต์ มีการปรับระดับโปรตีนโดยใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 2.4 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 2 ระดับ CP 15.0 เปอร์เซ็นต์ มีการปรับระดับโปรตีนโดยใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 5.8 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 3 ระดับ CP 15.0 เปอร์เซ็นต์ มีการปรับระดับโปรตีนโดยใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 9.2 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 4 ระดับ CP 17.9 เปอร์เซ็นต์ มีการปรับระดับโปรตีนโดยใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 12.6 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ 5 ระดับ CP 19.4 เปอร์เซ็นต์ มีการปรับระดับ

โปรตีนโดยใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 16.0 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยมีเชื้อยีส NDF เท่ากันทุกสูตรคือ 22.4 เปอร์เซ็นต์ และ ADF เท่ากันทุกสูตรคือ 12.4 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การกินได้ของทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกัน การให้ระดับโปรตีนที่สูงขึ้นทำให้ความเข้มข้นของ BUN และ MUN เพิ่มขึ้น โดยเมื่อระดับโปรตีนในอาหารสูงขึ้น ส่งผลให้ระดับ BUN สูงขึ้นตามระดับของโปรตีนในอาหารที่เพิ่มขึ้น (10.7, 13.4, 17.1, 21.2 และ 24.0 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ) เช่นเดียวกับระดับของ MUN (7.7, 8.5, 11.2, 13.0 และ 15.6 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ) โดยมีสาเหตุมาจากสูตรที่ใช้โปรตีนระดับสูงในสูตรมีการกินได้ของ CP สูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้มีปริมาณแอมโมเนียที่จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักสูงกว่าสูตรอาหารที่มีโปรตีนต่ำ ซึ่งค่า BUN และ MUN บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนได้ Kohn et al. (2005) กล่าวว่า โคมีค่าเฉลี่ยของระดับของยูเรียในเลือดตลอดทั้งวันอยู่ที่ 12 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ซึ่งระดับของ BUN ต่ำสุดคือ 4 มิลลิกรัม/เดซิลิตร และสูงที่สุดคือ 25 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร นอกจากนี้ เมธา (2533) ได้รายงานค่าเฉลี่ยของระดับ BUN ของโคควรรออยู่มีระดับ 13.4 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร และอยู่ในช่วงระหว่าง 6.3 ถึง 25.5 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ระดับของ BUN ที่สูงขึ้นเกิดจากการกินอาหารที่มี CP และ NPN ในระดับที่สูง

ในงานของ Bach et al. (2000) ได้ทำการศึกษาให้ระดับโปรตีนและการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนที่ป้องกันการย่อยที่กระเพาะหมัก (ruminally protected methionine) ที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ระดับสูง 50 กรัมต่อวัน และระดับต่ำ 25 กรัมต่อวัน โดยมีการใช้ข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบหลัก แบ่งเป็น 4 สูตรอาหาร สูตรที่ 1 ระดับโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการเสริมกรดอะมิโนในระดับสูง สูตรที่ 2 ระดับโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการเสริมกรดอะมิโนในระดับต่ำ สูตรที่ 3 ระดับโปรตีน 15 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการเสริมกรดอะมิโนในระดับสูง และสูตรที่ 4 ระดับโปรตีน 15 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการเสริมกรดอะมิโนในระดับต่ำ โดยมีสัดส่วนของ RUP เท่ากันทุกสูตรคือ 34 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การกินได้ของทุกสูตรไม่แตกต่างกัน (23.5, 23.7, 22.9 และ 23.3 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) แต่โคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนระดับ 18 เปอร์เซ็นต์ มีระดับของ BUN สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีนในระดับต่ำกว่าคือ 15 เปอร์เซ็นต์ (19.09, 17.66, 12.48 และ 11.33 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่า ระดับความเข้มข้นของยูเรียในเลือดเป็นผลมาจากความเข้มข้นของโภชนะที่อยู่ในอาหารและวิธีการให้โภชนะเหล่านี้กับจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมัก ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องให้สัดส่วนของโปรตีนที่ย่อยสลายได้และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้อย่างสมดุล เพื่อที่จะให้มีการใช้แอมโมเนียที่สร้างขึ้นโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักในการสังเคราะห์โปรตีนที่จำเป็นต่อร่างกาย เมื่อโคได้รับ RDP ในระดับสูง แต่ไม่มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อย

ได้อย่างเพียงพอทำให้ความเข้มข้นของยูเรียสูงขึ้น อาหารที่มี RUP แต่ขาด RDP อาหารเหล่านี้ทำให้มีปริมาณแอมโมเนียที่จะนำไปสร้างเป็น โปรตีนในตัวจุลินทรีย์ไม่เพียงพอทำให้ค่ามีระดับ BUN ต่ำ

2.8.2 ระดับกลูโคสในเลือด

อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเมื่อถูกย่อยแล้วได้ผลผลิตคือน้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึม เปรมาใจ และคณะ (2548) กล่าวว่า โดยส่วนใหญ่แล้วน้ำตาลกลูโคสจะถูกย่อยสลายเพื่อให้ได้พลังงาน และบางส่วนอาจถูกนำไปเปลี่ยนเป็นไขมันหรือกรดอะมิโนบางชนิด กลูโคสที่เหลือจะถูกเก็บสะสมในรูปไกลโคเจน (glycogen) ซึ่งพบมากในกล้ามเนื้อและตับ ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อจะเป็นพลังงานสำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อ ส่วนไกลโคเจนในตับจะถูกนำไปใช้ในการรักษาระดับกลูโคสในเลือด สอดคล้องกับ Church (1984) กล่าวว่า แหล่งของกลูโคสในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้มาจากการหมักย่อยอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เพื่อให้ได้เป็นกรดไขมันระเหยได้ง่าย (VFA) ที่สำคัญคือ กรดอะซิติก (C_2) กรดโพรพิโอนิก (C_3) และกรดบิวทิริก (C_4) ทั้งนี้สัดส่วนของผลผลิต VFA อาจจะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของอาหารที่สัตว์ได้รับ โดยแหล่งเป็นแหล่งพลังงานหลักที่จำเป็นสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้มาจาก C_3 ที่เป็นสารตั้งต้นสำคัญในการสังเคราะห์เป็นกลูโคส ส่วนของแป้งจะถูกย่อยสลายได้เร็วใน กระเพาะหมัก ทำให้เหลือแป้งส่วนน้อยที่จะเกิดการย่อยและดูดซึมที่กระเพาะจริงและลำไส้ ระดับกลูโคสในเลือดของสัตว์เคี้ยวเอื้องจึงอาจจะมีช่วงเวลาสั้น โดยเฉพาะในช่วงที่สัตว์มีการให้ผลผลิตสูง ทำให้ระดับกลูโคสไม่เพียงพอต่อการให้ผลผลิต ซึ่งปริมาณกลูโคสที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีผลจากปริมาณ และคุณภาพของอาหาร โดยกลูโคสจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการย่อยได้ของอาหารคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น จะได้ปริมาณสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลูโคสเพิ่มขึ้น Mudron et al. (2005) ได้รายงานไว้ว่า ระดับกลูโคสในเลือดของโคในสภาวะปกติอยู่ที่ระดับ 43.2-68.4 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

กลูโคสในกระแสเลือดมีผลต่อการควบคุมการกินได้ของโค ดังรายงานของ Forbes (1986) กล่าวว่า สัตว์จะส่งสัญญาณไปที่ระบบประสาท ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการหลั่งของฮอร์โมน ซึ่งจะมีผลควบคุมการเผาผลาญโภชนะต่างๆ อย่างไรก็ตามในสัตว์เคี้ยวเอื้อง การเผาผลาญโภชนะและสารอาหารต่าง ๆ ในกระแสเลือดเหล่านี้มีผลน้อยกว่าปัจจัยด้านสรีรวิทยาของตัวสัตว์เอง เพราะสารอาหารต่างๆ จากการเผาผลาญโภชนะไม่ได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในทางเดินอาหาร โดยมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และเกิดในระยะเวลาสั้นๆ ปัจจัยทางด้านอาหารสัตว์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อระดับของกลูโคสในเลือดของโคนม เช่น ความเข้มข้นของโภชนะในอาหาร หรือการกินได้ของโค เป็นต้น

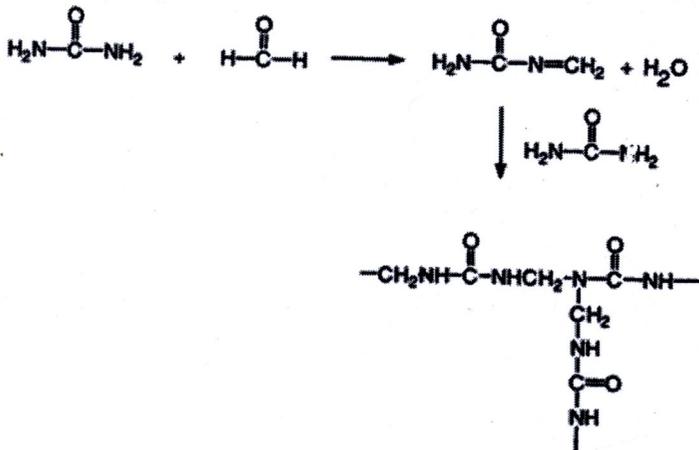
2.9 การลดการละลายของโปรตีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การจัดการแหล่งของไนโตรเจนเพื่อให้สัตว์เคี้ยวเอื้องใช้ประโยชน์จากอาหารโปรตีนได้อย่างสูงสุดมีความสำคัญอย่างยิ่ง การทำให้โปรตีนสลายตัวช้าลงในกระเพาะหมักสามารถเพิ่มเวลาการใช้แหล่งของไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้โคนมใช้ประโยชน์จากยูเรียได้มากขึ้น การใช้ยูเรียในสูตรทำให้ต้นทุนค่าอาหารถูกลง แต่การใช้ยูเรียในสูตรอาหารมากเกินไปอาจมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตของโคนม เช่น การกินได้ และไขมันนมลดลง เป็นต้น สาเหตุเพราะยูเรียมีการละลายอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมัก จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจึงไม่สามารถใช้แอมโมเนียได้ทัน ส่วนที่เกินความต้องการจะถูกขับออกทางปัสสาวะทำให้เกิดการสูญเสีย Hubber and Kung (1981) กล่าวว่า เมื่อโคไม่สามารถจับแอมโมเนียออกจากร่างกายได้ทัน อาจส่งผลให้มีการดูดซึมแอมโมเนียที่แตกตัวจากยูเรียในกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือดมากเกินไป อาจทำให้โคตายจากพิษของยูเรียได้ ดังนั้น แนวทางการจัดการลดการละลายของยูเรียในกระเพาะหมักเพื่อให้โคนมสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารโปรตีนได้อย่างสูงสุด จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีความสำคัญและน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง Golombeski et al. (2006) กล่าวว่า การทำให้ยูเรียละลายช้า (slow release urea) ส่งผลให้เพิ่มเวลาการใช้ยูเรียของจุลินทรีย์สังเคราะห์เป็นโปรตีนของตัวจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ลดการเกิดแอมโมเนียได้ ปัจจุบันมีการศึกษากรรมวิธีการต่างๆ ที่ช่วยให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การให้ความร้อน การเคลือบแหล่งของโปรตีนด้วยสารเคมีต่างๆ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ฟอรั่มลิตไฮด์ และ กรดแทนนิก เป็นต้น

2.9.1 การให้ความร้อน

การให้ความร้อนกับอาหารโปรตีนสามารถลดการย่อยสลายของไนโตรเจนในกระเพาะหมัก และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนได้ดีขึ้น การใช้ความร้อน มีหลายวิธี เช่น การอบ การคั่ว การอัดเม็ด การนึ่ง เป็นต้น ฉลอง (2541) กล่าวว่า การให้ความร้อนสามารถทำให้การสลายตัวของโปรตีนในกระเพาะหมักต่ำลง แต่การให้ความร้อนสูงเกินไปอาจทำให้เกิดกระบวนการ maillard reaction คือ การที่ aldehyde group ของน้ำตาลไปจับกับ free amino group ของโปรตีนได้เป็น amino sugar complex ซึ่งทนต่อการย่อยของเอนไซม์มากกว่าพันธะเปปไทด์ปกติ ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สอดคล้องกับ NRC (2001) รายงานว่า การให้ความร้อนสูงเกินไป ทำให้เกิดการสูญเสียโปรตีน เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นจนสิ้นสุดได้เป็นสารพรีเมลานอยดิน (premelanoidins) และเมลานอยดิน (melanoidins) ไม่สามารถย่อยและใช้ประโยชน์ได้หรือได้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย จึงควรให้ความร้อนในระดับที่เหมาะสมเพื่อให้

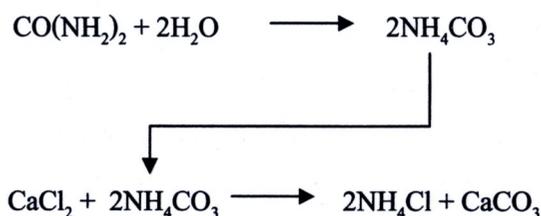
การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในการเคลือบยูเรียเพื่อลดการละลายของยูเรียเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของยูเรีย Makkar (1981) กล่าวว่า ยูเรียประกอบด้วยหมู่อะมิโน 2 ตัว ทำให้สามารถจับกับฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้โครงสร้างของยูเรียเมื่อรวมตัวกับฟอร์มัลดีไฮด์ซับซ้อนขึ้น (ภาพที่ 2-4)



ภาพที่ 2-4 การรวมตัวกันของยูเรียและฟอร์มัลดีไฮด์
ที่มา : Anonymous (2001)

2.9.3 การเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์

สารเคมีอีกชนิดหนึ่งที่ช่วยในการลดการละลายของโปรตีนคือ การนำแคลเซียมคลอไรด์รวมตัวกับยูเรียจะทำให้อัตราการละลายของยูเรียช้าลง โดยมีกลไกการละลายของยูเรียเมื่อเคลือบยูเรียด้วยแคลเซียมคลอไรด์ คือยูเรียเมื่อละลายน้ำแล้วจะได้ผลผลิตเป็นแอมโมเนียมคาร์บอเนต 2 โมเลกุล (ammonium carbonate, $2\text{NH}_4\text{CO}_3$) หลังจากนั้น $2\text{NH}_4\text{CO}_3$ เกิดการรวมตัวแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride, CaCl_2) จะได้แอมโมเนียมคลอไรด์ 2 โมเลกุล (ammonium chloride, $2\text{NH}_4\text{Cl}$) และ แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO_3) ซึ่ง CaCO_3 เป็นโมเลกุลที่มีการละลายได้ยาก โดยมีความสามารถในการละลายน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสได้ 0.00015 โมลต่อน้ำปริมาตร 100 ลิตร ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการละลายของยูเรียมาเป็นแอมโมเนียได้ช้าลง (Anonymous, 2009) โดยผลผลิตแอมโมเนียที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ เนื่องจากอิทธิพลของ CaCO_3 ทำให้มีอัตราการละลายที่ช้าลง (ภาพที่ 2-5)



ภาพที่ 2-5 กลไกการรวมตัวของยูเรียเมื่อเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์

ที่มา : Anonymous (2009)

2.9.4 การเคลือบด้วยกรดแทนนิก

แทนนินเป็นสารประกอบฟีนอลิก มีคุณสมบัติพิเศษในการที่สามารถจับกับสารพวกอัลคาลอยด์ (alkaloids) เจราติน (gelatin) และโปรตีนอื่นๆ แทนนินแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ ไฮโดรไลซ์เอเบิลแทนนิน (hydrolysable tannins, HT) และคอนเดนซ์แทนนิน (condensed tannins, CT) (McLeod, 1974) ซึ่งเป็นกลุ่มที่พบได้ในพืช คอนเดนซ์แทนนินพบได้ในส่วนของใบต้นไม้ใหญ่และไม้พุ่ม นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในส่วนของใบและต้นของถั่วของพืชอาหารสัตว์

การใช้กรดแทนนิกที่สกัดจากแทนนินส์ในการเคลือบโปรตีนสามารถลดการละลายของโปรตีนได้ ดังรายงานของ กล่าวว่ามีคุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยาและเกิดสารประกอบโดยพันธะไฮโดรเจนจับโปรตีน แต่ที่สภาพค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.5-7.0 แทนนินส์จับกับโปรตีนได้ เหนียวแน่นกว่าเกิดเป็น tannins-protein complex ทำให้ลดการย่อยสลายจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แต่สารประกอบนี้ไม่สามารถงทอนได้ และมีการปลดปล่อยพันธะของโปรตีนเมื่อมีค่าความเป็นกรดต่างน้อยกว่า 3 และสูงกว่า 8 (Frutos et al., 2004; Jones and Mangan, 1977)

2.10 ผลของการลดการละลายของอาหารโปรตีนต่อประสิทธิภาพการผลิต

2.10.1 ผลของการลดการละลายของโปรตีนต่อการย่อยได้และความเข้มข้นของแอมโมเนีย

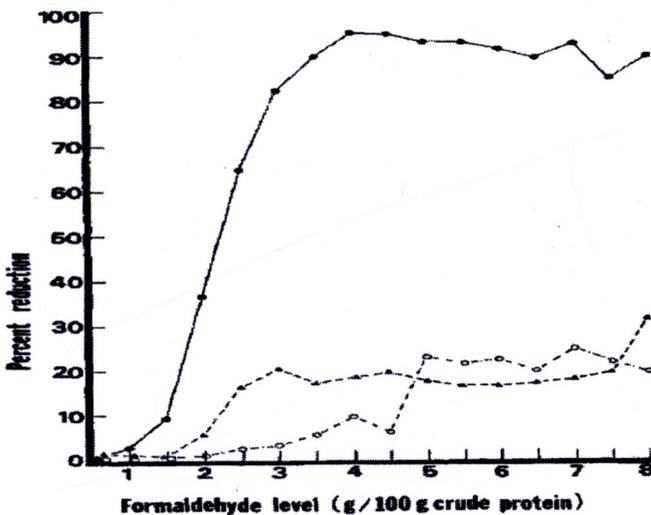
การทำให้โปรตีนสลายตัวช้าลงในกระเพาะหมักสามารถเพิ่มเวลาการใช้แหล่งของไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้โคนมมีประสิทธิภาพการใช้อาหารเพิ่มขึ้น Ljøkjel et al. (2000) ได้ทำการศึกษาการให้ความร้อนกับกากถั่วเหลืองและปลาป่นต่อการย่อยได้ของโคนมในระบบ in situ มี 6 แหล่งอาหารโปรตีนคือ 1) กากถั่วเหลืองไม่ให้ความร้อน 2) ปลาป่นไม่ให้ความร้อน 3) กากถั่วเหลืองอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน

30 นาที 4) กากถั่วเหลืองอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที 5) ปลาป่นอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และ 6) ปลาป่นอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่า การให้ความร้อนกากถั่วเหลืองด้วยการอบที่อุณหภูมิ 120 และ 130 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที สามารถชะลอการย่อยได้ที่กระเพาะหมักได้ดีกว่ากากถั่วเหลืองที่ไม่ได้ให้ความร้อน (32.2, 28.3 และ 63.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เช่นเดียวกันกับ การให้ความร้อนปลาป่นด้วยการอบที่อุณหภูมิ 120 และ 130 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที สามารถชะลอการย่อยได้ที่กระเพาะหมักได้ดีกว่าปลาป่นที่ไม่ได้รับให้ความร้อน (41.0, 42.2 และ 48.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

Nishimuta et al. (1973) ได้ศึกษาวิธีการลดการย่อยสลายของกากถั่วเหลืองโดยการให้ความร้อน 149 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง (N-SBM) การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบกากถั่วเหลือง 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากถั่วเหลือง (F-SBM) และการใช้กรดแทนนิกเคลือบ กากถั่วเหลืองที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากถั่วเหลือง (T-SBM) เปรียบเทียบกับการใช้ กากถั่วเหลืองธรรมดาในสูตรอาหาร (N-SBM) ต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้งในแกะ พบว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้งของกลุ่มที่ได้รับการเสริม F-SBM มีการย่อยได้น้อยกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (68.22, 64.55, 69.06 และ 70.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

จากรายงานของ Mabeesh et al. (1998) ได้ทำการศึกษาการใช้เมล็ดฝ้ายทั้งเมล็ดคอบที่อุณหภูมิ 137 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงที่ 75 องศาเซลเซียส ภายใน 5 นาที เปรียบเทียบกับการใช้จมูกข้าวโพดคบ (maize gluten meal) เป็นแหล่งโปรตีนในโคให้นม โดยมีข้าวโพดหมักเป็นอาหารหลัก 21.7 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร TMR สูตรอาหารมี 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 การใช้เมล็ดฝ้าย 16.9 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับใช้จมูกข้าวโพดคบ 0.5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร สูตรที่ 2 การใช้เมล็ดฝ้ายอบ 16.9 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับใช้จมูกข้าวโพดคบ 0.5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร และสูตรที่ 3 การใช้เมล็ดฝ้าย 17.0 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับใช้จมูกข้าวโพดคบ 3.1 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยสูตรอาหารมี CP และเยื่อใย NDF เท่ากันทุกสูตรคือ 16 และ 36.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การให้ความร้อนแก่เมล็ดฝ้ายด้วยการอบทำให้ย่อยได้ของ CP ในกระเพาะหมักลดลง 22 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ของ DM ตลอดทางเดินอาหารตลอดทางเดินอาหารสูงกว่าการใช้เมล็ดฝ้ายธรรมดาในสูตรอาหาร (62 และ 59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนระดับ BUN ในชั่วโมงที่ 3 หลังจากให้อาหาร พบว่า การให้ความร้อนแก่เมล็ดฝ้ายด้วยอบทำให้ระดับของ BUN ต่ำกว่า กลุ่มอื่นๆ (20.9, 18.8 และ 23.0 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าการทำให้ การย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมักช้าลงนั้น สามารถทำให้การย่อยได้ของอาหารเพิ่มขึ้น รวมไปถึงช่วยการลดการสูญเสียโปรตีนที่จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทัน

จากการรายงานของ Park et al. (1999) ศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองและกากเมล็ดเรปซิดที่รื้อด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระดับ 0, 3, 5 และ 10 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่า กากถั่วเหลืองมีค่าการย่อยสลายได้ของโปรตีน เท่ากับ 51.3, 48.6, 14.7 และ 13.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกากเมล็ดเรปซิด มีค่าการย่อยสลายได้ของโปรตีน เท่ากับ 63.1, 22.3, 13.5 และ 8.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ Yu (1978) ได้ศึกษาการย่อยได้ในระบบ *in vitro* ของเมล็ดถั่วเหลืองไขมันเต็มเคลือบด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระดับ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองไขมันเต็ม โดยเมล็ดถั่วเหลืองไขมันเต็ม มีระดับ CP 45.6 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เมื่อเพิ่มระดับการเคลือบให้มากขึ้นสามารถลดการย่อยได้ของไนโตรเจนลดลง โดยพบว่าการเคลือบเมล็ดถั่วเหลืองไขมันเต็มที่ระดับ 4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การย่อยได้ลดลงมากที่สุด (ภาพที่ 2-6)



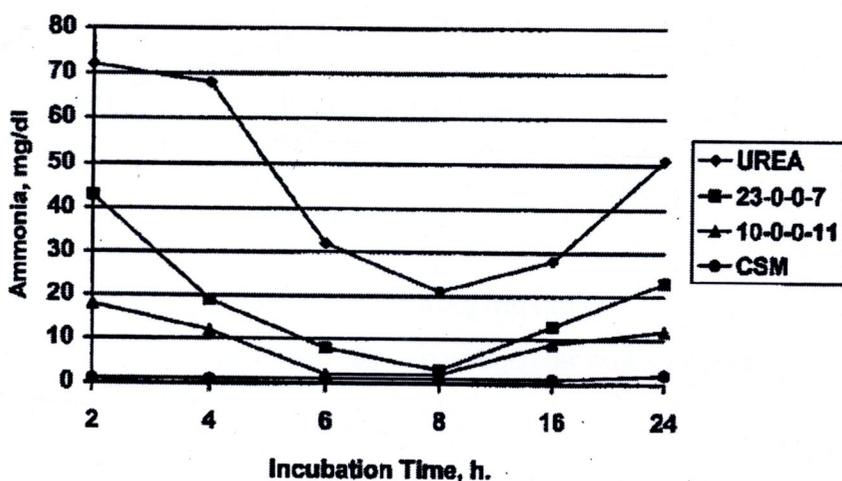
ภาพที่ 2-6 ผลของระดับการเคลือบถั่วเหลืองไขมันเต็มด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ในระบบ *in vitro* ต่อการย่อยได้ของไนโตรเจน (●)

ที่มา : Yu (1978)

Cass and Richardson (1994) ที่ได้ศึกษาการละลายแอมโมเนียในหลอดทดลอง (*in vitro*) เปรียบเทียบแหล่งโปรตีนที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 แหล่งคือ แหล่งที่ 1 ยูเรียเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ในสัดส่วน ไนโตรเจน 3.3 ส่วน ต่อแคลเซียมคลอไรด์ 1 ส่วน แหล่งที่ 2 ยูเรียเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ในสัดส่วนไนโตรเจน 1 ส่วน ต่อแคลเซียมคลอไรด์ 1.1 ส่วน แหล่งที่ 3 ยูเรียธรรมดา และแหล่งที่ 4 กากเมล็ดฝ้าย โดยใช้ร่วมกับแป้งข้าวโพด 2 ระดับที่มี CP 10 และ 14 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวโพดบด 2 ระดับที่มี CP 10 และ 14 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ค่าเฉลี่ย

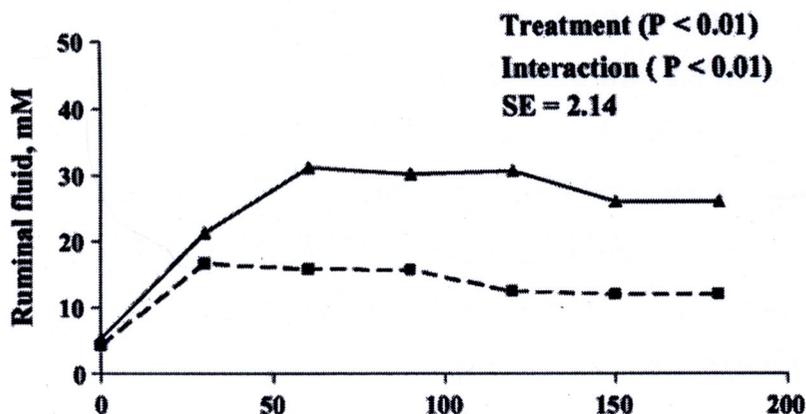


ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียหลังการบ่ม 24 ชั่วโมงของกากเมล็ดฝ้ายน้อยที่สุดคือ 0 มิลลิกรัมต่อเคซีลิตร ส่วนยูเรียจะมีระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมากที่สุดคือ 79.99 มิลลิกรัมต่อเคซีลิตร โดยยูเรียที่มีการทำให้ละลายช้าลงด้วยการเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์จะอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างยูเรียกับกากเมล็ดฝ้าย (ภาพที่ 2-7) สอดคล้องกับ Huntington et al. (2006) ทำการศึกษาผลของการใช้ยูเรียละลายช้าต่อการดูดซึมของแอมโมเนียในโคนมรุ่นเพศผู้ตอนเจาะกระเพาะ มีหญ้าแห้งเป็นแหล่งอาหารหยาบ ให้กินในอัตรา 20 กรัมต่อน้ำหนักตัวโค 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบการเสริมยูเรียจาก 2 แหล่งคือ ยูเรียธรรมดาในอัตรา 0.25 กรัมของน้ำหนักยูเรียต่อน้ำหนักตัวโค 1 กิโลกรัม และยูเรียเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ในรูปการค้า (Ruma Pro[®]) ในอัตรา 0.25 กรัมของน้ำหนักยูเรียต่อน้ำหนักตัวโค 1 กิโลกรัม โดยมีระดับ CP ในสูตรอาหาร 8.6 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียจากน้ำในกระเพาะหมักของการใช้ยูเรียธรรมดามีระดับสูงกว่าการใช้ยูเรียเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ (ภาพที่ 2-8) จะเห็นได้ว่าการใช้ยูเรียเคลือบด้วยแคลเซียมสามารถลดการละลายของไนโตรเจนที่เป็นแอมโมเนียเป็นไปอย่างช้าๆ ส่วนระดับของกลูโคสในเลือดของกลุ่มที่เสริมยูเรียธรรมดามีแนวโน้มสูงกว่ายูเรียเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ในอาหาร (ภาพที่ 2-9) เนื่องจากมีปริมาณกลูโคสที่พบในตับของกลุ่มที่เสริมยูเรียธรรมดาสูงกว่าการเสริมยูเรียเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ในอาหาร ส่งผลให้มีการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่อวัยวะภายในร่างกายสูงกว่า และมีประสิทธิภาพการใช้กลูโคสมากขึ้น



ภาพที่ 2-7 แสดงปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียของน้ำในกระเพาะหมักในระบบ *in situ*

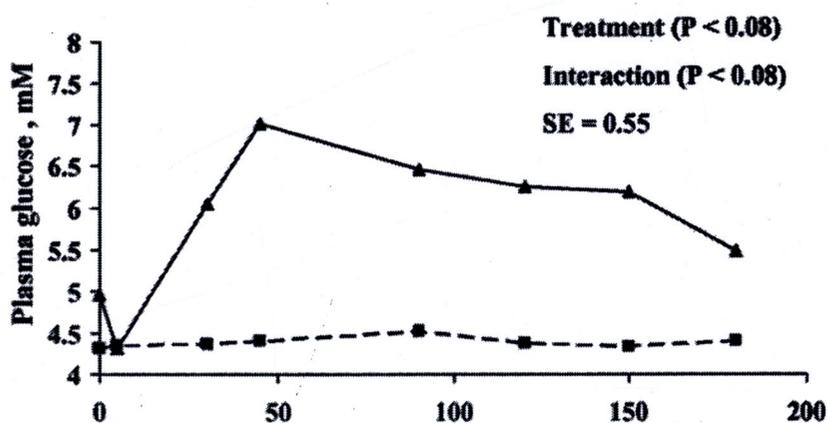
ที่มา : Cass and Richardson (1994)



ภาพที่ 2-8 แสดงปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำกระเพาะหมัก

(▲ = การให้ยูเรียธรรมดา, ■ = การให้ยูเรียเคลือบด้วยแคลเซียม)

ที่มา : Huntington et al. (2006)



ภาพที่ 2-9 แสดงปริมาณความเข้มข้นของพลาสมากลูโคสในเลือด

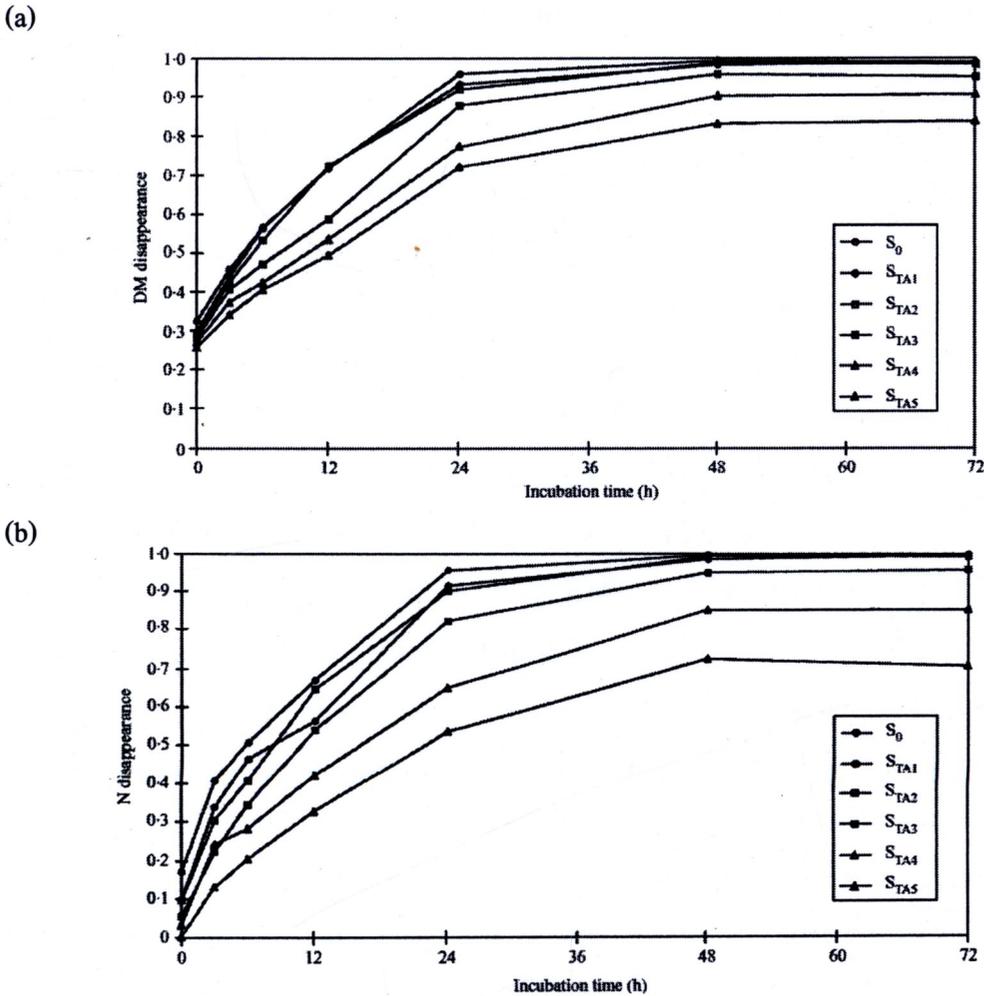
(▲ = การให้ยูเรียธรรมดา, ■ = การให้ยูเรียเคลือบด้วยแคลเซียม)

ที่มา : Huntington et al. (2006)

Hervas et al. (2000) ได้ทำการศึกษาผลของการเคลือบถั่วเหลืองบดด้วยกรดแทนนิกที่ได้มาจากการสกัดจากแทนนินส์ของใบไม้ ต่อการย่อยสลายในกระเพาะหมักและการย่อยที่ลำไส้ของแกะในระบบ in situ โดยการใช้สัดส่วนถั่วเหลืองบด 100 กรัม ต่อระดับการใช้กรดแทนนิกเคลือบที่แตกต่างกันคือ 0, 1, 5, 10, 15 และ 25 กรัม พบว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้งของส่วน

ที่ละลายได้ในกระเพาะหมักของการเคลือบถั่วเหลืองบดด้วยกรดแทนนิกมีการลดลงแบบโค้งกำลังสอง (30.8, 29.0, 27.7, 26.9, 25.5 และ 25.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เช่นเดียวกับการย่อยได้ของไนโตรเจนของส่วนที่ละลายได้ในกระเพาะหมักมีการลดลงแบบโค้งกำลังสอง (18.0, 12.8, 11.2, 4.7, 4.1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) นอกจากนี้การเคลือบถั่วเหลืองบดด้วยกรดแทนนิกที่ระดับ 0, 10, 15 และ 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักต้นถั่วเหลืองบด ยังทำให้อัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้งลดลงแบบเส้นตรง เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองบดที่ไม่ได้รับการเคลือบด้วยกรดแทนนิก (8.4 เปรียบเทียบกับ 6.2, 5.1 และ 4.8 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ) สอดคล้องกับอัตราการย่อยสลายของไนโตรเจนลดลงแบบเส้นตรง (8.9, 6.7, 5.2 และ 5.7 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ) (ภาพที่ 2-10) เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองบดที่ไม่ได้รับการเคลือบด้วยกรดแทนนิก แสดงให้เห็นว่าการเคลือบด้วยกรดแทนนิกสามารถลดการละลายของโปรตีนได้ดี ตามระดับการใช้กรดแทนนิก

เมล็ดข้าวฟ่างเป็นวัตถุดิบอาหารที่มีระดับแทนนินในระดับที่สูง ในรายงานของ Sarani et al. (1983) รายงานว่า ระดับแทนนินในเมล็ดข้าวฟ่างมีระดับแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าวฟ่าง ซึ่งในเมล็ดข้าวฟ่างที่มีแทนนินในระดับสูงจะมีแทนนินอยู่ประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Jambunathan and Mertz (1973) รายงานว่า ระดับของแทนนินในเมล็ดข้าวฟ่างอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5-6.9 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และอายุของข้าวฟ่าง อย่างไรก็ตามเมล็ดข้าวฟ่างจะมีการย่อยได้ในกระเพาะหมักต่ำ เนื่องจากการจับกับโครงสร้างโปรตีนทำให้มีการย่อยในกระเพาะหมักในได้น้อย ในการศึกษาของ Romero et al. (2009) ได้ศึกษาผลของระดับแทนนินในเมล็ดข้าวฟ่าง ต่อการย่อยได้ในระบบ *in vitro* โดยมีการทดลองในเมล็ดข้าวฟ่าง 3 แบบ คือ 1) เมล็ดข้าวฟ่างที่มีระดับแทนนินต่ำ คือ 0.4 เปอร์เซ็นต์ 2) เมล็ดข้าวฟ่างที่มีระดับแทนนินสูงคือมากกว่า 0.8 เปอร์เซ็นต์ และ 3) เมล็ดข้าวฟ่างที่มีระดับแทนนินสูงหมักยูเรียในอัตรา 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ดข้าวฟ่าง พบว่า มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งเท่ากับ 81.6, 75.3 และ 74.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแทนนินในเมล็ดข้าวฟ่างมีผลทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้งลดลง



ภาพที่ 2-10 การย่อยได้ของ DM (a) และ N (b) ในระบบ in situ ของการเคลือบถั่วเหลืองบด ที่ระดับ 0(S₀), 1(S_{TA1}), 5(S_{TA2}), 10(S_{TA3}), 15(S_{TA4}) และ 25(S_{TA5}) % w/w ในการบ่มแต่ละช่วงเวลา

ที่มา : Hervas et al. (2000)

การลดการละลายของโปรตีนในกระเพาะหมักเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้มากขึ้น ดังรายงานของ Males et al. (1979) ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยแอมโมเนียจากการเสริมยูเรียที่ผ่านกรรมวิธีการทำให้ละลายช้าลงในแกะเพศผู้ มีเปลือกเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งอาหารหยาบ สูตรอาหารมี 4 สูตร คือ 1) ยูเรีย (CP 281 เปอร์เซ็นต์) 1.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับข้าวโพดบด 23.0 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร 2) ยูเรียผสมกากน้ำตาล (CP 32 เปอร์เซ็นต์) 14.8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร 3) ยูเรียผสมแป้งข้าวโพด 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักยูเรีย (CP 44 เปอร์เซ็นต์) 14.8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร และ 4) ยูเรียละลายช้าชนิดเหลวในรูปการค้ำ (CP 32 เปอร์เซ็นต์)

13.5 เปอร์เซนต์ในสูตรอาหาร พบว่า สูตรที่มีการใช้ยูเรียเคลือบด้วยแป้งข้าวโพดมีค่าเฉลี่ยระดับแอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมักต่ำกว่าสูตรอื่น (45.2, 49.0, 28.7 และ 41.0 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ) สอดคล้องกับ Owens et al. (1980) ได้ศึกษาาระดับของแอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมักทดลองในโคเพศรุ่นผู้ตอนเมื่อมีการเสริมการใช้ยูเรียละลายช้าโดยกรรมวิธีการผสมกับสารเคลือบ 0.5 เปอร์เซนต์ต่อน้ำหนักยูเรีย ซึ่งสารเคลือบประกอบไปด้วย linseed oil 10 เปอร์เซนต์, tung oil 89 เปอร์เซนต์, manganese octanoate 0.5 เปอร์เซนต์ และ cobalt octanoate 0.5 เปอร์เซนต์ มีการให้ความร้อนโดยการอบเพื่อให้แห้ง ระดับไนโตรเจนของยูเรียละลายช้าเท่ากับ 38 เปอร์เซนต์ เปรียบเทียบกับยูเรียอัดเม็ดเสริมในอาหารชั้นต่างๆ 12 ชั่วโมง โดยให้โคกินอาหาร (ต้นข้าวโพด 62.5 เปอร์เซนต์, ถั่วอัลฟาฟาแห้ง 6 เปอร์เซนต์, เปลือกเมล็ดฝ้าย 14 เปอร์เซนต์, กากถั่วเหลือง 10 เปอร์เซนต์, กากน้ำตาล 5 เปอร์เซนต์ และแร่ธาตุรวม 1 เปอร์เซนต์) วันละ 3.15 กิโลกรัมต่อวัน โดยใช้ต้นข้าวโพดแห้งเป็นอาหารหยาบหลัก 63 เปอร์เซนต์ในสูตรอาหาร อาหารทดลองแบ่งเป็น 2) ไม่มีการเสริมยูเรีย 2) การเสริมยูเรียเม็ด 30 กรัม และ 3) การเสริมยูเรียเคลือบกับสารเคลือบเพื่อลดการละลาย (linseed oil 10 เปอร์เซนต์, tung oil 89 เปอร์เซนต์, manganese octanoate 0.5 เปอร์เซนต์ และ cobalt octanoate 0.5 เปอร์เซนต์ 30 กรัมของน้ำหนักยูเรีย) 0.5 เปอร์เซนต์ต่อน้ำหนักยูเรีย พบว่า การเสริมยูเรียละลายช้ามีระดับแอมโมเนียในโตรเจนของน้ำในกระเพาะหมักต่ำกว่าการเสริมยูเรียเม็ดในช่วงครึ่งชั่วโมงแรกหลังจากให้อาหาร โดยกลุ่มที่เสริมยูเรียละลายช้ามีระดับของแอมโมเนียในโตรเจนของน้ำในกระเพาะหมักใกล้เคียงกับกลุ่มที่ได้รับอาหารชั้นอย่างเดียว (20, 60 และ 28 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ตามลำดับ)

นอกจากนี้ Owen et al. (1980) ได้ทดสอบความเป็นพิษจากการใช้ยูเรียในโคเพศผู้ตอน โดยอาหารทดลองแบ่งเป็น 2 สูตร คือ สูตรที่ 1 การเสริมยูเรียเม็ด 8.9 เปอร์เซนต์ และสูตรที่ 2 การเสริมยูเรียเคลือบกับสารเคลือบเพื่อลดการละลาย (linseed oil 10 เปอร์เซนต์, tung oil 89 เปอร์เซนต์, manganese octanoate 0.5 เปอร์เซนต์ และ cobalt octanoate 0.5 เปอร์เซนต์ 30 กรัมของน้ำหนักยูเรีย) 10.5 เปอร์เซนต์ มีต้นข้าวโพดแห้งเป็นอาหารหยาบหลัก 43 เปอร์เซนต์ในสูตรอาหาร และให้กินแบบเต็มที พบว่า การใช้ยูเรียเม็ด พบอาการกล้ามเนื้อสั่นที่เกิดจากพิษจากยูเรียคือหลังจากให้อาหาร 35 นาที แสดงให้เห็นว่าสูตรที่ใช้ยูเรียเม็ดทำให้เกิดพิษจากการมีแอมโมเนียในกระเพาะหมักมากเกินไปเกินความต้องการของจุลินทรีย์ และไม่สามารถกำจัดออกจากร่างกายได้ทัน ทำให้ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะเข้าสู่กระแสเลือดในระดับสูง โดยพบว่า สูตรที่ใช้ยูเรียเม็ดมีความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมักสูงถึง 132.6 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร แตกต่างจากสูตรที่มีการใช้ยูเรียละลายช้ามีความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมักสูงสุดเพียง 27 มิลลิกรัม

ต่อเคชิลิตร จะเห็นได้ว่า ระดับที่อาจทำให้โคเกิดพิษจากแอมโมเนีย โคต้องจะต้องได้รับยูเรียละลาย ๙ ถึง 900 กรัมต่อวัน

2.10.2 ผลของการลดการละลายของโปรตีนต่อการกินได้และการให้ผลผลิต

แนวทางการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากยูเรียโดยการลดการละลายของโปรตีนมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตให้มีระดับสูงขึ้นได้ ในการศึกษาของ Petite (20๐3) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ฟอรั่มัลติไฮด์เคลือบ flaxseed ที่ระดับ 5.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก flaxseed (FOFLA) และเมล็ดทานตะวันที่ระดับ 5.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ดทานตะวัน (FOSUN) ต่อการย่อยได้และการให้ผลผลิตในโคให้นม ใช้หญ้าหมักเป็นอาหารหยาบหลัก (51 เปอร์เซ็นต์) สูตรอาหารทดลองมี 4 สูตร คือ สูตรที่ 1 การใช้ FOFLA 11.4 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 2 การใช้ FOSUN 15.7 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 3 การใช้ flaxseed 13.3 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ 4 การใช้เมล็ดทานตะวัน 15.7 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร สูตรอาหารมีระดับ CP 16 เปอร์เซ็นต์ ระดับ NDF 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้วัตถุดิบอาหารโปรตีนเคลือบด้วยฟอรั่มัลติไฮด์ มีการกินได้ของสิ่งแห้งสูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีเคลือบฟอรั่มัลติไฮด์ (3.24 และ 2.98 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ตามลำดับ) ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.65 กิโลกรัมต่อวัน (24.9, 25.8, 22.4 และ 23.0 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) เช่นเดียวกับ ประสิทธิภาพการให้ผลผลิตนมต่อการกินได้เพิ่มขึ้น (1.31 และ 1.21 ตามลำดับ) แต่ระดับของ BUN ของทุกสูตรอาหารไม่มีความแตกต่างกัน (14.6, 16.4, 16.0 และ 16.3 มิลลิกรัมต่อเคชิลิตร ตามลำดับ)

ในรายงานของ Galina et al. (2003) ทำการศึกษาผลของการยูเรียเคลือบด้วยลิกนินเพื่อลดการละลายต่อการกินได้และการย่อยได้ในโคขุนเพศผู้ตอน มียอดอ้อยเป็นอาหารหยาบโดยให้กินแบบเต็มที อาหารทดลองมี 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 การให้ยอดอ้อยเพียงอย่างเดียว สูตรที่ 2 การให้ยอดอ้อยร่วมกับการเสริมยูเรียละลาย 1.8 กิโลกรัมของน้ำหนัก และสูตรที่ 3 การให้ยอดอ้อยและให้ต้นข้าวโพดในอัตราผสม 40 ต่อ 60 ร่วมกับการเสริมยูเรียละลาย 1.8 กิโลกรัม DM โดยยอดอ้อย ต้นข้าวโพด และยูเรียละลายมีระดับ CP เท่ากับ 3.7, 8.1 และ 26.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า การกินได้ของสูตรที่ 3 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ สูตรที่ 2 โดยสูตรที่ 1 มีการกินได้ต่ำสุด (7.9 5.8, 8.2 และ 5.8 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) ส่วนค่า ADG ของกลุ่มที่มีการเสริมยูเรียละลาย 1.8 กิโลกรัม มีการกินได้สูงกว่าสูตรที่ไม่มีเสริมยูเรียละลาย (0.125, 0.708 และ 0.641 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) เช่นเดียวกับการย่อยได้ของวัตถุดิบ ของโคในกลุ่มที่มีการเสริมยูเรียละลาย 1.8 กิโลกรัมมีระดับสูงกว่าสูตรที่ไม่มีเสริมยูเรียละลาย (58.8, 68.7 และ 63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) สอดคล้องกับการย่อยได้ของเชื้อ NDF ของโคในกลุ่มที่มีการเสริมยูเรียละลาย 1.8 กิโลกรัมมีระดับสูงกว่าสูตรที่ไม่มีเสริมยูเรียละลายเช่นเดียวกับการย่อยได้ของวัตถุดิบ (58.8, 68.7 และ 63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

ในการศึกษาการใช้ยูเรียละลายช้าของ Cass et al. (1995) ได้ศึกษาการลดการละลายของยูเรียด้วยการเคลือบแคลเซียมคลอไรด์ต่อประสิทธิภาพการผลิตในโคขุนเพศผู้ตอน โดยมีระดับ CP เท่ากันคือ 13 เปอร์เซ็นต์ อาหารแบ่งเป็น 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 การใช้กากเมล็ดฝ้าย 11.35 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร สูตรที่ 2 การใช้ยูเรียเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ในสัดส่วนในโตรเจน 3.3 ส่วน ต่อแคลเซียมคลอไรด์ 1 ส่วน 2.1 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร และสูตรที่ 3 การใช้ยูเรียธรรมดา 1.01 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยมีการใช้ข้าวโพดหมักระดับเท่ากันคือ 11.35 เปอร์เซ็นต์ และมีการใช้ steamed flaked milo ปรับระดับ CP ให้เท่ากันทุกสูตร พบว่า การใช้ยูเรียเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ในสูตรอาหารมีการกินได้ของวัตถุดิบ น้อยกว่าสูตรที่ใช้ยูเรียธรรมดาในสูตรอาหาร (8.98, 8.69 และ 9.33 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ!) แต่ไม่มีผลเสียต่อ ADG (1.32, 1.39 และ 1.43 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) นอกจากนี้ การใช้ยูเรียเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพการใช้อาหารเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio, FCR) ได้ดีกว่าการใช้กากเมล็ดฝ้าย แต่ไม่แตกต่างกับการใช้ยูเรียธรรมดาในสูตรอาหาร (6.83, 6.24 และ 6.52 ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่า การลดการละลายของยูเรียด้วยการเคลือบแคลเซียมคลอไรด์เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ นอกจากนี้ Owen et al. (1980) ยังได้ศึกษา การกินได้ในการด้วยยูเรียละลายช้าเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง โดยให้กินเปลือกเมล็ดฝ้ายแบบไม่จำกัด สูตรอาหารชั้นแบ่งเป็น 4 สูตร คือ สูตรที่ 1 การใช้กากน้ำตาลแห้ง 450 กรัม โดยไม่มีการเสริมแหล่งโปรตีน สูตรที่ 2 การใช้กากน้ำตาลแห้ง 450 กรัม ร่วมกับกากถั่วเหลือง 450 กิโลกรัม สูตรที่ 3 การใช้กากน้ำตาลแห้ง 450 กรัม ร่วมกับเมล็ดข้าวโพดบดผสมกับยูเรียธรรมดา และสูตรที่ 4 การใช้กากน้ำตาลแห้ง 450 กรัม ร่วมกับเมล็ดข้าวโพดบดผสมกับยูเรียละลายช้าในรูปการค้า พบว่ากินได้ของสูตรที่ใช้ยูเรียละลายช้าในรูปการค้าสูงกว่าสูตรที่ไม่มีการเสริมยูเรียเม็ดและสูตรที่มีการเสริมยูเรียเม็ด แต่ไม่แตกต่างกับสูตรที่ใช้กากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร (4.6, 7.0, 6.6 และ 7.0 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) ส่วนการย่อยได้ของ DM ในกลุ่มที่มีการเสริมแหล่งโปรตีนสูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเสริมแหล่งโปรตีน (15.9, 3.2, 32.2 และ 35.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อาจมีสาเหตุ มาจากกลุ่มที่มีการเสริมแหล่งโปรตีนมีการกินได้ของไนโตรเจนสูงกว่าสูตรที่ไม่มีการเสริมแหล่งโปรตีน (47.0, 89.8, 87.7 และ 92.5 กรัมต่อวัน ตามลำดับ)

นอกจากนี้ Golombeski et al. (2006) ได้ศึกษาการใช้ยูเรียละลายช้าที่เคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ (rumapro[®]) ร่วมกับการใช้ highly fermentable sugar ซึ่งเป็นการรวมกันของเศษเหลือจากโรงงานผลิตชีสและน้ำจากการหมักข้าวโพดจากโรงงานผลิตแป้งข้าวโพดในอาหารโครีคณม โดยแบ่งกลุ่มทดลองเป็น 4 สูตรคือ สูตรที่ 1 ไม่มีการเสริมยูเรียละลายช้าและไม่มีการ

เสริม highly fermentable sugar สูตรที่ 2 ไม่มีการเสริมยูเรียละลายช้าแต่มีการเสริม highly fermentable sugar 8.6 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร สูตรที่ 3 เสริมยูเรียละลายช้า 0.6 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีการเสริม highly fermentable sugar และสูตรที่ 4 เสริมยูเรียละลายช้า 0.6 เปอร์เซ็นต์และมีการเสริม highly fermentable sugar 8.6 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่า กลุ่มที่มีการเสริมยูเรียละลายช้า สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารเปลี่ยนเป็นผลผลิตน้ำนมได้ดีกว่ากลุ่มที่ไม่มีเสริมยูเรียละลายช้า (1.50 และ 1.35 ตามลำดับ) ทั้งนี้เพราะกลุ่มที่มีการเสริมยูเรียละลายช้า มีการกินได้น้อยกว่ากลุ่มที่ไม่มีเสริมยูเรียละลายช้า (21.3, 21.3, 19.7 และ 20.0 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) แต่การให้ผลผลิตน้ำนมไม่แตกต่างกัน การกินได้น้อยลงจากการใช้ยูเรียละลายช้านี้ สอดคล้องกับรายงานของ Taylor-Edwards et al. (2009) ที่ได้ศึกษาผลของยูเรียละลายช้าต่อการเจริญเติบโตของโคเนื้อเพศผู้ตอน โดยกลุ่มทดลองแบ่งเป็นกลุ่มที่ไม่มีการใช้ยูเรียในสูตรอาหาร เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ยูเรียละลายช้าในรูปการค้า (agri-nutrients technology group, petersburg, VA) เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ยูเรียธรรมดา โดยใช้ที่ระดับเท่ากันคือ 0, 0.4, 0.8, 1.2 และ 1.6 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่า การเจริญเติบโตต่อวันมีการเพิ่มขึ้นแบบ quadratic โดยการเสริมยูเรียละลายช้าที่ระดับ 1.2 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ทำให้การเพิ่มน้ำหนักตัวต่อวันสูงที่สุด (1.64 กิโลกรัมต่อวัน) ส่วน Galina et al. (2003) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ยูเรียที่ลดการละลายโดยมีส่วนผสมคือ ยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมคาร์บอเนต 3 เปอร์เซ็นต์ ผงซีเมนต์จากกระบวนการผลิตซีเมนต์ (cement kiln dust) 4.0 เปอร์เซ็นต์ เสริมในโคเพศผู้ตอนเพื่อใช้ขุน โดยใช้อาหารเสริมในอาหาร 3 สูตร ซึ่งแต่ละสูตรให้กินขดอ้อยแบบไม่จำกัด สูตรที่ 1 คือได้รับขดอ้อยเพียงอย่างเดียว สูตรที่ 2 คือการเสริมขดอ้อยร่วมกับยูเรียละลายช้า 1.8 กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และสูตรที่ 3 คือ การเสริมขดอ้อย และเสริมด้วยข้าวโพด ในอัตรา 40:60 ร่วมกับ ยูเรียละลายช้า 1.8 กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง พบว่า ในกลุ่มที่มีการเสริมยูเรียละลายช้า มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ได้รับเฉพาะขดอ้อยเพียงอย่างเดียว (125, 641 และ 708 กรัมต่อวัน) จะเห็นได้ว่าการใช้ยูเรียละลายช้าในสูตรอาหารไม่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของโค การลดการละลายของโปรตีนด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ นี้ ทำให้มีแหล่งไนโตรเจนมีระดับเพียงพอกับความต้องการในการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ทำให้สามารถย่อยสลายอาหารได้มากขึ้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย

2.11 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นต่อการให้ผลผลิตในโคนม

สภาพแวดล้อมที่อยู่รอบตัวมีอิทธิพลต่อการให้ผลผลิตของโค โดยเฉพาะ โคนมลูกผสมสายเลือดสูงจะมีความรู้สึกรับสนองที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จะเกิดความเครียดจากความร้อนจากการการเผาผลาญสารอาหารในร่างกาย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตคือ ปริมาณการกินได้ และการให้ผลผลิตในโคลดลง ซึ่งดัชนีที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้สภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการให้ผลผลิต และความเครียดของโค คือดัชนีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้น (temperature humidity index, THI) West (2003) รายงานว่า โคนมที่ให้ผลผลิตในปริมาณมากจะมีความร้อนเนื่องจากการเผาผลาญสารอาหาร คือประมาณ 31 เฟอร์เซ็นต์ของพลังงานที่กินได้ โดยความร้อนที่เกิดขึ้น และที่สะสมในร่างกายจะมีความสัมพันธ์กับสภาวะแวดล้อม ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้อุณหภูมิในร่างกายของโคสูงขึ้น การกินได้ลดลง และให้ผลผลิตลดลง ปัจจัยที่สามารถบ่งบอกได้ว่าโคเกิดความเครียดคือ อุณหภูมิทวารหนักมากกว่า 39.4 องศาเซลเซียส และการกินได้ลดลง โดยความเครียดสูงส่งผลให้อัตราการกินได้ลดลง 10 เฟอร์เซ็นต์ และถ้ามีความเครียดรุนแรงมากจะลดอัตราการกินได้ 25 เฟอร์เซ็นต์ ในการศึกษาของ อานนท์ (2551) ได้ทำการทดลองในโคระยะให้นมที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30.7 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 71.3 เฟอร์เซ็นต์ THI ที่ระดับ 82.2 พบว่าไม่มีสหสัมพันธ์กับการกินได้ ($r = -0.04, P > 0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ วาสนา (2547) ได้ทำการทดลองในโคระยะให้นม รายงานว่า อุณหภูมิเฉลี่ย 26.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 32.7 เฟอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ย THI เท่ากับ 72.6 พบว่า THI มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับการกินได้ ($r = -0.63, P < 0.01$) แสดงให้เห็นว่าถ้า THI เพิ่มขึ้นจาก 72.6 การกินได้ของโคจะลดลงตามไปด้วย แตกต่างจากการศึกษาของ สมฤทัย (2547) ได้ทำการทดลองในโคระยะให้นม รายงานว่า อุณหภูมิในช่วงทดลองเฉลี่ย 25.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 40.1 เฟอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ย THI เท่ากับ 71.6 พบว่าค่า THI มีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับการกินได้ ($r = 0.64, P < 0.01$) ซึ่งถ้า THI มีระดับสูงขึ้น การกินได้จะสูงขึ้นตามไปด้วย แสดงให้เห็นว่า ถ้ามีค่า THI ไม่เกิน 71.4 จะยังมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับการกินได้ Baumgard et al. (2006) รายงานว่า THI มากกว่า 72 จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้การให้ผลผลิตของโคนมลดลง ส่วน West (2003) รายงานว่า THI ประมาณ 77 มีผลทำให้ผลผลิตน้ำนม และการกินได้ของวัตถุแห้งลดลง โดยผลผลิตน้ำนมลดลง 0.32 กิโลกรัม เมื่อค่า THI เพิ่มขึ้น และการกินได้ของ TDN ลดลง 1.4 กิโลกรัม เมื่ออุณหภูมิทวารหนักเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.55 องศาเซลเซียส จากระดับปกติ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าค่า THI ที่สูงกว่า 72 จะมีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของโค