บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

1. จุลินทรีย์และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน

เนื่องจากจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญต่อการย่อยอาหารในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ดังนั้น การรักษาสภาพแวดล้อมภายในกระเพาะรูเมนให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุด จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ตามความสามารถในการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต คือ กลุ่มที่ย่อยเยื่อใย (cellulolytic species) ซึ่งเจริญและทำงานได้ดีที่ pH ประมาณ 6.2 - 6.8 และสามารถใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งของไนโตรเจนในการสร้างโปรตีนของตัวมันเอง แต่ไม่สามารถใช้เพปไทด์หรือกรดอะมิโนได้ และ กลุ่มที่ย่อยสลายแป้งและน้ำตาลเป็นหลัก (amylolytic species) พวกนี้จะทำงานได้ดีที่ pH ประมาณ 5.2 - 6.0 และเจริญเติบโตได้เร็วกว่าพวกแรกรวมทั้งสามารถใช้ทั้งแอมโมเนีย เพปไทด์ หรือ กรดอะมิโนเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ และจะย่อยโปรตีนให้เป็นแอมโมเนียเพื่อให้จุลินทรีย์ในกลุ่มที่ย่อยเยื่อใยนำไปใช้ (บุญล้อม, 2541) ในสภาพปกติจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มจะอยู่ด้วยกันอย่างสมดุล แต่เมื่อโคได้รับอาหารข้นในปริมาณมาก จุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยแป้งและน้ำตาล จะย่อยสลายอาหารดังกล่าวให้ผลผลิตเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acids , VFA) และกรดแลคติกในปริมาณสูง ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของกระเพาะรูเมนลดลง ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเยื่อใย เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพในการย่อยอาหารลดลงและอาจเกิดปัญหาสุขภาพต่างๆ ตามมาได้ (Ishler, 1996) ดังนั้นสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นจึงมีความสำคัญ โดยในสูตรอาหารควรมีอาหารหยาบประมาณ 40-50% ของอาหารทั้งหมด ซึ่งสัดส่วนของอาหารหยาบในระดับนี้จะทำให้ได้ค่า VFA แต่ละชนิดในปริมาณที่พอเหมาะ โดยพบว่ากรดไขมันระเหยได้ที่มีมากที่สุดคือ กรดอะซิติก ซึ่งอาหารหยาบที่มีเยื่อใยสูงอาจมีกรดนี้ประมาณ 60 - 70 molar % เมื่อสัดส่วนของอาหารข้นเพิ่มขึ้นกรดอะซิติกจะลดลงและโพรพิโอนิกจะเพิ่มขึ้น (ตาราง 2.1) การบดและการอัดเม็ดอาหารหยาบอาจมีผลทำให้สัดส่วนของกรดทั้งสองเปลี่ยนไปดัง ตาราง 2.2 สำหรับกรดโพรพิโอนิกในสภาพทั่วไปพบว่ามีประมาณ 18-20 molar % ของ VFA ทั้งหมด แต่ถ้าได้รับอาหารข้นสูงก็จะมีปริมาณกรดนี้สูงขึ้น ส่วนกรดบิวทีริกจะมีความเข้มข้นประมาณ 10 molar % ของกรดทั้งหมด (บุญล้อม, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ผลของอัตราส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่มีต่อสัดส่วนกรดไขมันระเหยได้ในโครีดนม

Table 2.1 Effect of roughage to concentrate ratio on the volatile fatty acid proportions in the lactating cow.

Roughage to concentrate ratio	Molar ratios, %		
	Acetate	Propionate	Butyrate
100:0	71.4	16.0	7.9
75:25	68.2	18.1	8.0
50:50	65.3	18.4	10.4
40:60	59.8	25.9	10.2
20:80	53.6	30.6	10.7

ที่มา : Ishler (1996)

ตาราง 2.2 ปริมาณกรดอะซิติกและโพรพิโอนิกที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนของโคที่ได้รับอาหารที่มีขนาดชิ้นต่างกัน

Table 2.2 Acetic acid and propionic acid in rumen as influenced by particle size of the ration.

VFA molar %	Particle size of the ration		
	Fine	Medium	Coarse
Acetic acid	58.33	61.24	61.82
Propionic acid	22.34	20.16	19.46

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ishler (1996)

สัดส่วนของอาหารและปริมาณ VFA ที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมจะทำให้ค่า pH ในกระเพาะรูเมนเหมาะสมกับการเจริญและการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งค่า pH ปกติควรอยู่ระหว่าง 5.8-6.5 (บุญล้อม, 2541)

สภาพภายในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสม นอกจากจะขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง (pH) สภาพไร้ออกซิเจน และอุณหภูมิที่เหมาะสม (38-42 องศาเซลเซียส) แล้ว ความต้องการโภชนะต่างๆ ของจุลินทรีย์ก็เป็นสิ่งที่สำคัญ โดยทั่วไปโปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับนอกเหนือจากอาหารที่โคกินเข้าไปแล้วสัตว์เคี้ยวเอื้องยังได้รับโปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein) ด้วย โปรตีนเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมนจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายได้เป็นเพปไทด์และกรดอะมิโน แล้วจะถูกย่อยต่อไปโดยกระบวนการdeaminationได้เป็นกรดอินทรีย์ แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ จุลินทรีย์จะจับแอมโมเนีย รวมทั้งเพปไทด์สายสั้นๆ และ กรดอะมิโนไปสร้างเป็นโปรตีนของตัวมันเอง ซึ่งอัตรา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสร้างจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์ได้รับว่ามีโปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่าย (ruminal degradable protein, RDP) และคาร์โบไฮเดรตที่สลายตัวได้ง่าย (readily available carbohydrate, RAC) เท่าใด ถ้ามีมากจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มจำนวนขึ้นมาก แต่ถ้ามีน้อยหรือมีสัดส่วนของ RDP และ RAC ไม่เหมาะสม microbial protein ก็จะเกิดขึ้นน้อย (บุญล้อม, 2541) อย่างไรก็ตาม ถ้าแอมโมเนียเกิดขึ้นมากในอัตราเร็วกว่าที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ได้ทัน และ ระดับแอมโมเนียในเลือดเพิ่มสูงเกิน 10 mg/l สัตว์อาจแสดงอาการเป็นพิษของแอมโมเนีย เช่น กระสับกระส่าย กล้ามเนื้อกระตุก เดินโซเซ เป็นตะคริวแข็งทั้งตัว ขับถ่ายมูลและปัสสาวะมากกว่าปกติ น้ำลายฟูมปากและอาจถึงตายได้ (เทอดชัย, 2542) ซึ่งระดับแอมโมเนียที่เหมาะสมในกระเพาะรูเมนคือ 85-300 mg/l (บุญล้อม, 2541)

นอกจากนี้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนยังสามารถใช้ สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) ได้ NPN ที่นิยมใช้ได้แก่ ยูเรีย ไบยูเรท (biuret) เกลือแอมโมเนีย และมูลไก่ เป็นต้น ซึ่งการย่อย NPN ผลผลิตที่ได้คือแอมโมเนียเช่นเดียวกับโปรตีนที่เป็นสารอาหาร แต่การใช้ NPN เช่น ยูเรียซึ่งถูกสลายตัวได้เร็วจำเป็นต้องมีแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายเพียงพอ มิฉะนั้นจุลินทรีย์จะนำแอมโมเนียไปใช้ไม่ทัน ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูเมนสูงขึ้น เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดจะทำให้ปริมาณแอมโมเนียในเลือดสูงขึ้นและเป็นพิษ ปกติไม่ควรใช้ยูเรียผสมอาหารคิดเป็นวัตถุแห้งเกิน 3% ในอาหารข้น หรือ 1% ของปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ หรือเกิน 30 กรัมต่อน้ำหนักตัว 100 กิโลกรัม และระดับยูเรียที่ใช้จะต้องให้ไนโตรเจนได้ไม่เกิน 30% ของไนโตรเจนทั้งหมดในอาหาร (บุญล้อม, 2541)

ในส่วนของไขมันพบว่าจุลินทรีย์ไม่ชอบอาหารที่มีไขมันสูงเกิน 5% ของอาหารทั้งหมด เพราะกรดไขมันจะไปเคลือบผิวของจุลินทรีย์และอาหาร อีกทั้งจุลินทรีย์ไม่สามารถใช้กรดไขมันเป็นแหล่งพลังงานได้ จึงทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการย่อยอาหารพวกเยื่อใย ส่งผลให้สัตว์กินอาหารได้ลดลง (บุญล้อม, 2541)

แร่ธาตุเป็นสารอาหารอีกชนิดหนึ่งที่จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนมีความต้องการในการดำรงชีวิตเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆทั่วไป โดยแร่ธาตุจะมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์รวมทั้งยังมีผลต่อสภาพแวดล้อมในกระเพาะรูเมนด้วย ทั้งนี้พบว่าแร่ธาตุเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ภายในกระเพาะรูเมน ซึ่งปกติภายในกระเพาะรูเมนจะมีแรงดันออสโมติกที่ค่อนข้างคงที่และมีค่าประมาณ 280 mOsmol/kg ซึ่งเหมาะกับการทำงานของจุลินทรีย์ ถ้าแรงดันออสโมติกเปลี่ยนไปจากนี้โดยเฉพาะเพิ่มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากปริมาณแร่ธาตุที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การทำงานของจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพลดลง การย่อยได้ของโภชนะต่างๆภายในกระเพาะรูเมนก็จะลดลง นอกจากนี้สารประกอบของแร่ธาตุบางชนิดที่นิยมใช้รักษาสภาพ pH ภายในกระเพาะรูเมนให้เหมาะสม เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ถ้าใช้ปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

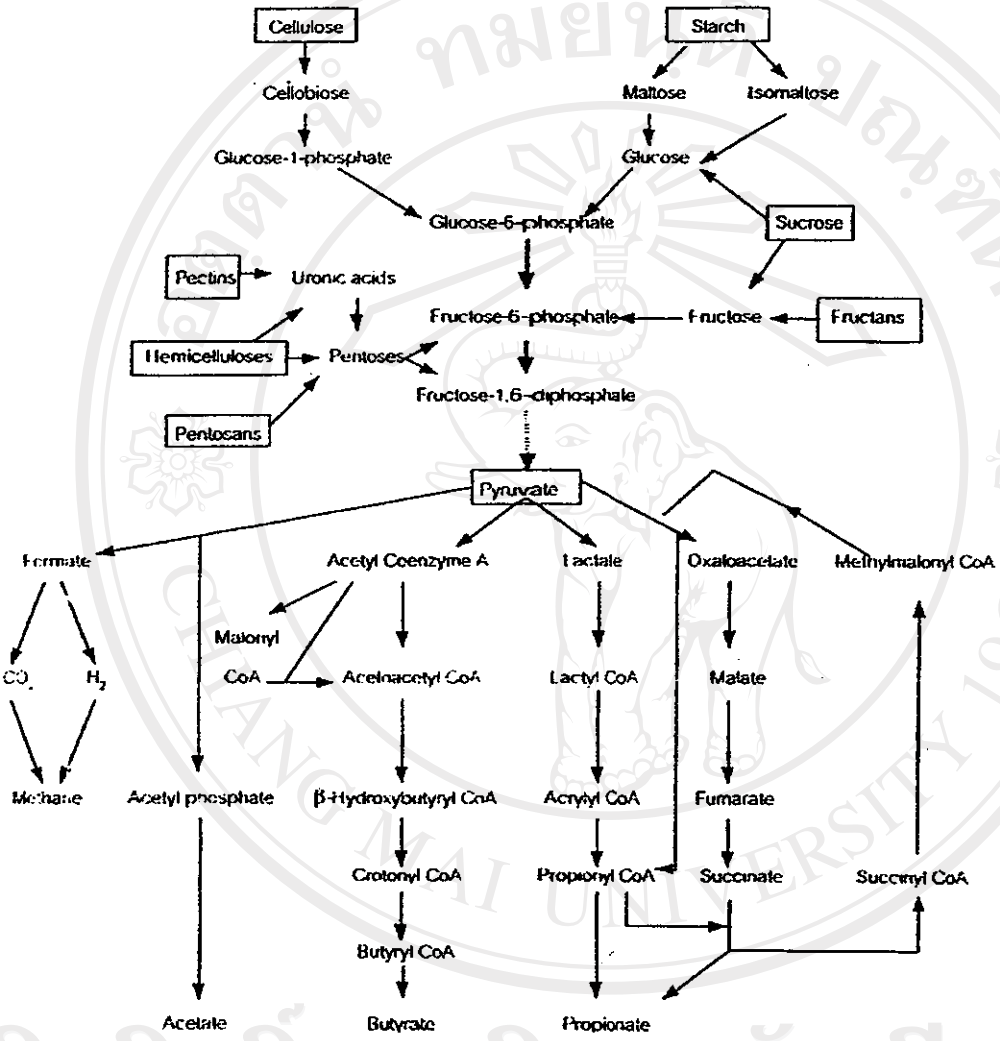
มากเกินไปจะทำให้แรงดันออสโมติกในรูเมนสูงขึ้น สัตว์จะกินอาหารได้น้อยลง และอาจมีผลไปยับยั้งการทำงานของโภชนะหรือแร่ธาตุบางชนิดในอาหารได้ อีกทั้งแร่ธาตุที่อยู่ในรูปแร่ธาตุผสมยังสามารถทำให้ dilution rate เพิ่มสูงขึ้นได้และผลจากการเพิ่มขึ้นของ dilution rate จะทำให้สัดส่วนของกรดอะซิติกเพิ่มขึ้น กรดโพรพิโอนิกลดลงและ nitrogen retention อาจจะเพิ่มขึ้น (เทอดชัย, 2542)

2. คาร์โบไฮเดรตและการเกิดกรดในกระเพาะรูเมน

กรดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในกระเพาะรูเมนเกิดจากการหมักย่อยของอาหารที่โดกินเข้าไป ซึ่งส่วนใหญ่มาจากพืช ในพืชจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบประมาณ 50 – 80% ของปริมาณวัตถุแห้งทั้งหมด คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับตัวสัตว์เคี้ยวเอื้องเอง และสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน คาร์โบไฮเดรตที่โคได้รับสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภท คือ คาร์โบไฮเดรตประเภทที่เป็นโครงสร้างของพืช (structural carbohydrate) หรือที่เรียกว่าประเภทเยื่อใย (fiber carbohydrate) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นต้น และประเภทที่ไม่ใช่โครงสร้างของพืช (non-structural หรือ non fiber หรือ readily available carbohydrate มักเรียกย่อๆว่า NSC หรือ NFC หรือ RAC) ซึ่งได้แก่ แป้ง น้ำตาล และ เพคติน (บุญล้อม, 2541) เมื่อคาร์โบไฮเดรตทั้ง 2 ประเภทนี้เข้าสู่กระเพาะรูเมนจะถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ในรูเมน ได้ผลผลิตเป็น พลังงาน แก๊ส (มีเธนและคาร์บอนไดออกไซด์) ความร้อน และ กรด (ภาพ 2.1) กรดส่วนใหญ่ที่ถูกผลิตขึ้น คือ กรดไขมันระเหยได้ ประกอบด้วย กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก ซึ่งมีปริมาณมากกว่า 95% ของกรดทั้งหมดภายในกระเพาะรูเมน นอกจากนี้ยังมีกรดที่ถูกผลิตขึ้นจากการหมักย่อยของกรดอะมิโนที่เรียกว่า iso-acids อีกเล็กน้อย พลังงานและ iso-acids ที่ถูกผลิตขึ้นจะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ VFA ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเพื่อถูกเมแทบอไลซ์ โดยกรดอะซิติกนอกจากจะถูกเผาผลาญในร่างกายเพื่อใช้เป็นพลังงานแล้ว ยังใช้เป็นสารต้นตอเพื่อสร้างไขมันในนมและเนื้อด้วย กรดโพรพิโอนิกจะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสและใช้ในการสังเคราะห์น้ำตาลในนม ส่วนกรดบิวทีริกจะถูกเปลี่ยนเป็น β-hydroxybutyrate ในระหว่างการดูดซึมที่ผนังกระเพาะรูเมนเพื่อใช้สังเคราะห์ไขมันในต่อมน้ำนมและเนื้อเยื่อไขมัน (Wattiaux, no date และบุญล้อม, 2541) ปริมาณ VFA แต่ละชนิดที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามชนิดของคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่โดกินเข้าไป หรือ สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นซึ่งระดับของ VFA มีผลต่อค่า pH ในกระเพาะรูเมน จากภาพ 2.2 จะเห็นว่าสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่ลดลงจะทำให้ปริมาณ VFA เพิ่มสูงขึ้นแต่ pH ในกระเพาะรูเมนมีค่าต่ำลง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นยังมีผลต่อปริมาณ VFA แต่ละ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

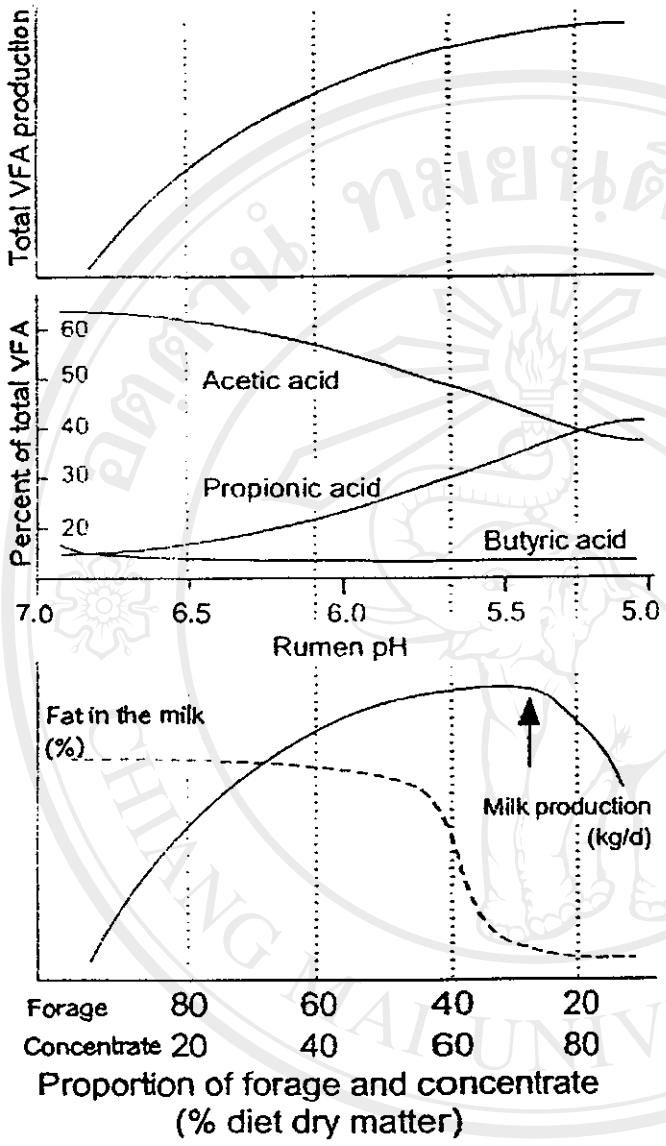
ชนิดด้วย นั่นคือถ้าโคได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของอาหารหยาบสูงในปริมาณมาก กรดอะซิติกจะเพิ่มสูงขึ้นส่วนกรดโพรพิโอนิกจะลดต่ำลง



ภาพ 2.1 การหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน (บุญล้อม, 2541)

Figure 2.1 Carbohydrate fermentation in rumen.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



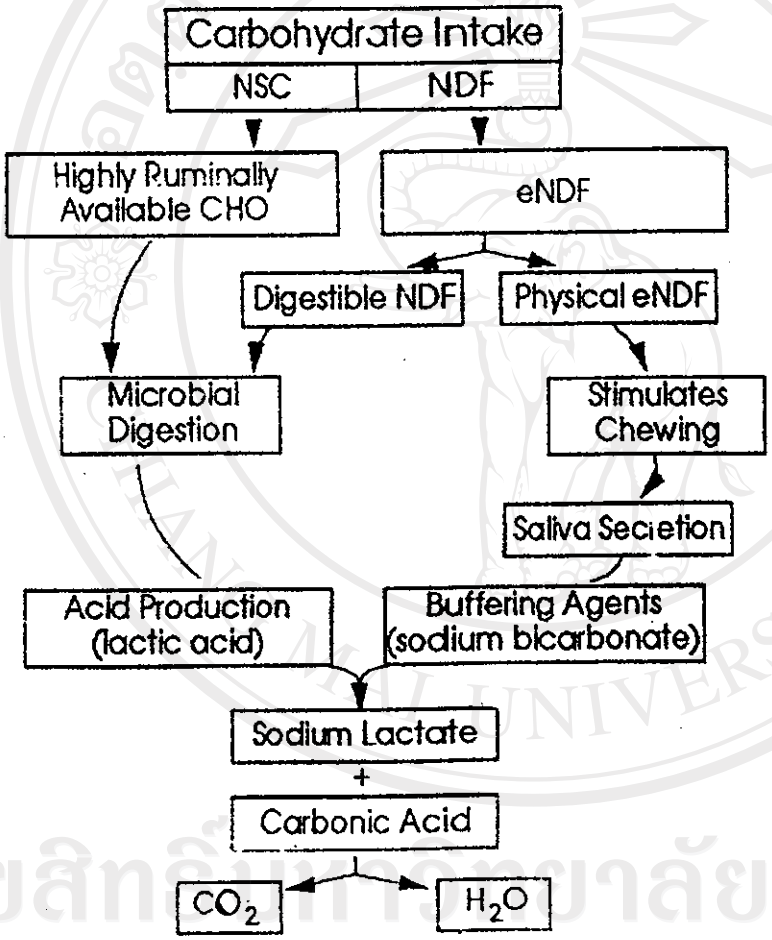
ภาพ 2.2 อิทธิพลของระดับอาหารหยาบและอาหารข้นต่อปริมาณ VFA ในกระเพาะรูเมนและการให้ผลผลิตน้ำนม

Figure 2.2 Effect of diet composition on ruminal VFA and milk production. (Wattiaux, no date)

ในกรณีของโคที่ได้รับอาหารข้นปริมาณมาก อาหารข้นจะถูกหมักย่อยอย่างรวดเร็วทำให้เกิดกรดแลคติกในปริมาณสูง ค่า pH ในกระเพาะรูเมนจะลดต่ำลง ซึ่งค่า pH จะลดลงอย่างรวดเร็วถ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นกรดโพรพิโอนิกไม่ทัน โดยระดับกรดแลคติกอาจสูงถึง 50-90% ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณกรดทั้งหมดที่เกิดขึ้น กรดแลคติกมีฤทธิ์เป็นกรดรุนแรงกว่าVFA ซึ่งถ้าถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดปริมาณมาก จะทำให้เม็ดเลือดแดงไม่สามารถพาออกซิเจนไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย ซึ่งอาจทำให้สัตว์ถึงตายได้ในที่สุด ในสภาพทั่วไปอัตราเร็วของการผลิตกรดจะสมดุลกับการถูกดูดซึมไปใช้จึงทำให้ไม่เกิดปัญหาความเป็นกรดสูงในกระเพาะรูเมนแต่โคต้องได้รับอาหารที่มีปริมาณ NSC และเยื่อใยที่เหมาะสม ปกติร่างกายของสัตว์จะมีกลไกในการรักษาสภาพความเป็นกรด - ด่างในกระเพาะรูเมนที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ดังภาพ 2.3



ภาพ 2.3 คาร์โบไฮเดรตชนิดที่เป็นโครงสร้างและไม่ใช่โครงสร้างต่อการปรับสภาพ pH ในกระเพาะรูเมน

Figure 2.3 Illustration of structural (NDF) and non-structural carbohydrate (NSC) on buffering in the rumen. eNDF = Effective NDF (Nocek, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพ 2.3 แสดงให้เห็นว่ากรดแลคติกที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะถูกสารบัฟเฟอร์ในน้ำลาย ซึ่งส่วนใหญ่ คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต จับให้อยู่ในรูปโซเดียมแลคเตทและกรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอ่อน กรดนี้สามารถแตกตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้จึงช่วยลดความรุนแรงในการออกฤทธิ์ของกรดแลคติกลง เยื่อใยในอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่มาจากพืช ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสม (physical eNDF) ในการกระตุ้นการบีบตัวของกระเพาะ จะทำให้เกิดการขยอกอาหารออกมาเคี้ยวเอื้องและหลั่งน้ำลายได้ แต่ถ้าปริมาณบัฟเฟอร์มีไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับกรดที่เกิดขึ้น จะเกิดการสะสมของกรดภายในกระเพาะรูเมน นำไปสู่การเกิดภาวะความเป็นกรดในกระเพาะสูง หรือที่เรียกว่า แอสิโดสิส (acidosis)

3. ความสำคัญของส่วนประกอบอาหารต่อกระบวนการหมักและการให้ผลผลิตของโคนม

ปริมาณ NDF, ADF และ effective fiber ในอาหารมีความสำคัญต่อโคนม โดยปริมาณ NDF มีสหสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณพลังงานในอาหาร ในขณะเดียวกันองค์ประกอบทางเคมีของ NDF (สัดส่วนของ เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน) ก็มีผลต่อค่าการย่อยได้ของ NDF ด้วย ดังนั้นอาหารที่มีค่า NDF เท่ากันจึงไม่จำเป็นต้องมีค่า NEL เท่ากัน และอาหารที่มี NDF ในปริมาณสูงอาจจะให้ค่า NEL สูงกว่าอาหารที่มี NDF ต่ำก็ได้ และจากการที่เยื่อใยมีความสำคัญมากต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องนี่เอง จึงมีผู้สนใจศึกษาวิจัยเรื่องของเยื่อใยในสูตรอาหารโคนมอย่างกว้างขวาง

ปริมาณ NDF ในอาหารหยาบมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับระยะเวลาที่ใช้ในการเคี้ยวและค่า pH ในรูเมน ซึ่งปริมาณ NDF ในอาหารหยาบนี้ขึ้นอยู่กับชนิด อายุ และสภาพแวดล้อมของพืชชนิดนั้นๆดังนั้นค่าการย่อยได้ของ NDF จึงเป็นตัวชี้วัดถึงคุณภาพของพืชอาหารสัตว์ชนิดนั้นๆได้ จากการศึกษาพบว่าค่าการย่อยได้ของ NDF ในอาหารหยาบที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ DMI เพิ่มขึ้น ผลผลิตน้ำนมก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกันโดยพบว่าการเพิ่มค่าการย่อยได้ของ NDF ขึ้น 1 หน่วยจะทำให้ DMI เพิ่มขึ้น 0.17 กิโลกรัม และปริมาณน้ำนมที่ปรับให้มีไขมัน 4 % แล้วจะเพิ่มขึ้นถึง 0.25 กิโลกรัม (Oba and Allen, 1999)

Slater *et al.* (2000) ศึกษาผลของสูตรอาหารที่มี NDF 4 ระดับคือ 17.8 %, 14.0 %, 13.9 % และ 9.4 % พบว่าโคที่ได้รับอาหารสูตรที่มี NDF 17.8 % และ 14.0 % จะให้นมที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันนมสูงกว่าอีก 2 กลุ่มส่วนโคที่ได้รับสูตรอาหารที่มี NDF 9.4 % จะมีสัดส่วนของอะซิเตทต่อโพรพิโอเนทในรูเมนต่ำกว่ากลุ่มอื่น แต่โคมีการกินได้ของวัตถุแห้งและให้ผลผลิตน้ำนมสูงที่สุด ผลนี้สอดคล้องกับ Beauchemin and Buchanan-Smith (1989) ซึ่งให้อาหารที่มี NDF 3 ระดับคือ 26 %, 30 % และ 34 % แก่โครีดนม (125 วันหลังคลอด) พบว่าการเพิ่มระดับของ NDF ในสูตรอาหารจะทำให้ปริมาณน้ำนมลดลงเป็น 20.8, 19.9 และ 19.1 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Le Ruyet *et al.* (1992) ศึกษาการให้ TMR ที่มี ADF 2 ระดับคือ 16 % และ 21 % พบว่าโคที่ได้รับอาหารที่มี ADF 21% มีค่า pH และสัดส่วนของอะซิเตทต่อโพรพิโอเนทในรูเมน รวมทั้งมีเปอร์เซ็นต์ไขมันนมสูงกว่าโคที่ได้รับ ADF 16 % ในสูตรอาหาร

Alhadhrami and Huber (1992) ให้อาหาร TMR ที่มี ADF 26, 28, 32 และ 38 % โดยทดลองกับโครีดนม 40 ตัวที่ให้นมมาแล้วเฉลี่ย 90 วัน พบว่าระดับ ADF ในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำนมลดลงโดยกลุ่มที่ได้รับ ADF 26 และ 28 % ให้นมเฉลี่ย 30.0 และ 30.8 กิโลกรัม/วัน ในขณะที่กลุ่มได้รับ ADF 32 และ 38% ให้นมเฉลี่ยเท่ากันคือ 27.6 กิโลกรัม/วัน แต่มีแนวโน้มว่ามีเปอร์เซ็นต์ไขมันนมสูงกว่า

การจัดการอาหารให้มีสัดส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบหรือมี non-structural carbohydrate ต่อ structural carbohydrate ที่เหมาะสม มีความสำคัญในโคนม ดังเช่นในงานทดลองของ Batajoo and Shaver (1994) ที่ทดลองใช้อาหารที่มี non-fiber carbohydrate (NFC = starch + sugar + pectin + β-glucans) 4 ระดับ คือ 42, 36, 30 และ 24 % เลี้ยงโครีดนมจำนวน 8 ตัว (น้ำหนักตัวเฉลี่ย 662 กิโลกรัม ให้นมมาแล้วเฉลี่ย 63 วัน) พบว่าการลดระดับ NFC ในสูตรอาหารลงทำให้ DMI ลดลงแต่ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนม ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันนมและโปรตีนในนมเพิ่มขึ้น ค่าการย่อยได้ของ NDF ต่ำที่สุดเมื่ออาหารมี NFC 42 % ค่า pH และสัดส่วนของอะซิเตทต่อโพรพิโอเนทในรูเมนเพิ่มสูงขึ้นและปริมาณ VFA ลดลงตามปริมาณ NFC ที่ลดลง จากผลการทดลองนี้ได้มีการแนะนำว่าอาหารสำหรับโคที่ให้นม 40 กิโลกรัม/วัน ควรจะมี NFC ในสูตรอาหารมากกว่า 30 % แต่ไม่ควรเกิน 35 % (Shaver, no date)

Feng *et al.* (1993) รายงานว่าการเพิ่ม NSC จาก 29 % เป็น 39 % ในสูตรอาหารจะทำให้การย่อยได้ของ NSC และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณผลผลิตน้ำนมจะลดลง และการใช้อาหารที่มี NSC 39 % และมีเยื่อใยที่ถูกย่อยสลายได้รวดเร็วจะทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น แต่การสังเคราะห์ microbial N/วัน จะลดต่ำลง

Tessmann *et al.* (1991) พบว่าการให้อาหารหยาบในระดับต่ำ (38.2 %)ในสัปดาห์ที่ 1-12 หลังคลอดแก่โคที่ให้นมมาแล้ว 2 lactation ขึ้นไปจะทำให้ปริมาณไขมันนม, ปริมาณการกินได้ และประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารลดลง แต่เมื่อเพิ่มระดับอาหารหยาบให้สูงขึ้นในโคที่ให้นม lactation แรก จะทำให้โปรตีนในนม, น้ำหนักตัว, DMI และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารลดลง นอกจากนี้ Dhiman *et al.*(1991) ได้ทำการเก็บตัวอย่างเลือดในสัปดาห์ที่ 2, 3, 4, 6, 8, 12 และ 16 ของการให้นมไปวิเคราะห์หา ปริมาณกลูโคส, ยูเรีย, β-hydroxybutyrate และกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid; FFA) พบว่า ระดับของอาหารหยาบในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กลูโคสใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เลือดลดลงโดยระดับกลูโคสในเลือดจะต่ำในช่วงต้นของการให้นม และจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป การเพิ่มอาหารหยาบในสูตรอาหารจาก 38.2 % เป็น 98.2 % จะทำให้ β-hydroxybutyrate เพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า ในช่วง 4 สัปดาห์แรกของการให้นม ในช่วงต้นของการให้นม FFA จะเพิ่มขึ้นในทุกทรีทเมนต์และจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป แต่สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นไม่มีผลต่อ FFA ในพลาสมา

Yang *et al.* (2001) พบว่าสูตรอาหารที่มีสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่สูง (55:45) จะทำให้โคใช้เวลาในการเคี้ยวมากกว่าสูตรที่มีสัดส่วนดังกล่าวในระดับต่ำ (35:65) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Maekawa *et al.* (2002) ที่พบว่าอาหารผสมครบส่วน (Total Mixed Ration, TMR) ที่มีอาหารหยาบ 40 % โคจะใช้เวลาเคี้ยว 498 นาที/วัน, 50 % ใช้เวลาเคี้ยว 516นาที/วัน และ 60 % โคจะใช้เวลาเคี้ยว 584 นาที/วัน

นอกเหนือจากระดับของเยื่อใยในสูตรอาหาร จะมีความสำคัญในแง่การช่วยเพิ่มสมรรถภาพการผลิตของโคนมแล้ว ขนาดชิ้นของอาหารหยาบก็เป็นสิ่งที่สำคัญเช่นกัน ทั้งนี้เพราะอาหารที่หั่นหยาบจะทำให้ส่วนของ fiber mat หรือ mat layer ในรูเมนมีมากซึ่งส่วนนี้จะช่วยกระตุ้นให้เกิดการเคี้ยวเอื้อง ขนาดของชิ้นเยื่อใยที่ยาวกว่า 1.5 นิ้วจะช่วยเพิ่มส่วนของ fiber mat ให้มากขึ้น เมื่อโคมีการเคี้ยวมากขึ้น น้ำลายที่ถูกหลั่งออกมาก็จะมีมากขึ้นเช่นกัน (Allen, 1997)

Woodford and Murphy (1988) ศึกษาผลของลักษณะทางกายภาพของอาหารหยาบต่อพฤติกรรมการเคี้ยว และ DMI ตลอดจนกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในรูเมนในโครระยะแรกของการให้นม สูตรอาหารที่ใช้ประกอบด้วย อาหารข้น : alfalfa haylage : อัลฟัลฟ่าอัดเม็ด ในอัตราส่วน 60 : 40 : 0, 60 : 28 : 12 และ 40 : 60 : 0 พบว่า DMI เท่ากับ 23.1, 23.0 และ 18.8 กิโลกรัม/วัน ปริมาณนมเท่ากับ 33.7, 35.5 และ 31.8 กิโลกรัม/วัน เปอร์เซ็นต์ไขมันนมเท่ากับ 3.1, 2.9 และ 2.6 % อัตราการเคี้ยวเอื้องเท่ากับ 137, 367 และ 204 นาที/วัน เวลาที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารเท่ากับ 649, 566 และ 376 นาที/วัน ตามลำดับ และพบว่าปริมาณอะซิเตทในรูเมนของโคที่ได้รับอาหารที่มี อาหารข้น : alfalfa haylage : อัลฟัลฟ่าอัดเม็ด ในอัตราส่วน 60 : 40 : 0 มีค่าสูงที่สุด (58.6 vs 56.3 และ 53.8 molar%)

4. แอสิโดสิส (Acidosis)

แอสิโดสิส คือ ภาวะความผิดปกติเกี่ยวกับระบบเมแทบอลิซึม (metabolic disorder) ชนิดหนึ่ง ที่มีการลดลงของด่าง (alkali) พร้อมๆกับการเพิ่มขึ้นของกรด หรือ ปริมาณไฮโดรเจนอิออน (hydrogen ion, H^+) ในของเหลวภายในร่างกาย (Stedman, 1982 อ้างโดย Owens *et al.*, 1998) ชื่อเรียกโดยทั่วไปของแอสิโดสิส มีหลายชื่อ เช่น over eating, acute impaction, grain engorgement, founder และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

overloading เป็นต้น (Elam, 1976., Owens *et al.*, 1998) แอสิโดสิสแบ่งเป็น 2 แบบ คือ acute acidosis และ subacute acidosis

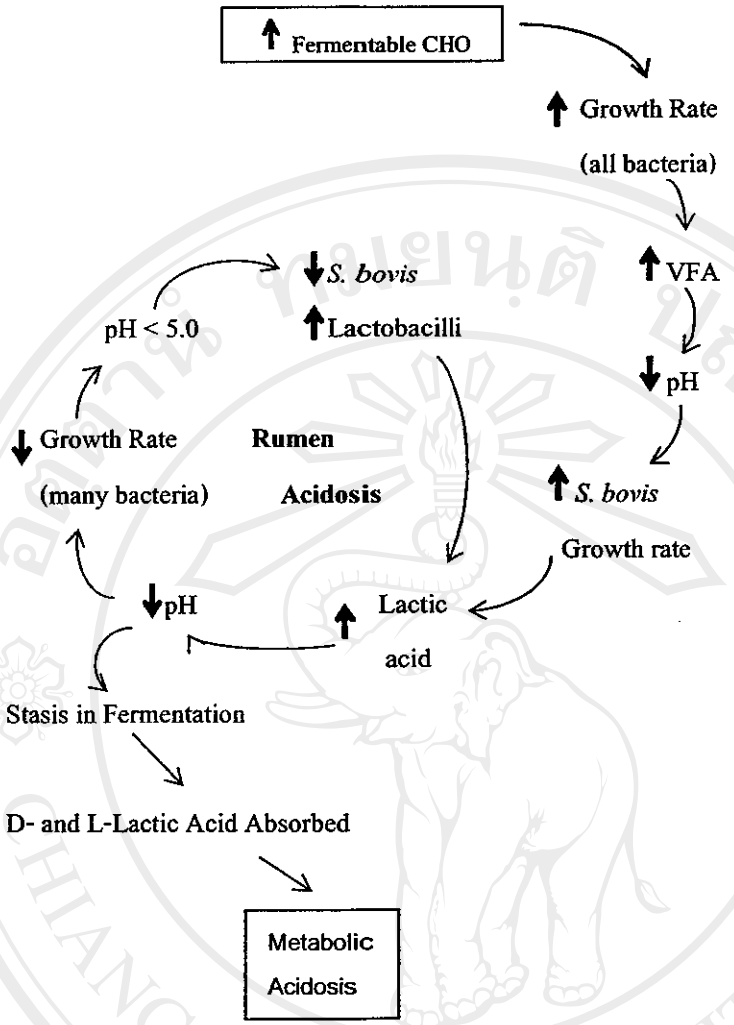
Acute acidosis หรือ แอสิโดสิสแบบเฉียบพลัน เป็นอาการที่พบไม่บ่อยนัก ลักษณะอาการที่พบ คือ เบื่ออาหาร ท้องร่วงอย่างรุนแรง อัตราการเต้นของหัวใจเร็วผิดปกติ pH ของเลือดต่ำกว่า 7.35 ในรายที่เป็น lactic acidosis มักจะมีกรดแลคติกในรูเมนสูงกว่า 40 mM/ml ซึ่งถ้าไม่ได้รับการรักษาอย่างทันท่วงทีก็อาจทำให้โคเสียชีวิตได้

Subacute acidosis หรือ แอสิโดสิสแบบไม่รุนแรง มักจะสังเกตอาการได้ยาก อาการที่สังเกตเห็นคือ ปริมาณการกินได้ลดลง หรือ มีความผันแปรในแต่ละวัน ผลผลิตน้ำนม และ เปอร์เซ็นต์ไขมันนมลดลงต่ำกว่าปกติ ถ่ายเหลว นอกจากนี้ยังมักมีอาการเจ็บกีบ แอสิโดสิสแบบนี้อาจไม่ถึงกับทำให้โคเสียชีวิตแต่ก็มีผลต่อเศรษฐกิจของฟาร์มเพราะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา และในที่สุดอาจต้องถึงขั้นคัดโคออกจากฝูง

4.1 สาเหตุของการเกิดแอสิโดสิส

สาเหตุหลักของการเกิดแอสิโดสิส คือ การที่โคได้รับอาหารที่มีส่วนของ NFC ในปริมาณมากเกินไป NFC ได้แก่ แป้ง น้ำตาลและเพคติน ซึ่งจะมีมากในอาหารข้น ดังนั้นถ้าโคได้รับอาหารข้นในปริมาณมากก็มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดแอสิโดสิสสูง ดังเช่นรายงานของ Hutjens (1996) ที่กล่าวว่าโคที่ได้รับอาหารข้นคิดเป็นวัตถุแห้งมากกว่า 6 ปอนด์ (ประมาณ 2.73 กิโลกรัม) ต่อมื้อเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดแอสิโดสิส และ Nocek (1997) รายงานว่าโคที่ได้รับอาหารข้น 55 – 60 % ของวัตถุแห้งส่งผลให้กระเพาะรูเมนมี pH ลดต่ำลงมาก ดังนั้นโคนมจึงมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดปัญหาแอสิโดสิสเพราะได้รับอาหารข้นสูง นอกจากนี้การเปลี่ยนอาหารจากที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายในปริมาณน้อยมาเป็นอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตย่อยง่ายปริมาณมากในทันทีทันใด ก็สามารถทำให้เกิดแอสิโดสิสได้ (Elam, 1976.; Hutjens, 1996.; Nocek, 1997. and Owens *et al.*, 1998.) เช่น โคที่อยู่ในช่วงพักรีดก่อนคลอดที่ได้รับอาหารข้นปริมาณน้อย มาเป็นช่วงหลังคลอดที่จะต้องได้รับอาหารข้นสูงเพื่อเตรียมพร้อมในการให้นม เป็นต้น ซึ่งช่วงนี้เรียกว่า transition period (Nocek, 1997) Hutjens (1996) รายงานว่าถ้าโคนมกินอาหารข้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่าวันละ 680 กรัม (1.5ปอนด์) จะเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดแอสิโดสิสได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.4 ลำดับเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการชักนำให้เกิดความเป็นกรดในกระเพาะรูเมน

Figure 2.4 Sequence of events associated with the induction of acute ruminal lactic acidosis. CHO = Carbohydrate. (Nocek, 1997)

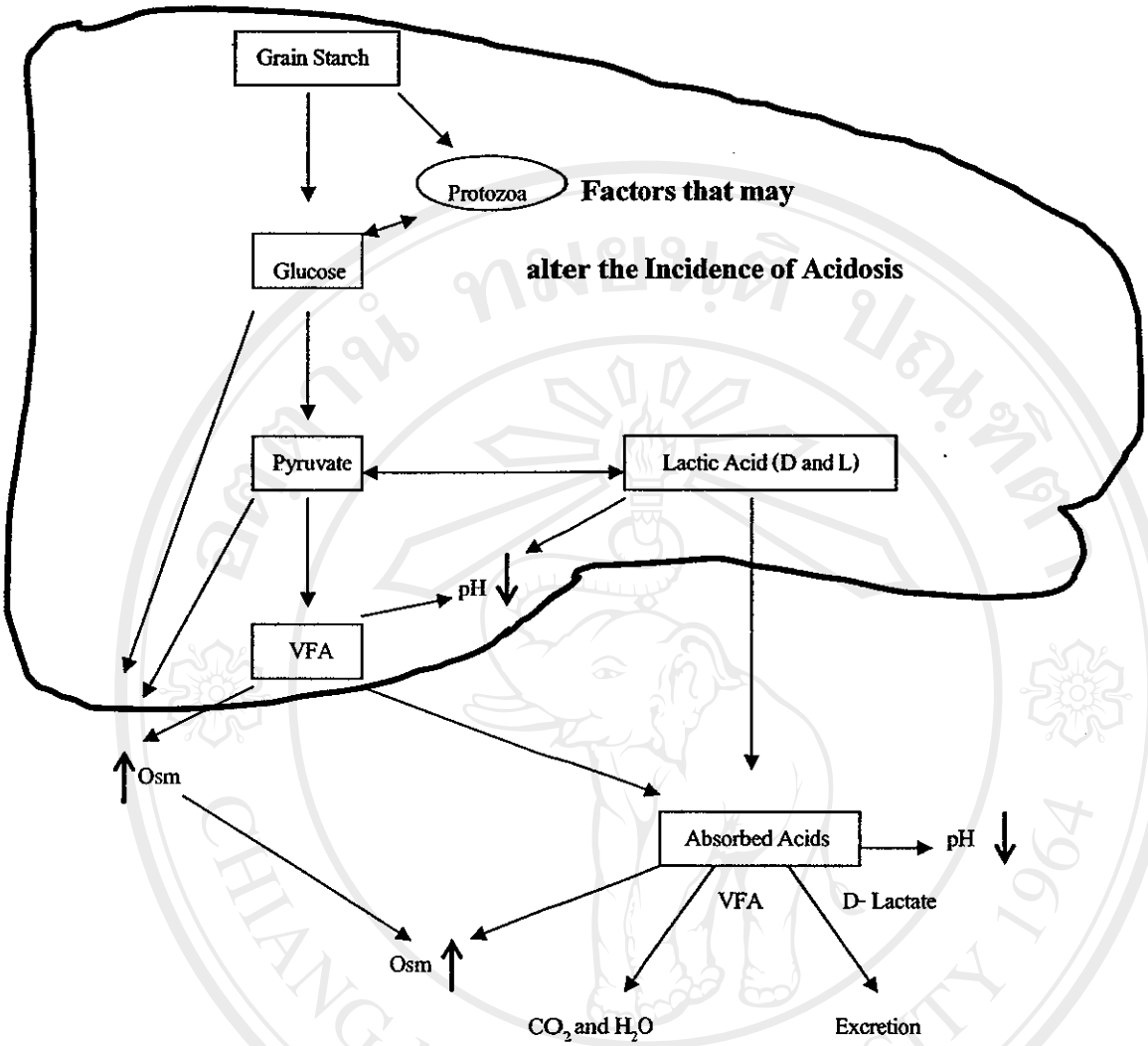
เมื่อโคได้รับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อยได้ง่ายในปริมาณมาก แบคทีเรียในกระเพาะรูเมนทุกชนิดจะมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้น กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid; VFA) ที่ถูกผลิตโดยจุลินทรีย์เหล่านี้ก็จะเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า pH ในกระเพาะรูเมนลดต่ำลง จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยแป้ง (amylolytic flora) จะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว จุลินทรีย์ชนิดนี้ที่สำคัญคือ *Streptococcus bovis* (*S. bovis*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่จะทำการย่อยแป้งให้เป็นกรดแลคติก *S. bovis* นี้จะลดจำนวนลงเมื่อ pH อยู่ในช่วง 5.1 - 5.3 ส่วนจุลินทรีย์ที่ใช้กรดแลคติก เช่น *Megasphera elsdenii* (*M. elsdenii*) จะเจริญได้ไม่ดีถ้า pH อยู่ในช่วง 5.5 – 6.0 ดังนั้นถ้า pH ในกระเพาะรูเมนลดต่ำลง *S. bovis* จะเพิ่มจำนวนขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้น pH ในกระเพาะรูเมนจะลดต่ำลงอีก จนกระทั่งทำให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียหลายชนิดเจริญไม่ได้ และเมื่อ pH ลดต่ำลงกว่า 5.0 *S. bovis* เองก็จะลดจำนวนลงแต่แบคทีเรียพวก lactobacilli สามารถปรับตัวและทนต่อสภาพความเป็นกรดนี้ได้ ผลิตกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการสะสมกรดแลคติกในกระเพาะรูเมน เกิดภาวะที่เรียกว่า rumen acidosis ดังแสดงในภาพ 2.4

สำหรับบทบาทของโปรโตซัวในแง่ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแอสิโดสิสยังไม่เป็นที่ชัดเจน Slyter (1976) เชื่อว่าโปรโตซัวกินแป้งที่มาจากอาหารและเก็บกลูโคสที่ถูกย่อยแล้วในรูปของโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) จึงช่วยทำให้การย่อยแป้งของจุลินทรีย์ช้าลง กรดที่ถูกผลิตขึ้นจึงช้าลงด้วย แต่โปรโตซัวในกระเพาะรูเมนก็อาจก่อให้เกิดแอสิโดสิสได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะโปรโตซัวมีเอนไซม์อะไมเลส (amylase) ต่อหน่วยของโปรตีนมากกว่าแบคทีเรีย (Mendoza and Britton, 1991. อ้างโดย Owens *et al.*, 1998) และด้วยอุปนิสัยของโปรโตซัวที่ไม่มีการควบคุมการกินอาหาร ทำให้หยุดกินไม่ได้มันจึงกินอาหารจนกระทั่งเซลล์แตก อะไมเลสจะถูกปล่อยออกมาย่อยแป้งให้เป็นกลูโคสเข้าสู่วิถีไกลโคไลสิส (glycolysis) ต่อไป ซึ่งผลผลิตจากโปรโตซัวเหล่านี้ ได้แก่ VFA และ กรดแลคติก นอกจากนี้ยังมีไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์อีกเล็กน้อย (เทอดชัย, 2542) VFA และกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้ pH ในกระเพาะรูเมนลดต่ำลง กรดแลคติกที่เกิดขึ้นซึ่งอยู่ในรูปแบบทั้ง D – lactic acid และ L – lactic acid บางส่วนจะถูกทำให้มีสภาพเป็นกลาง แต่อีกส่วนหนึ่งที่มีปริมาณค่อนข้างมากจะถูกดูดซึมผ่านกระเพาะรูเมนเข้าสู่กระแสเลือด การได้รับอาหารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง หรือ บัฟเฟอร์ เช่น แอมโมเนียที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนหรือไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen, NPN) รวมถึงไบคาร์บอเนตจากอาหารและจากน้ำลายของโคที่เกิดขึ้นระหว่างการเคี้ยวเอื้อง จะสามารถช่วยป้องกันการลดต่ำลงของ pH ในกระเพาะรูเมนได้ (Owens *et al.*, 1998) แต่ถ้ากรดแลคติกมีมากและมีปริมาณไบคาร์บอเนตไม่เพียงพอกับการปรับสภาพให้เป็นกลางจะทำให้ pH ในเลือดและความดันเลือดลดต่ำลง เป็นเหตุให้การไหลเวียนของเลือดไปยังส่วนต่างๆของร่างกายช้าลง การนำพาออกซิเจนไปยังเซลล์ต่างๆในร่างกายก็จะลดน้อยลง (เทอดชัย, 2542) Owens *et al.* (1998) รายงานว่าการเกิดแอสิโดสิสมีกรดแลคติกเป็นสาเหตุหลักเพราะกรดแลคติกมีฤทธิ์ในการเป็นกรดแรงกว่า VFA ถึง 10 เท่า Huber (1976) ได้ศึกษาในเรื่องนี้พบว่า D – lactic acid ไม่สามารถถูกเนื้อเยื่อนำไปใช้ได้เร็วเหมือน L – lactic acid ซึ่ง D – lactic acid ที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปกำจัดที่ไตโดยผ่านไปกับกระแสเลือด และยังพบอีกว่ากรดบิวทีริก (butyric acid) ซึ่งเป็น VFA ตัวหนึ่งสามารถชัดขวางการเปลี่ยน L – lactic acid ไปเป็นกลูโคสได้ด้วย สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากการสลาย VFA นั้น เมื่อมีมากในกระแสเลือดโคจะกำจัดออกโดยวิธีการหายใจถี่ขึ้น ส่วน D – lactic acid จะถูกกำจัดทิ้งทางไตเพียงบางส่วนเท่านั้น ส่วนที่ยังตกค้างและสะสมอยู่จะทำให้เกิดแอสิโดสิสได้ ดังภาพ 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.5 กลไกและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อสัตว์เกิดภาวะแอสิโดสิส

Figure 2.5 Key reactions in acidosis of ruminants. Osm = osmotic pressure (Owens *et al.*, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 อาการโดยทั่วไปของโคเมื่อเกิดภาวะแอสิโดสิส

1. ค่า pH ในรูเมนลดต่ำลง โดยในโคที่เกิด acute acidosis ค่า pH ในรูเมนจะลดลงถึง 5.0 หรือต่ำกว่า ส่วนโคที่เป็น subacute acidosis นั้นค่า pH จะต่ำกว่า 5.5 แต่สูงกว่า 5.0 (Nocek, 1997; Owens *et al.*, 1998)
2. การเคลื่อนไหวหรือการบีบตัวของรูเมนผิดปกติ
3. โคมีการเคี้ยวเอื้องน้อยลง

4. ปริมาณการกินได้มีความแปรปรวนมากในแต่ละวัน
5. ลักษณะมูลของโคในกลุ่มที่เป็น subacute acidosis จะมีลักษณะตั้งแต่เป็นก้อน จนถึงมูลเหลว
6. มูลมักจะมีฟองอากาศ (foamy) ซึ่งพบในกรณีที่อาหารถูกย่อยไม่สมบูรณ์ในกระเพาะรูเมน กากอาหารที่เหลือก็จะผ่านเข้าสู่ไส้ตรงและลำไส้ใหญ่ (hindgut) ซึ่งในส่วนนี้เองกากอาหารจะถูกหมักย่อยโดยแบคทีเรีย แก๊สที่เกิดขึ้นจะถูกขับออกมาพร้อมกับมูล จึงทำให้พบฟองแก๊สในมูล
7. มักพบเยื่อเมือก (mucin) ปนออกมากับมูล ซึ่งเกิดจากการที่กากอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์โบไฮเดรตผ่านเข้าสู่ hindgut แล้วถูกหมักย่อยให้เป็นกรดอินทรีย์ กรดที่เกิดขึ้นถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดแผลหรือเกิดการระคายต่อเซลล์ของลำไส้ใหญ่ ทำให้เซลล์ epithelium ถูกทำลาย ดังนั้นเซลล์ลำไส้จึงหลั่งเยื่อเมือกออกมาเพื่อเป็นการปกป้องตนเอง (Argenzio *et al.*, 1988; Argenzio and Meuten, 1991 อ้างโดย Hall, 1999)
8. พบเยื่อใยชิ้นยาว (> 0.5 นิ้ว) ปริมาณมากในมูล
9. พบชิ้นอาหารที่ไม่ถูกย่อยปนออกมากับมูลโดยเฉพาะอาหารที่เป็นพวกเยื่อใย
10. มักพบเมล็ดธัญพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารข้นที่ไม่ถูกย่อยปนออกมากับมูล (ขนาดชิ้น $\leq$ ¼ นิ้ว) เยื่อใยชิ้นยาวหรือเมล็ดธัญพืชที่ไม่ถูกย่อยที่ปนออกมากับมูลนั้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากการที่ pH ในรูเมนมีค่าต่ำลง จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยเยื่อใยลดจำนวนลง ทำให้การย่อยเยื่อใยเกิดขึ้นได้ไม่ดี รวมทั้งเมื่อโคเกิดภาวะแอสิโดสิสมักจะเคี้ยวเอื้องลดลง การบีบตัวของกระเพาะรูเมนลดลง ส่งผลให้การย่อยได้ของอาหารลดลง
11. ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารต่ำลง
12. ให้ผลผลิตลดลง

4.3 ผลสืบเนื่องจากการเกิดแอสิโดสิส

4.3.1 กีบอักเสบ (Laminitis)

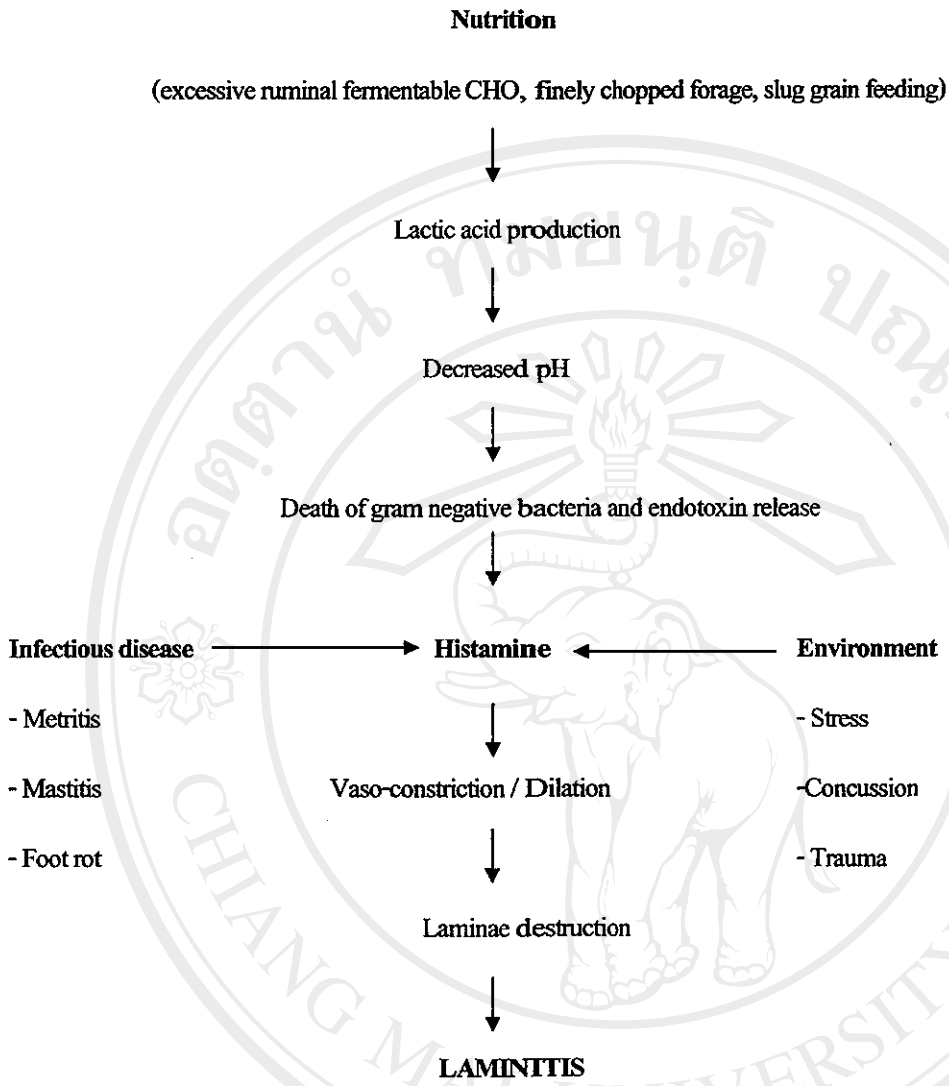
กีบอักเสบ หรือ Laminitis มีชื่อเรียกทางการแพทย์ว่า Pododermatitis aseptic diffusa เป็นอาการบวมอักเสบของ dermal layers ภายในกีบของสัตว์ โรคนี้มีปัจจัยร่วมหลายปัจจัย ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ คือ ปัจจัยทางด้านอาหาร โดยพบว่าอาหารที่ให้พลังงานสูงหรือมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อยได้ง่ายในปริมาณสูงซึ่งส่งผลให้เกิดแอสิโดสิสได้นั้น สามารถชักนำให้เกิดกีบอักเสบได้ทั้งการเกิด sole ulcers และ hemorrhages นอกจากนี้การให้อาหารข้นแยกกับอาหารหยาบแก่โคที่ให้ผลผลิตสูงยังทำให้อัตราการเกิดกีบอักเสบสูงกว่าการให้ TMR ด้วย (Bergsten, no date) อีกทั้งการให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารที่มีความชื้นสูง เช่น หญ้าหมัก (19% DM) ในช่วงก่อนคลอดหรือหลังคลอดจะส่งผลให้เกิดกีบอักเสบได้มากกว่าการให้อาหารแห้งและไม่ได้หมัก เช่น ฟางกับอาหารข้น (86% DM) (Logue *et al.*, 2000 อ้างโดย Bergsten, no date) แต่ในบางรายงานเช่น Momcilovic *et al.* (2000) ได้ทดลองให้อาหารแก่โคเนื้อจำนวน 16 ตัว อายุประมาณ 17 สัปดาห์ ที่มีระดับ TDN และ โปรตีนดังนี้ 1) 71% TDN, 15% CP ; 2) 71% TDN, 20% CP ; 3) 81% TDN, 15% CP และ 4) 81% TDN, 20% CP พบว่าโคที่ได้รับอาหารสูตร 3) และ 4) มีอาการเบื่ออาหาร ท้องร่วง ค่า pHในรูเมนลดต่ำ ปริมาณ D และ L – lactate และ VFA เพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่พบอาการเจ็บกีบหรือความผิดปกติของกีบ โดยทั่วไปเชื่อว่าการเกิดกีบอักเสบที่มีผลมาจากปัจจัยเรื่องอาหาร เกิดจากการได้รับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะรูเมนในปริมาณมากเกินไป หรือ อาหารหยาบมีขนาดชิ้นละเอียดเกินไป ปริมาณกรดแลคติกจากการถูกหมักย่อยของอาหารเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นทำให้ pH ในกระเพาะรูเมนลดลง แบคทีเรียกรัมลบ เช่น *E.coli* จะตายทำให้ endotoxin ถูกหลั่งออกมา นอกจากนี้ *E.coli* และแบคทีเรียพวก lactobacilli ยังสามารถหลั่งเอนไซม์ที่กำจัด carboxyl group ของฮีสทิดีน (histidine) ในอาหารที่มีโปรตีนสูงทำให้เกิดเป็นฮีสตามีน (histamine) ขึ้น ซึ่งทั้ง endotoxin และ histamine จะมีผลไปกระตุ้นการบีบและคลายตัวของระบบไหลเวียนเลือด เมื่อแรงดันเลือดเพิ่มจะทำให้เส้นเลือดฝอยที่ไปหล่อเลี้ยงบริเวณกีบแตก เกิดเป็นจุดเลือดออก เซลล์บริเวณกีบจะขาดออกซิเจนและสารอาหาร ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้นถูกทำลาย

ปกติแล้วฮีสตามีนจะสามารถพบได้ในเนื้อเยื่อและในเลือดของสัตว์อยู่แล้ว โดยหน้าที่ของฮีสตามีนคือ กระตุ้นการบีบและคลายตัวของเส้นเลือด มันสามารถถูกเมแทบอไลซ์ได้โดยตับ ผนังลำไส้ และแบคทีเรียในทางเดินอาหารโดยจะถูกออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูปที่ไม่สามารถทำงานได้ แต่ในกรณีที่ทำให้เกิดกีบอักเสบนี้ เป็นเพราะปริมาณฮีสตามีนที่เกิดขึ้นมีมากเกินไป ซึ่งอาจมาจากหลายสาเหตุ ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยจากสภาพแวดล้อม เช่น ความเครียด อากาศร้อน ความชื้นในอากาศสูง พื้นที่โคยืนแข็งเกินไป หรือ อาการเจ็บป่วย เช่น การเกิดเต้านมอักเสบ มดลูกอักเสบ หรือ กีบเน่า เป็นต้น (Nocek, 1997) (ภาพ 2.6 และ 2.7)

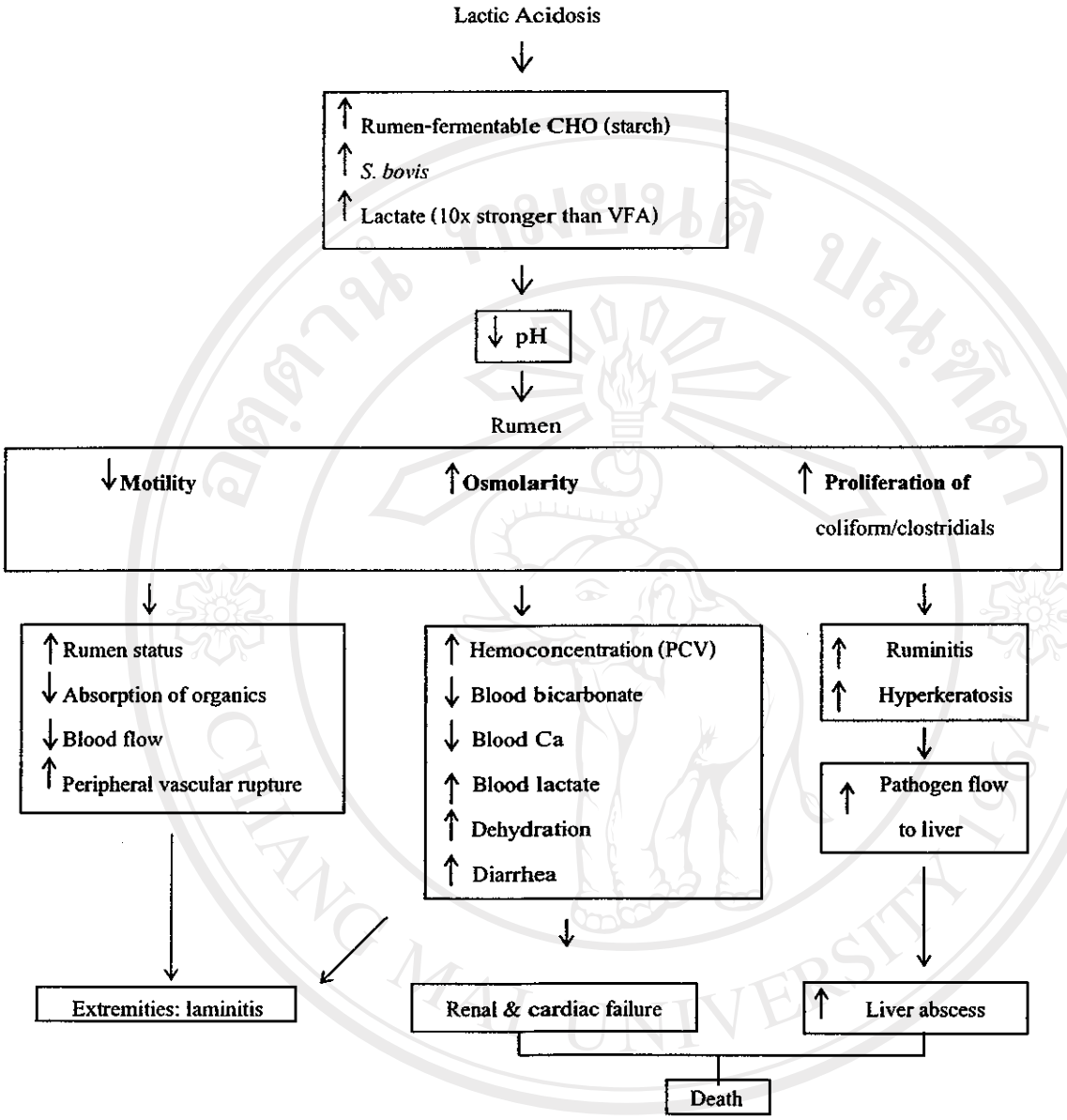
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.6 ความสัมพันธ์ของอาหาร โรค และสิ่งแวดล้อมต่อการเกิดกีบอักเสบ

Figure 2.6 Relationship between nutrition, disease and environment on the development of laminitis.(Nocek, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.7 ลำดับขั้นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของการเกิดแอสิโดสิสที่สัมพันธ์กับการเกิดกีบอักเสบ

Figure 2.7 Progression of physiological events that link acidosis with laminitis.

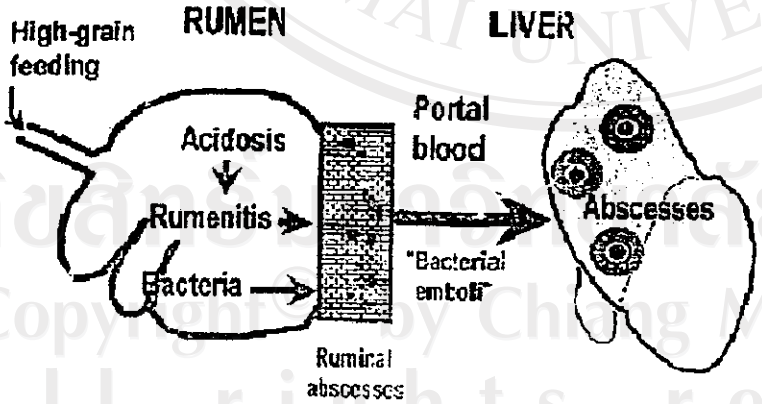
CHO = Carbohydrate. (Nocek, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเกิดกีบอักเสบก่อให้เกิดผลเสียต่อเศรษฐกิจของฟาร์มอย่างมาก เพราะโคจะไม่อยากลุกหรือเดินไปกินอาหาร ทำให้ปริมาณการกินอาหารลดลง ส่งผลต่อเนื่องไปยังระบบสืบพันธุ์ และผลผลิตน้ำนมที่จะลดต่ำลงด้วย ในที่สุดอาจจำเป็นต้องคัดโคตัวนั้นออกจากฝูง (Sprecher *et al.*, 1997)

4.3.2 ฝีในตับ (liver abscess)

ความเกี่ยวข้องของการเกิดฝีในตับกับภาวะแอสิโดสิส เกิดขึ้นเนื่องจากการที่กระเพาะรูเมนถูกทำลายโดยเมื่อโคเกิดภาวะแอสิโดสิส ปริมาณกรดในกระเพาะซึ่งมีมากจะมีฤทธิ์กัดกร่อนผนังกระเพาะรูเมนทำให้เกิดเป็นแผล แบคทีเรียสำคัญที่ทำให้เกิดฝีในตับและฝีที่ผนังกระเพาะรูเมน คือ *Fusobacterium necrohorum* (*F. necrophorum*) หรือชื่อเดิมคือ *Sphaerophorus necrophorus* อีกทั้งยังพบว่า แบคทีเรียชนิดนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคหลอดลมอักเสบในลูกโค กีบเน่า และ กีบเป็นแผลด้วย ปกติแล้วแบคทีเรียชนิดนี้ถือเป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในทางเดินอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เป็นชนิดกรัมลบ (gram-negative) มีรูปร่างเป็นแท่ง (rod-shaped) แหล่งพลังงานสำคัญของแบคทีเรียชนิดนี้คือ กรดแลคติก นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนได้หลายชนิด เมื่อเกิดแผลบริเวณกระเพาะรูเมน *F. necrophorum* จะผ่านผนังรูเมนบริเวณที่เกิดแผลนั้นเข้าสู่กระแสเลือดไปยังตับ ทำให้ทั้งบริเวณผนังกระเพาะรูเมนและตับเกิดการติดเชื้อ เกิดเป็นฝีขึ้นในที่สุด (Nagaraja and Chengappa, 1998) Tan *et al.* (1994 อ้างโดย Nagaraja and Chengappa, 1998) พบว่าใน rumen contents 1 กรัมจะมี *F. necrophorum* $10^5 - 10^6$ เซลล์ ขึ้นกับชนิดของอาหาร การเปลี่ยนสูตรอาหารจากที่มีอาหารข้นต่ำเป็นอาหารข้นสูงจะทำให้ *F. necrophorum* เพิ่มจำนวนขึ้น (7×10^5 vs $3\text{-}7 \times 10^6$ cells/g) ทั้งนี้เพราะเมื่อโคได้รับอาหารข้นสูง กรดแลคติกจะเกิดสูงขึ้นตามไปด้วยซึ่งกรดนี้เป็นแหล่งพลังงานของแบคทีเรียชนิดนี้ ดังนั้นจำนวน *F. necrophorum* จึงมีมากขึ้นประกอบกับตัวของมันเองสามารถผลิตเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนได้จึงทำให้ผนังกระเพาะรูเมนถูกทำลายได้อีกทางหนึ่ง ภาพ 2.8 แสดงการเกิดฝีในตับของโคที่ได้รับอาหารข้นปริมาณมาก



ภาพ 2.8 การเกิดฝีที่ตับในโคที่ได้รับอาหารข้นปริมาณมาก

Figure 2.8 Pathogenesis of liver abscesses in cattle fed a high-grain diet. (Nagaraja and Chengappa, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.3 Polioencephalomalacia (PEM)

สาเหตุหนึ่งของการเกิด Polioencephalomalacia หรือ cerebrocortical necrosis (CCN) คือ การเกิด lactic acidosis (Brent, 1976) โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียกรัมลบจะลดจำนวนลงเมื่อเกิดภาวะความเป็นกรดในกระเพาะ ในขณะที่แบคทีเรียกรัมบวก เช่น พวก bacilli จะเพิ่มจำนวนขึ้นและแบคทีเรียพวกนี้จะสามารถผลิต thiaminase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สลายไธอามีน (thiamin) หรือไวตามินบี 1 ได้ เมื่อขาดไธอามีนจะทำให้โคเอนไซม์ thiamin pyrophosphate (TTP, thiamin diphosphate) ขาดตามไปด้วยซึ่งโคเอนไซม์นี้มีความสำคัญในปฏิกิริยาที่เชื่อมระหว่าง glycolysis และ Krebs'cycle จึงทำให้ pyruvate เปลี่ยนเป็น acetyl CoA เพื่อเข้าสู่ Krebs'cycle ไม่ได้ ทำให้เกิดเป็นกรดแลคติกแทน ซึ่งสัตว์มักจะแสดงอาการทางระบบประสาท เช่น มีอาการสั่นกระตุกของกล้ามเนื้อ หัวสั่น กล้ามเนื้อลูกตาไม่มีแรง ตากลอกไปมาเอง เกิดอาการบวมของสมอง ตาพร่ามัว และบางครั้งอาจทำให้ตาบอด นอกจากนี้อาจถึงตายได้ (Brent, 1976 และ นีโลบล, 2542)

5. การปรับสภาวะความเป็นกรดในกระเพาะรูเมน

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสารประกอบที่มีบทบาทสำคัญในการช่วยปรับสภาพ pH ในกระเพาะรูเมนคือ สารบัฟเฟอร์ บัฟเฟอร์ในรูเมนมาจาก 2 แหล่ง คือจากอาหารที่กินเข้าไปและที่ร่างกายของสัตว์สร้างขึ้นเอง (endogenous buffering) โดยอาหารที่โคกินเข้าไปจะมีค่า buffering capacity แตกต่างกันตามชนิดของอาหารซึ่งมักนิยมคิดเป็นค่า dietary cation-anion difference (DCAD) หรือค่าความแตกต่างของปริมาณประจุบวกและประจุลบในอาหาร อาหารที่มีค่า DCAD สูงจะช่วยทำให้ pH ในรูเมนมีค่าสูงขึ้น และช่วยเพิ่มปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ รวมถึงส่งผลต่อปริมาณนมที่จะเพิ่มขึ้นด้วย (Sanchez et al., 1994) ค่า DCAD ในอาหารโคนมที่เหมาะสมในช่วงระยะแรกของการให้นมคือ ประมาณ +400 meq/kg ของ (Na+K)-(Cl+S) ส่วนโคในช่วงระยะกลางของการให้นม คือประมาณ +275 ถึง +400 meq/kg (Block and Sanchez, 2000 อ้างโดย Oetzel, 2001) ในอาหารข้นจะมีค่า DCAD ต่ำและค่า DCAD จะติดลบในโคที่ให้นมสูงเพราะได้รับอาหารข้นในปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดแอสิโดสิส ส่วนบัฟเฟอร์ที่ร่างกายสัตว์สร้างขึ้นเองนั้นจะอยู่ในน้ำลายที่สัตว์หลั่งออกมาโดยเฉพาะเมื่อสัตว์มีการเคี้ยวอาหาร ดังได้กล่าวมาแล้วว่าเยื่อใยในอาหารจะมีส่วนในการช่วยกระตุ้นการหลั่งน้ำลาย อาหารหยาบที่ถูกหั่นหยาบๆซึ่งจะมี effective fiber อยู่สูงจะช่วยเพิ่มการหลั่งน้ำลายได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับอาหารที่ถูกหั่นละเอียดหรือพืชสด (Bailey, 1961 อ้างโดย Oetzel, 2001) นอกจากนั้นการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่ดีขึ้น และระบบการให้อาหารที่เหมาะสมก็มีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณบัฟเฟอร์ในรูเมนได้เช่นกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.1 บทบาทของสารบัฟเฟอร์ ต่อการปรับสภาวะในกระเพาะรูเมนและการให้ผลผลิต

บัฟเฟอร์เป็นสารที่สามารถต่อต้านการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลาย เมื่อมีการเติมกรดแก่หรือเบสแก่ลงไปจำนวนหนึ่ง โดยบัฟเฟอร์จะประกอบด้วยกรดอ่อนและคู่เบสของกรดอ่อนนั้น หรือ ประกอบด้วยเบสอ่อนและคู่กรดของเบสนั้น ในทางอุตสาหกรรมมีการใช้บัฟเฟอร์อย่างกว้างขวาง เช่น การทำสีและการฟอกหนัง ทางเคมีวิเคราะห์ บัฟเฟอร์มีความจำเป็นในการใช้ควบคุม pH ของสารละลายหรือเพื่อการตกตะกอน เป็นต้น (นิตยา, 2538) แต่ในกรณีที่เสริมลงในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องก็เพื่อรักษาค่า pH ในกระเพาะรูเมนที่อาจลดต่ำลงมากจนเกินไปจากการที่สัตว์ได้รับอาหารข้นในปริมาณมากหรือได้รับอาหารที่มีความเป็นกรดสูง ให้อยู่ในช่วง 6.2 – 6.8 ซึ่งเป็นช่วง pH ปกติในกระเพาะรูเมน (Linn, 1990 and West, no date) บัฟเฟอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต ($KHCO_3$) และเบนโทไนต์ (bentonite) เป็นต้น โดยบัฟเฟอร์ 2 ชนิดแรกสามารถพบได้ในน้ำลายของตัวสัตว์เองด้วย ดังนั้นนอกเหนือจากบัฟเฟอร์ที่ใช้เสริมลงไปในสูตรอาหารแล้ว แหล่งของบัฟเฟอร์อีกแหล่งหนึ่งก็คือน้ำลายของสัตว์นั่นเอง ซึ่งน้ำลายถือเป็นบัฟเฟอร์ธรรมชาติที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารประกอบพวกไบคาร์บอเนตและฟอสเฟต ปกติโคจะหลั่งน้ำลายในระหว่างที่มีการเคี้ยวอาหารและ/หรือเคี้ยวเอื้อง ปริมาณน้ำลายที่หลั่งออกมาของโครีดนมอยู่ในช่วง 108 ถึงมากกว่า 308 ลิตรต่อวัน โดยปริมาณ $NaHCO_3$ ที่พบในน้ำลายมีประมาณ 1,134 – 3,234 กรัมต่อวัน ไดโซเดียมฟอสเฟต (disodium phosphate, Na_2HPO_4) ประมาณ 390 – 1,115 กรัมต่อวัน อัตราการหลั่งน้ำลายไม่เพียงขึ้นกับชนิดของอาหารที่กินเข้าไปเท่านั้น แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการกินอาหาร และ การเคี้ยวเอื้องก็ยังมีผลต่ออัตราการหลั่งน้ำลายด้วย (Erdman, 1988) นอกจากนี้ในวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิดยังมี buffering capacity ที่แสดงถึงจำนวนโมลของไฮโดรเจนอิออน (H^+) ต่อลิตร ที่จะทำให้สารละลายมีค่า pH ลดลง 1 หน่วย (Segal, 1976 อ้างโดย Kohn and Dunlap, 1988) หรือเป็นค่าความสามารถของอาหารในการควบคุมความเป็นกรด – ด่าง โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดที่นำมาประกอบในสูตรอาหารนั้นจะมีค่า buffering capacity แตกต่างกันไป Jasaitis *et al.* (1987) พบว่า ค่า buffering capacity ของอาหารพวกที่ให้พลังงานจะมีค่าต่ำกว่าทั้งในอาหารโปรตีนต่ำเช่น หญ้า (15-35 %CP) หรืออาหารที่มีโปรตีนสูงเช่น ถั่ว (มากกว่า 35%CP) นอกจากนี้ยังพบว่าค่า buffering capacity มีความสัมพันธ์กับปริมาณ cations และปริมาณเถ้าทั้งหมดในสูตรอาหารด้วย และแม้ว่าสัตว์จะมีกลไกในเรื่องของระบบบัฟเฟอร์ในร่างกาย แต่ในบางกรณี เช่น โคที่ได้รับอาหารข้นสูงหรืออาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด บัฟเฟอร์ในน้ำลายและค่า buffering capacity ของอาหารอาจไม่เพียงพอต่อการต้านทานความเป็นกรดที่จะเกิดขึ้นจากการย่อยอาหารได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเสริมสารบัฟเฟอร์ลงไปในอาหารอีก ซึ่งปกติมักใช้ในอาหารโคที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูง โดยเฉพาะในช่วงแรกของการให้นม และในลูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

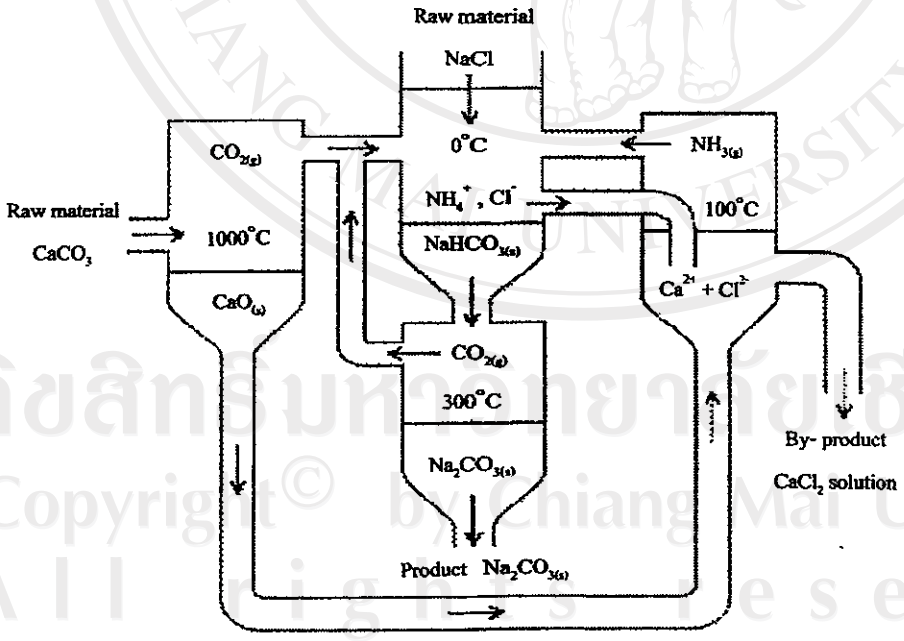
โคก่อนหย่านม โดยกรณีของลูกโคมีข้อมูลที่พบว่าการเสริม $NaHCO_3$ 0.7 ปอนด์หรือประมาณ 0.32 กิโลกรัมในนมน้ำเหลืองหมัก (fermented colostrum) 100 กิโลกรัม ก่อนให้ลูกโคกินสามารถช่วยลดการเกิดกรดในกระเพาะและทำให้ลูกโคกินอาหารได้ดีขึ้นหรือการเสริม 1.5-3% $NaHCO_3$ ใน calf starter ก็พบว่ามีส่วนช่วยให้ลูกโคกินอาหารได้มากขึ้น แต่การเสริมบัฟเฟอร์ในปริมาณมากเกินไปหรือ ในปริมาณที่เหมาะสมแต่ผสมเข้ากับอาหารได้ไม่ดีจะทำให้ปริมาณการกินได้ลดลงเช่นกัน

5.1.1 โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate, $NaHCO_3$) กับคุณสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์

โซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นบัฟเฟอร์ที่นิยมใช้มากในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีชื่อเรียกทั่วไปหลากหลายชื่อ เช่น baking soda, sodium acid carbonate, bicarbonate of soda หรือ soda mint เป็นต้น มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว pH ประมาณ 8.4 เป็นสารที่ได้มาจากกระบวนการผลิต Na_2CO_3 หรือ soda ash (ภาพ 2.9) ทั้ง $NaHCO_3$ และ Na_2CO_3 ถูกผลิตขึ้นจากแอมโมเนีย (NH_3) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และสารละลายเกลือเข้มข้น (NaCl) (Shakhashiri, 1995)
ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตนี้ แสดงดังสมการ (1) และ (2)

$$CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} + NH_{3(g)} + Na^+_{(aq)} \xrightarrow{0\text{-}15^\circ C} NaHCO_{3\,(s)} + NH_4^+{}_{(aq)(l)} \quad \text{.....(1)}$$

$$NaHCO_{3(s)} \xrightarrow{300^\circ C} Na_2CO_{3\,(s)} + CO_{2\,(g)} + H_2O_{(g)} \quad \text{.....(2)}$$



ภาพ 2.9 กระบวนการผลิตโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต

Figure 2.9 Industrial method for producing $NaHCO_3$ and Na_2CO_3. (Shakhashiri, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากกระบวนการที่เกิดขึ้น CO_2 ที่ใช้ (สมการ 1) จะได้มาจากการเผา $CaCO_3$ หรือ limestone ที่อุณหภูมิสูง

$$CaCO_{3\,(s)} \xrightarrow[1000^{\circ}C]{} CaO_{\,(s)} + CO_{2\,(g)} \quad \text{.....(3)}$$

CO_2 ที่เกิดขึ้นจะละลายอยู่ในน้ำ โดยอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3)

$$CO_{2(aq)} + H_2O_{(aq)} \longrightarrow H_2CO_{3(aq)} \quad \text{.....(4)}$$

กรดคาร์บอนิกบางส่วนจะแตกตัวได้ไฮโดรเจนคาร์บอเนตอิออน

$$H_2CO_{3(aq)} \longrightarrow H^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)} \quad \text{.....(5)}$$

ในส่วนของ NH_3 เมื่อถูกเติมลงใน $CO_{2(aq)}$ จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนอิออน

$$NH_{3(g)} + H^+_{(aq)} \longrightarrow NH_{4(aq)} \quad \text{.....(6)}$$

จากปฏิกิริยาในสมการ (4) และ (5) ผลผลิตที่ได้จะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NH_4HCO_3)

ส่วน NaCl เมื่อถูกเติมลงใน NH_4HCO_3 จะได้ตะกอนของ $NaHCO_3$ ซึ่ง $NaHCO_3$ ที่เกิดขึ้นจะละลายได้น้อยมากในสารผสมนี้ คือ 0.82 mol/l ที่ $0^{\circ}C$ เมื่อเทียบกับ NH_4HCO_3 ซึ่งละลายได้ 1.5 mol/l , NH_4Cl ละลายได้ 5.5 mol/l และ NaCl ซึ่งละลายได้ถึง 6.1 mol/l

$$Na^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)} \longrightarrow NaHCO_{3(s)} \quad \text{.....(7)}$$

โซเดียมไบคาร์บอเนตมักจะถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์เพื่อเป็นสารลดกรด (antacid) ในกระเพาะอาหาร หรือนำมาใช้ในการทำขนมอบซึ่งมักจะเรียกกันว่าผงฟู หรือ เบคกิ้งโซดา เพื่อทำให้ขนมขึ้นฟูเพราะเมื่อ $NaHCO_3$ ถูกความร้อนจะทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เนื้อขนมมีรูพรุนเล็กๆและพองตัวขึ้น ปฏิกิริยาแสดงดังสมการ (8)

$$NaHCO_{3(s)} \xrightarrow{heat} Na_2CO_{3\,(s)} + H_2O_{(g)} + CO_{2\,(g)} \quad \text{.....(8)}$$

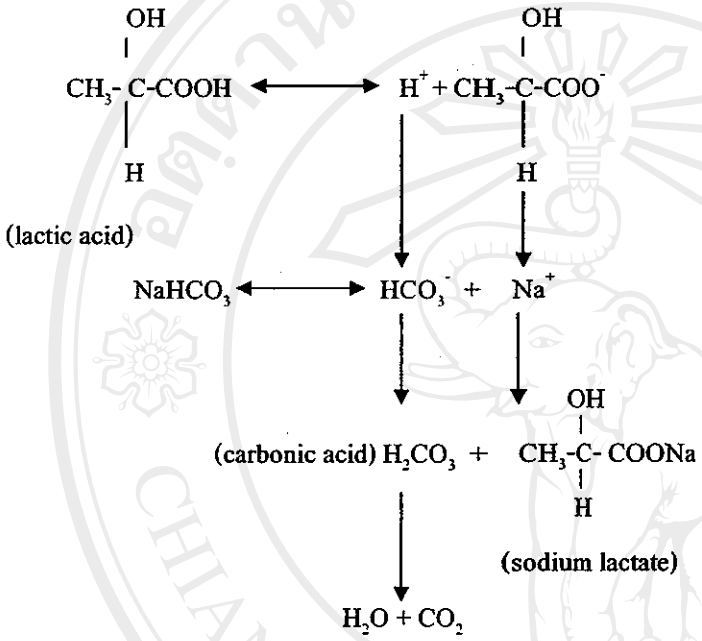
ดังที่กล่าวแล้วว่ากลไกการทำงานของบัฟเฟอร์จะเกิดจากการที่กรดในกระเพาะหรือ H^+ ไปรวมกับคู่เบสของมันซึ่งมีอยู่มากในบัฟเฟอร์ ในกรณีของ $NaHCO_3$ ที่สามารถรักษาสภาพการเปลี่ยนแปลงกรด – ด่าง ได้นั้น เป็นไปดังปฏิกิริยาที่แสดงในสมการ

$$NaHCO_3 + HCl \longrightarrow NaCl + H_2O + CO_2 \text{ หรือ}$$

$$NaHCO_3 + CH_3COOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะเห็นได้ว่ากรดที่ถูกหลั่งออกมาในกระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือกรดที่เกิดขึ้นในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) สามารถถูกเปลี่ยนเป็นโมเลกุลของกรดอ่อนที่ไม่ค่อยแตกตัวเป็นอิออน ดังนั้น $NaHCO_3$ จึงช่วยลดความรุนแรงของการเกิดกรดในกระเพาะได้ กลไกการรักษาสภาพ pH ในกระเพาะของโคในกรณีการเกิด lactic acidosis นั้น $NaHCO_3$ มีบทบาทดังแสดงในภาพ 2.10



ภาพ 2.10 กลไกการรักษาสภาพ pH จากกรดแลคติกโดย $NaHCO_3$

Figure 2.10 Buffering of lactic acid by $NaHCO_3$.

5.2 แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide, MgO) กับการปรับสภาพ pH ในกระเพาะรูเมน

แมกนีเซียมออกไซด์เป็น basic oxide ที่มีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือเป็นผลึกไม่มีสี เกิดจากการเผาแร่ธาตุแมกนีเซียมในสภาพที่มีออกซิเจน (O_2) ปกตินิยมใช้เป็นส่วนผสมของยาลดกรดในกระเพาะทั้งนี้เนื่องจากการมีคุณสมบัติที่สามารถ neutralize กรดที่เกิดขึ้นจากการย่อยอาหารได้โดยในสัตว์กระเพาะเดี่ยวแมกนีเซียมออกไซด์สามารถจับกับกรดไฮโดรคลอริก เกิดเป็นแมกนีเซียมคลอไรด์และน้ำดังแสดงในสมการ

$$MgO + 2HCl \longrightarrow MgCl_2 + H_2O$$

หรือในกรณีของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่เกิดภาวะ lactic acidosis แมกนีเซียมออกไซด์สามารถจับกับกรดแลคติกเกิดเป็นแมกนีเซียมแลคเตทกับน้ำดังจะเห็นได้จากสมการ

$$CH_3CHOHCOOH + MgO \longrightarrow (CH_3COHCOO)_2Mg + H_2O$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมยังใช้เป็นตัวเชื่อมประสานก้อนอิฐที่ใช้ในการสร้างเตาเผา เพราะ MgO มีคุณสมบัติที่ค่อนข้างจะคงตัวเมื่อถูกความร้อนเนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 2,800 ^{o}C (Rudolph, 2000)

แมกนีเซียมออกไซด์นอกจากจะถูกนำมาใช้ในแง่ของการรักษาสภาพ pH ในกระเพาะรูเมนแล้ว ยังมีบทบาทสำคัญในกรณีของโคที่เกิดภาวะ hypomagnesaemia หรือภาวะที่ระดับของแมกนีเซียม (Mg) ในเลือดลดต่ำลงกว่าปกติ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในแม่โครีดนมและลูกโค โดยเมื่อเกิดกับลูกโคจะเรียกว่า hypomagnesaemia tetany of calves (whole-milk tetany) ส่วนที่เกิดกับแม่โครีดนม เรียกว่า lactation tetany (hypomagnesaemia tetany, grass tetany หรือ grass staggers) (เทอดชัย, 2542) ภาวะการขาดแมกนีเซียมนี้มักเกิดเมื่อโคได้รับหญ้าสดที่มีอายุน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (K) และไนโตรเจน (N) ลงในแปลงหญ้าในปริมาณมาก จะทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ในดินลดน้อยลงไปอีก ปริมาณแมกนีเซียมในหญ้าสดก็จะน้อยลงตามไปด้วย นอกจากนี้ถ้าหญ้าสดอายุน้อยได้รับปุ๋ยไนโตรเจนสูงจะมีผลทำให้หญ้ามีโปรตีนสูงด้วย โปรตีนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในปริมาณมากนี้จะไปจับกับแมกนีเซียมทำให้แมกนีเซียมอยู่ในสภาพที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ แต่ MgO สามารถนำมาใช้ป้องกันการเกิดภาวะนี้ได้ โดยเสริมลงในอาหารในอัตรา 50-80 กรัม/ตัว/วัน

5.3 กรณีที่จำเป็นต้องเสริมบัฟเฟอร์และด่างในสูตรอาหาร

การเสริมบัฟเฟอร์และด่างมีความจำเป็นในกรณีต่อไปนี้

1. เมื่อสูตรอาหารมีปริมาณอาหารข้นในระดับสูง (มากกว่า 55 % DM) ทั้งนี้เพราะอาหารข้นประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อยได้ง่ายและรวดเร็วในปริมาณมาก กระบวนการย่อยของจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นเร็ว ก่อให้เกิดกรดปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น เกิดการสะสมของกรดในกระเพาะมาก เสี่ยงต่อการเกิดภาวะแอสิโดสิส (Linn, 1990)

2. สูตรอาหารมีเยื่อใยต่ำ (ADF น้อยกว่า 19%) จะทำให้อัตราการเคี้ยวเอื้อง ปริมาณการกินได้และเปอร์เซ็นต์ไขมันนมต่ำ Erdman (1988) พบว่าถ้าปริมาณ ADF ในอาหารลดลง 1 หน่วยเปอร์เซ็นต์ จะทำให้ pH ในรูเมนลดลง 0.0564 หน่วย ซึ่งการที่ pH ลดต่ำลงมากเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณการกินได้ลดลง สมดุลกรด-ด่างและกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายผิดปกติไป

3. อาหารหยาบที่ใช้มีขนาดชิ้นละเอียดเกินไป ไม่สามารถกระตุ้นการบีบตัวของกระเพาะเพื่อให้เกิดการเคี้ยวเอื้องได้ ดังนั้นโคจะใช้เวลาในการเคี้ยวลดลง การย่อยได้ของเยื่อใยต่ำเพราะจุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใยมีปริมาณน้อยลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. โคที่อยู่ในช่วงระยะแรกของการให้นมหรือโคที่ให้ผลผลิตสูงจำเป็นต้องมีการเสริมบัฟเฟอร์ เพราะเป็นช่วงที่โคเปลี่ยนอาหารจากสูตรที่มีอาหารข้นต่ำ (อาหารโคพักรีด) มาเป็นสูตรอาหารที่มีอาหารข้นสูง (อาหารโครีดนม) ซึ่งบัฟเฟอร์จะช่วยลดความรุนแรงจากการที่โคต้องปรับตัวอย่างกระทันหันนี้ได้

5. สูตรอาหารที่มีพืชหมักในปริมาณสูง (มากกว่า 50% DM) ทั้งนี้เป็นเพราะพืชหมักมีความชื้นสูงและมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์เป็นกรด (pH ประมาณ 3.5 - 4.2) ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณการกินได้ลดลงด้วย

6. โคเกิดความเครียดเนื่องจากสภาพอากาศร้อน (heat stress) ซึ่งจะทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งลดลงและมีผลต่อสมดุลอิเล็กโตรไลท์ (electrolite) ในร่างกายของสัตว์ บัฟเฟอร์จะมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้ให้สูงขึ้น

7. โคให้น้ำนมที่มีไขมันนมต่ำ พบว่าเมื่อเสริมบัฟเฟอร์จะสามารถลดปัญหาการเกิดไขมันนมต่ำได้ (Thomas *et al.*, 1984)

8. โคได้รับอาหารข้นครั้งละมากๆ (มากกว่า 3 กิโลกรัมต่อมื้อ) และน้อยครั้ง (เช่น 2 ครั้งต่อวัน) หรือการที่โคได้รับอาหารข้นมากกว่าวันละ 8-10 กิโลกรัม และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ให้อาหารข้นแยกกับอาหารหยาบ

5.4 การใช้ด่างหรือเบส (Alkalizing agent or base) ร่วมกับบัฟเฟอร์เพื่อปรับสภาพในกระเพาะรูเมนและเพิ่มผลผลิต

ด่างหรือเบส คือ สารประกอบซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) เมื่อเติมลงไปในสูตรอาหารจะช่วยเพิ่มค่า pH ในกระเพาะรูเมนได้โดยตรง โดยค่า pH จะสูงขึ้นตามปริมาณด่างที่เติมลงไป ด่างที่ใช้กันมากได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) และ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) เป็นต้น (Linn, 1990)

การทำงานของบัฟเฟอร์ที่สามารถช่วยให้ค่า pH ในกระเพาะไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนักทั้งๆ ที่เกิดกรดในกระเพาะมากเป็นเพราะโปรตอน (H^+) จากกรดไปรวมกับคู่เบสของมันซึ่งมีมากในบัฟเฟอร์ ได้โมเลกุลของกรดอ่อนที่ไม่ค่อยแตกตัวเป็นอิออน แต่ในกรณีของด่างเป็นการเพิ่มค่า pH โดยตรงโดยการแตกตัวของด่างได้ OH^-ไปจับกับ H^+ จากการแตกตัวของกรดทำให้เกิดสารที่เป็นกลาง

บัฟเฟอร์และด่างที่นิยมใช้ บริเวณที่ออกฤทธิ์ และปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในอาหารโครีดนม แสดงในตาราง 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 บัฟเฟอร์ที่นิยมใช้ บริเวณที่ออกฤทธิ์ และปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในอาหารโครีดนม

Table 2.3 The more commonly used buffers, site of action, and feeding recommendations for dairy cows.

Buffer	Site of action	Feeding recommendations	
		% of grain mix	Lb./cow daily
Sodium bicarbonate	Rumen	1.0-1.5	0.25-0.5[a]
Magnesium oxide	Rumen	0.4-0.8	0.1-0.2
Sodium bicarbonate[b] + Magnesium oxide	Rumen	1.0-1.5	0.3-0.6
Sodium bentonite	Rumen	5	1.5-2.2
Limestone (Calcium carbonate)	Intestine	1.0-1.5[c]	0.25-0.4

[a] Higher amounts up to 0.8 lb/cow/day may be fed without a drop in feed intake if incorporated into a complete, mixed ration.

[b] Mixture, 2 or 3 parts of sodium bicarbonate to 1 part magnesium oxide.

[c] Should be about 2 times the phosphorus level in the diet.

ที่มา : Linn (1990)

จะเห็นว่าสิ่งที่ควรคำนึงถึงมากที่สุดข้อหนึ่งในการจัดการด้านอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง คือ ค่า pH ในรูเมน ทั้งนี้เพราะการมีสภาพความเป็นกรด-ด่างในรูเมนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แต่ละชนิด โดยมีความแปรปรวนน้อยที่สุดจะส่งผลให้โคมีการย่อยได้ของอาหารที่ดี โดยเฉพาะในส่วนของอาหารหยาบ ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องไปยังปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม โดยเฉพาะอย่างยิ่งไขมันในนม นอกจากนี้ยังทำให้ภาวะความเป็นกรดสูงในกระเพาะหรือ แอสิโดสิส ลดลงตามไปด้วย (Gibson, 1987)

การรักษาสภาพ pH ในกระเพาะให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และช่วยปรับปรุงสมรรถภาพในการให้ผลผลิตน้ำนมของโค สามารถทำได้โดยการเสริมสารบัฟเฟอร์และด่างในอาหาร ดังรายงานผลการวิจัยต่อไปนี้

Miller *et al.* (1965) ศึกษาผลการเสริมบัฟเฟอร์ในอาหารโครีดนมที่มีสัดส่วนของอาหารข้นสูงแต่มีอาหารหยาบต่ำ ทดลองกับโคจำนวน 8 ตัว แบ่งการทดลองเป็น 4 ทรีทเมนต์ วางแผนการทดลองแบบ 4 X 4 Latin squares ทรีทเมนต์ประกอบด้วย 1) กลุ่มควบคุมไม่เสริมบัฟเฟอร์ 2) เสริม $KHCO_3$ 1 lb/d 3) เสริม $NaHCO_3$ 0.84 lb/d และ 4) เสริม $MgCO_3$ 0.42 lb/d จากการทดลองพบว่าบัฟเฟอร์ทุกชนิดช่วยป้องกันการลดต่ำของไขมันนมเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (3.62 vs 2.92 %)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แม้ว่าจะมีปริมาณกรดอะซิติก (molar %) และกรดโพรพิโอนิกในรูเมนต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (49.2 vs 54.0 และ 31.3 vs 37.4) ก็ตาม

Emery *et al.* (1965) พบว่าการเสริมทั้ง $NaHCO_3$ 0.8 lb/d และ MgO 0.4 lb/d ช่วยป้องกันการลดต่ำลงของไขมันนมได้ โดย $NaHCO_3$ จะช่วยลดปริมาณการเกิดกรดโพรพิโอนิกในกระเพาะรูเมน และ MgO จะเพิ่มการดึงกรดอะซิติกในพลาสมา (plasma acetate) และไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) เข้าสู่ต่อมน้ำนม นอกจากนี้ทั้ง $NaHCO_3$และ MgO ยังช่วยทำให้ค่า pH ในกระเพาะรูเมนเพิ่มสูงขึ้นด้วย

Davis *et al.* (1964) ศึกษาผลของการให้อาหารข้นในปริมาณสูง เสริมด้วยไบคาร์บอเนตต่อปริมาณไขมันในน้ำนมและสัดส่วนของ VFA ในกระเพาะรูเมน โดยทำการทดลองกับโคจำนวน 12 ตัว แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกให้อัลฟัลฟ่าแห้งกินเต็มที่และอาหารข้นปริมาณ 1 lb/น้ำนม 2.5 lb กลุ่มที่ 2 ให้อัลฟัลฟ่าแห้ง 5 lb/d อาหารข้นให้กินเต็มที่ โดยทั้ง 2 กลุ่มจะแบ่งออกเป็นอีก 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มที่เสริมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$ + $KHCO_3$) 1.5% ในอาหารข้นและกลุ่มที่ไม่เสริม และดูผลของเปอร์เซ็นต์ไขมันนมเมื่อเริ่มให้ทรีทเมนต์และเมื่อสิ้นสุดการทดลองปรากฏผลดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมของโคแต่ละกลุ่ม

Table 2.4 Milk fat percent of each treatment.

Group	Subgroup	Start	End
Alfalfa hay ad lib and grain- 1lb/25lb milk	Control	3.51	1.74
	1.5% ($NaHCO_3$ + $KHCO_3$)	3.20	3.22
Alfalfa hay 5 lb/day and grain- ad lib	Control	1.70	1.36
	1.5% ($NaHCO_3$ + $KHCO_3$)	1.43	2.33

ที่มา : ดัดแปลงจาก Davis *et al.* (1964)

จากตารางจะเห็นได้ว่าการเสริมไบคาร์บอเนตช่วยป้องกันการลดต่ำของไขมันนมได้ โดยจะเห็นได้จากเปอร์เซ็นต์ไขมันนมของโคที่ได้รับการเสริมไบคาร์บอเนต มีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าเมื่อเริ่มการทดลอง (3.22 vs 3.20 และ 2.33 vs 1.43%) ในขณะที่กลุ่มควบคุมให้ไขมันในน้ำนมต่ำกว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อีกทั้งยังพบว่าการเสริมไบคาร์บอเนตในอาหารทำให้ปริมาณกรดโพรพิโอนิกในกระเพาะรูเมนลดลงด้วย

Rogers *et al.* (1985) ศึกษาผลของการเสริม $NaHCO_3$และ limestone ในอาหารแก่โคที่ให้นมในช่วง 16 สัปดาห์แรก โดยใช้อาหารผสมครบส่วนที่ประกอบด้วยอาหารข้นและข้าวโพดหมักในอัตราส่วน 60:40 (DM basis) แบ่งการทดลองเป็น 4 ทรีทเมนต์ ประกอบด้วย 1) basal diet

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) basal diet + 1.2% $NaHCO_3$ 3) basal diet + 1.4% limestone และ 4) basal diet + 1.2% $NaHCO_3$+ 1.4% limestone พบว่าการเสริม $NaHCO_3$ทำให้โคให้ผลผลิตน้ำนมและปริมาณน้ำนม (4% FCM) เพิ่มสูงขึ้น (ตาราง 2.5)

ตาราง 2.5 ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งและปริมาณผลผลิตน้ำนมในแต่ละทรีทเมนต์

Table 2.5 Dry matter intake and milk production of each treatment.

Treatment	DMI (kg/d)	Milk yield (kg/d)	4% FCM (kg/d)
Basal diet	20.2	31.1	27.3
+ 1.2% $NaHCO_3$	19.8	32.0	28.7
+ 1.4% limestone	18.9	31.4	27.9
+ 1.2% $NaHCO_3$ +1.4% limestone	18.4	29.7	27.2

ที่มา : ดัดแปลงจาก Rogers *et al.* (1985)

West *et al.* (1987) ศึกษาผลการเสริม K_2CO_3 และ $NaHCO_3$ โดยใช้โคทดลอง 20 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่ม 1 ไม่เสริมบัฟเฟอร์ในอาหาร กลุ่ม 2 เสริม 1.5% $NaHCO_3$ กลุ่ม 3 เสริม 1.25% K_2CO_3 และกลุ่ม 4 เสริม 1.85% K_2CO_3 ในการเสริมบัฟเฟอร์แต่ละชนิดจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งในสูตรอาหารทั้งหมด พบว่าการเสริมบัฟเฟอร์ทำให้โคกินวัตถุแห้งได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (22.3, 21.5 และ 22.0 vs 20.7 kg/d) นอกจากนี้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง, ADF และ NDF ก็มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมเช่นกัน

Belibasakis (1991) ทดลองเสริมและไม่เสริม Na_2CO_3 1.2% ของอาหารข้น ในสูตรอาหารที่ประกอบด้วยกากเบียร์สด 7 กิโลกรัม และต้นอัลฟัลฟ่าแห้ง 5.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน พบว่ากลุ่มที่เสริม Na_2CO_3 ทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริม (3.98 vs 3.53%) และปริมาณน้ำนมที่ปรับไขมันแล้ว (4% FCM) ก็มีค่าสูงกว่าเช่นกัน (30.9 vs 28.2 kg/d)

Erdman *et al.* (1980) ได้ศึกษาผลการเสริม $NaHCO_3$ และ MgO ในอาหารโคที่อยู่ในช่วง 8 สัปดาห์หลังคลอดจำนวน 20 ตัว โดยให้อาหารข้น 2.7 กิโลกรัม/วันและให้ alfalfa เต็มที่ก่อนคลอด แล้วเปลี่ยนให้อาหารผสมครบส่วน (ข้าวโพดหมัก 40% และอาหารข้น 60%) ทันทีหลังคลอด โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1) กลุ่มควบคุม ไม่เสริมบัฟเฟอร์ 2) เสริม 1.5% $NaHCO_3$ 3) เสริม 0.8% MgO และ 4) เสริม 0.8% MgO รวมกับ 1.5% $NaHCO_3$ จากการทดลองพบว่าโคที่ได้รับ HCO_3^- จะมีปริมาณการกินได้เพิ่มสูงที่สุดหลังคลอดก่อนกลุ่มควบคุม 2-3 สัปดาห์ (เฉลี่ยมากกว่า 2.1 กิโลกรัม/วัน) กลุ่ม 4) ให้นมมากกว่ากลุ่มควบคุม 3.8 กิโลกรัม/วัน เมื่อคิดเป็น 4% FCM แล้วพบว่ากลุ่ม 2) ให้นมมากกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลุ่มควบคุมถึง 2.6 กิโลกรัม/วัน และกลุ่ม 4) ให้นมมากกว่ากลุ่มควบคุมถึง 5.6 กิโลกรัม/วัน นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริม 1.0% $NaHCO_3$ และ 0.8% MgO ในโคที่อยู่ในช่วงแรกของการให้นม ทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและ ADF เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและเมื่อเสริม $NaHCO_3$ หรือ MgO ในสูตรอาหารที่มีเยื่อใยต่ำสามารถทำให้ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น 0.5-0.9% อีกทั้งการเสริม $NaHCO_3$ และ MgO ยังสามารถช่วยป้องกันการลดต่ำลงของ pH ในกระเพาะรูเมนได้ด้วย (Erdman *et al.*, 1982)

Peirce *et al.* (1983) ใช้โคเนื้อเจาะกระเพาะรูเมน 8 ตัว ให้สัตว์ทดลองปรับตัวโดยให้กินถั่วอัลฟัลฟ่า (alfalfa) ผสมหญ้าแห้งเป็นเวลา 30 วันแล้วเปลี่ยนเป็น TMR (ข้าวโพดหมัก + ต้นข้าวโพดสดรวมฝัก + ข้าวโพดบด) ทันที โดยอาหารที่ให้มี 3 สูตร คือ 1) กลุ่มควบคุมไม่เสริมบัฟเฟอร์ 2) เสริม 0.5% MgO 3) เสริม 0.5% MgO และ 1.0% $NaHCO_3$ พบว่า ปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของวัตถุแห้งในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมบัฟเฟอร์ดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม

Donker and Marx (1980) พบว่าการเสริม 1.5% $NaHCO_3$ ในอาหารข้น ทำให้โคกินอาหารหยาบได้มากขึ้น ได้รับเยื่อใยสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม และให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่า แต่ปริมาณไขมันนมไม่แตกต่างกัน

Erdman *et al.* (1982) พบว่าการเสริม 1.5% $NaHCO_3$ ในอาหารข้นโดยให้ครั้งเดียวจะทำให้โคกินอาหารข้นลดลง 0.7 กิโลกรัม/วันในช่วงสัปดาห์แรก และลดลง 0.9 กิโลกรัม/วันในสัปดาห์ที่ 2 ขณะที่การค่อย ๆ เพิ่มปริมาณ $NaHCO_3$ จนถึง 1.5% (โดยใช้เวลามากกว่า 3 สัปดาห์) จะช่วยป้องกันไม่ให้ปริมาณการกินได้ของอาหารข้นลดต่ำลง และการเสริม $NaHCO_3$ ทีละน้อยจะช่วยเพิ่มไขมันนมได้ถึง 0.5%

Schaefer *et al.* (1982) ศึกษาความสามารถในการลดความเป็นกรดภายในกระเพาะรูเมนโดยใช้ 1) MgO ชนิดที่ใช้สำหรับห้องปฏิบัติการ (reagent grade) 2 ชนิด 2) MgO ชนิดที่ใช้เป็นอาหาร (feed grade) 2 ชนิด 3) $MgCO_3$ reagent grade 4) $NaHCO_3$ reagent grade และ 5) $CaCO_3$ reagent grade แล้วนำ ของเหลวจากกระเพาะรูเมนมาวัด pH พบว่า สารทุกชนิดลดความเป็นกรดในของเหลวจากกระเพาะรูเมนเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เสริม

Stokes and Bull (1986) ได้เสริม $NaHCO_3$ (0.4 และ 0.7% ของวัตถุแห้งในสูตรอาหาร) พบว่าช่วยเพิ่ม pH และสัดส่วนของ acetate ในกระเพาะรูเมน อีกทั้งลดการเกิด NH_3 ลงได้

Lough *et al.* (1990) พบว่าการเสริม MgO ทำให้โคกินอาหารและให้นมได้มากกว่าการเสริม Mg chelate และเมื่อนำอาหารข้นที่เสริมด้วย MgO มาบ่มกับของเหลวจากกระเพาะรูเมน พบว่ามี Mg ที่สามารถละลายได้มากกว่าเมื่อเสริม Mg chelate 2-3 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Erdman *et al.* (1988) ได้รวบรวมผลการศึกษาเกี่ยวกับการเสริมบัฟเฟอร์ในสูตรอาหารโค และประมวลผลว่า การใช้ $NaHCO_3$ เสริมลงในอาหารที่มีข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบหลัก ทำให้โคกินอาหารเพิ่มขึ้นวันละ 0.5 กิโลกรัม และ ปริมาณน้ำนม (4% FCM) เพิ่มขึ้นวันละ 1.1 กิโลกรัม กรณีที่ใช้ $NaHCO_3$ และ MgO ร่วมกันควรใช้ในอัตราส่วน 2 :1

Thomas *et al.* (1984) พบว่าการเสริม MgO 0.5% หรือ $NaHCO_3$ 1% หรือ $Mg(OH)_2$ 0.7% ของวัตถุแห้งในสูตรอาหาร จะทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันนม และปริมาณไขมันนมต่อวันเพิ่มขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เสริม และพบว่าการเสริม MgO ทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันนมดีกว่ากลุ่มที่เสริม $NaHCO_3$

Horn *et al.* (1979) ศึกษาผลของการเสริมบัฟเฟอร์ต่อปริมาณกรดแลคติกที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนและ HCO^-_3 ในเลือด โดยทดลองในโคเจาะกระเพาะรูเมน ซึ่งได้รับอาหารแตกต่างกัน 4 ทรีทเมนต์ คือ 1) กลุ่มควบคุม 2) เสริม 2% โซเดียมเบนโทไนต์ 3) เสริม 2% โซเดียมเบนโทไนต์ และ 1% โดโลไมท์ และ 4) เสริม 2% โซเดียมเบนโทไนต์และ 1% $KHCO_3$ พบว่า 2 ชั่วโมงภายหลังจากที่โคกินอาหาร ปริมาณกรดแลคติกในกระเพาะรูเมนของกลุ่มควบคุมเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (58.7 vs 50.1, 28.7 และ 43.6 mmoles/l) และในชั่วโมงที่ 4 หลังอาหารพบว่าค่า HCO^-_3 ในเลือดของโคกลุ่มควบคุมมีปริมาณต่ำที่สุด (0.2 vs 2.6, 3.4 และ 1.5 meq/l)

Kalscheur *et al.* (1997) ทำการศึกษาผลของระดับอาหารข้นและการเสริมบัฟเฟอร์ในโครีดนมที่อยู่ในช่วงกลางของการให้นม แบ่งโคทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม คือกลุ่มที่ได้รับอาหารข้น : อาหารหยาบ เป็น 40:60 และ 75:25 โดยที่เสริมและไม่เสริมบัฟเฟอร์ บัฟเฟอร์ที่ใช้ประกอบด้วย 1.5% $NaHCO_3$ และ 0.5% MgO จากการทดลองพบว่า การเสริมบัฟเฟอร์ช่วยเพิ่ม pH ในกระเพาะรูเมนขึ้น 0.19 และ 0.02 หน่วยในโคที่ได้รับอาหารหยาบ 25% และ 60% ตามลำดับ และปริมาณกรดไขมันประเภท trans-$C_{18:1}$ ในน้ำนมมีค่าสูงในโคที่ได้รับอาหารสูตรที่ประกอบด้วย อาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 75:25 ที่ไม่ได้เสริมบัฟเฟอร์ เมื่อเทียบกับโคที่ได้รับอาหารสูตรอื่น (5.8 vs 3.0%) การมีกรดไขมัน trans-$C_{18:1}$ ในน้ำนมสูงนั้นแสดงว่ากระบวนการ biohydrogenation ของ polyunsaturated fatty acids เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันนมที่ลดลง ด้วย เช่นเดียวกับการทดลองของ Khorasani and Kennelly (2001) ที่ศึกษาถึงผลของอาหารที่มีอัตราส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบเท่ากับ 50:50 และ 75:25 ทั้งที่เสริม และไม่เสริม 1.2% $NaHCO_3$ ในโคที่อยู่ในช่วงท้ายของการให้นม พบว่าโคในกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นสูง (75%) และไม่ได้เสริมบัฟเฟอร์จะให้น้ำนมที่มีไขมันนมต่ำกว่ากลุ่มอื่น (2.91 vs 4.12, 4.21 และ 4.09%)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. บทบาทของพืชแห้ง (Hay) ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของโคนม

พืชแห้งนอกจากจะเป็นแหล่งอาหารหยาบแล้ว ยังช่วยกระตุ้นการเคี้ยวเอื้องให้นานขึ้น ทำให้การเคลื่อนตัวของกระเพาะหมักเป็นไปอย่างมีจังหวะปกติ และทำให้โคหลั่งน้ำลายออกมาเพียงพอต่อการควบคุมระดับกรด – ด่างในกระเพาะหมัก ทำให้กระบวนการหมักให้กรดอะซิติกมากขึ้น มีการประมาณว่าโคกินพืชแห้ง 0.45 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) จะต้องใช้เวลาในการเคี้ยวเอื้องอย่างน้อย 15 นาที และยังพบว่าในกรณีที่สูตรอาหารไม่มีพืชแห้งมีแต่พืชหมักกับอาหารข้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลงได้ถึง 1% (วิโรจน์, 2546) Ishler (1996) รายงานว่าปริมาณน้ำลายที่โคหลั่งออกมาขึ้นกับจำนวนการเคี้ยว ถ้าโคเคี้ยวอาหารบ่อยครั้งน้ำลายก็จะถูกหลั่งมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารยังเกี่ยวข้องกับการจัดการให้อาหารและธรรมชาติของอาหารชนิดนั้นๆ เช่น ขนาดชิ้นอาหาร จำนวนครั้งในการให้อาหารต่อวันและชนิดของอาหาร พืชแห้งและอาหารหยาบที่มีส่วนประกอบของผนังเซลล์สูงหรือมี NDF ในปริมาณมากสามารถกระตุ้นการเคี้ยวเอื้องและการหลั่งน้ำลายได้ดีที่สุด การหลั่งน้ำลายจะลดลงในกรณีที่โคได้รับอาหารข้นในปริมาณสูงและอาหารหยาบมีขนาดชิ้นละเอียดเกินไป ความชื้นในอาหารก็มีผลต่อปริมาณการหลั่งน้ำลายด้วยเช่นกัน เช่น อาหารที่เป็นพวกพืชสดหรือพืชหมักสามารถลดการหลั่งน้ำลายถึง 50%ต่อปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ 1 ปอนด์ (ตาราง 2.6)

ตาราง 2.6 ผลของชนิดอาหารต่ออัตราการกินและปริมาณน้ำลาย

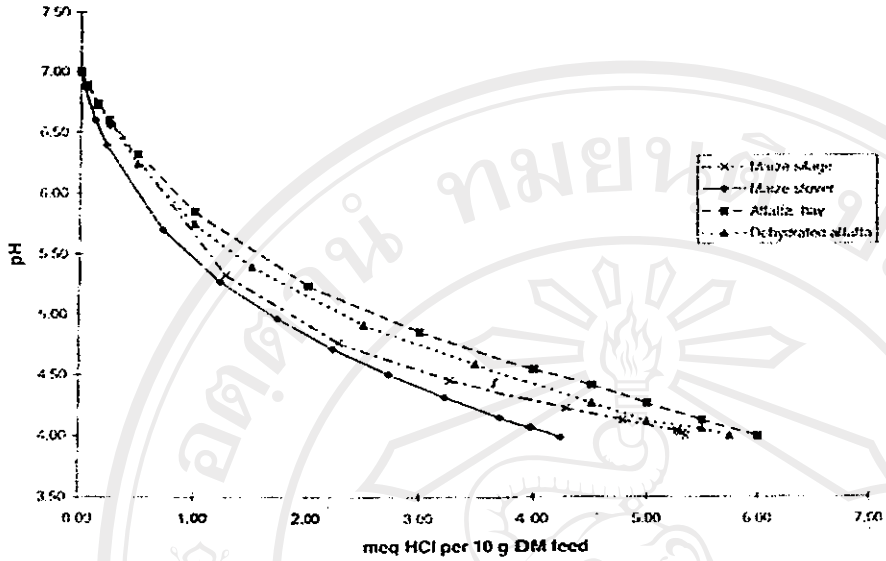
Table 2.6 Effect of ration on eating rate and on saliva production.

Feed	Eating rate (pounds of feed/min)	Saliva production (teaspoons/pound of feed)
Pelleted	0.79	1.0
Fresh grass	0.62	1.5
Silage	0.55	2.0
Dried grass	0.18	5.0
Hay	0.15	6.0

ที่มา : Ishler (1996)

นอกจากนี้พืชแห้งยังมีค่า buffering capacity (ค่าความสามารถในการรักษาหรือควบคุมความเป็นกรด-ด่าง) ที่สูงกว่าพืชหมัก โดยมีค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า (ภาพ 2.11) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้พืชแห้งเลี้ยงโคจึงน่าจะสามารถต้านทานการเกิดกรดในกระเพาะได้ดีกว่าการเลี้ยงด้วยพืชหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.11 การเปลี่ยนแปลงค่า pH เมื่อเติมกรดไฮโดรคลอริกลงไปในอาหารหยาบแต่ละชนิด

Figure 2.11 Changes in pH with the addition of HCl (roughages). (Giger-Reverdin *et al.*, 2002)

คุณภาพของพืชแห้งก็เป็นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงเพราะพืชแห้งมีความฟ่าม ประกอบกับความจุของกระเพาะที่ค่อนข้างจำกัด ถ้าพืชแห้งมีคุณภาพต่ำโคอาจได้รับโภชนะไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ในกรณีของการใช้พืชหมักเป็นอาหารหยาบมักจะมีข้อแนะนำให้ใช้พืชแห้งร่วมด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่โคให้น้ำนมสูงซึ่งจำเป็นต้องได้รับอาหารข้นสูง ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความไม่เหมาะสมของสภาพภายในกระเพาะรูเมนต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และปรับปรุงสมรรถภาพในการผลิตให้ดีขึ้น สันติ (2546) ศึกษาผลของการใช้อาหารผสมครบส่วนที่มีหญ้าหมักเป็นอาหารหยาบหลัก (เสริมหญ้าแห้ง 1 กิโลกรัม) เลี้ยงโครีดนมจำนวน 6 ตัวที่รีดนมมาแล้ว 140 วัน แบ่งเป็น 3 กลุ่มๆละ 6 ซ้ำโดยใช้แผนการทดลองแบบ Latin square กลุ่ม 1) ไม่เสริม $NaHCO_3$ กลุ่ม 2) เสริม $NaHCO_3$ 200 กรัม และ กลุ่ม 3) เสริม $NaHCO_3$ 200 กรัมและหญ้าแห้งอีก 2 กิโลกรัม พบว่าการเสริมหญ้าแห้งมีแนวโน้มที่ช่วยเพิ่มปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม (4% FCM = 18.37 vs 17.79และ18.25 กิโลกรัมต่อวัน) นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุนค่าอาหารลงได้อีกด้วย ปริมาณเยื่อใยในพืชแห้งก็เป็นสิ่งหนึ่งที่ควรนำมาพิจารณา โดยปริมาณเยื่อใยอาจขึ้นกับ ชนิด อายุ สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตของพืชที่นำมาทำแห้ง การหั่นพืชให้มีขนาดชิ้นละเอียดเกินไปก็มีผลทำให้ความสามารถของเยื่อใยในอาหาร ในการกระตุ้นให้เกิดการเคี้ยวเอื้อง และการหลั่งน้ำลาย (effective fiber) ลดลงได้ ดังตาราง 2.7 (Cassida and Stokes, 1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.7 ผลของขนาดชิ้นของพืชอาหารสัตว์ต่อเวลาที่ใช้ในการเคี้ยว

Table 2.7 The effect of particle size of forages on chewing activity of cows.

Feed and physical form	NDF (% of DM)	Total chewing activity (min/kg of DM)	(min/kg of NDF)	Reference
Alfalfa ha y				
Long	54	72	134	Mertens (1995)
Chopped (3.8 cm)	54	59	109	(อ้างโดย Mertens, 1997)
Bermuda grass hay				
Long	72	108	149	Mertens (1995)
Chopped (3.8 cm)	72	85	118	(อ้างโดย Mertens, 1997)
Oat straw				
Long	84	163	194	Campling and Freer(1966)
Ground	75	84	113	(อ้างโดย Mertens, 1997)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Mertens (1997)

Beauchemin (1991) พบว่าการใช้อัลฟัลฟ่าแห้งที่มีระดับ NDF เพิ่มขึ้น (31, 34 และ 37%) จะทำให้โคใช้เวลาในการเคี้ยวเพิ่มขึ้น (767, 796 และ 853 นาที/วัน) ผลผลิตน้ำนม (4% FCM) เท่ากับ 21.35, 22.5 และ 22.3 กิโลกรัม/วัน และให้นมที่มีไขมันนม 2.68, 3.06 และ 3.31% ตามลำดับ ทั้งนี้เหตุที่ไม่เห็นผลแตกต่างกันชัดเจนในส่วนของผลผลิตน้ำนมนั้น อาจเนื่องมาจากปริมาณ NDF ในอาหารที่ใช้มีค่ามากกว่าที่ NRC (1988) แนะนำไว้

Shaver *et al.* (1986) ศึกษาผลการให้อัลฟัลฟ่าแห้ง 3 รูปแบบ คือ แบบไม่หั่น, แบบหั่น และแบบอัดเม็ดแก่โครีดนม 6 ตัว โดยมีอัตราส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นเท่ากับ 60:40 จากการทดลองพบว่าโคกินอาหารทั้ง 3 รูปแบบ เฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 3.75, 2.93 และ 1.95 ของน้ำหนักตัว ตามลำดับ และมีแนวโน้มว่าโคที่ได้รับอัลฟัลฟ่าแห้งแบบอัดเม็ดจะให้นมต่ำกว่ากลุ่มอื่น (4% FCM = 24.8 เทียบกับ 25.7 และ 26.1 กิโลกรัมต่อวัน) เวลาที่โคใช้ในการเคี้ยวและเคี้ยวเอื้องของโคที่ได้รับอัลฟัลฟ่าแห้งแบบไม่หั่น และแบบหั่นไม่ต่างกัน แต่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอัลฟัลฟ่าแห้งในรูปแบบอัดเม็ด (196, 174 เทียบกับ 128 นาที/วัน และ 383, 398 เทียบกับ 61 นาที/วัน)

Rogers *et al.* (1985) ศึกษาโดยใช้โครีดนม 4 ตัว กินอาหารที่มีสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นเท่ากับ 54:46 แบ่งเป็น 4 ทรีทเมนต์ ได้แก่ 1) ต้นอัลฟัลฟ่าแห้งที่ไม่ได้หั่น 2) ต้นอัลฟัลฟ่าแห้งที่ไม่ได้หั่น + 1.4% $NaHCO_3$ 3) อัลฟัลฟ่าแห้งหั่น (ขนาด 1.3 ซ.ม.) และ 4) อัลฟัลฟ่าแห้งหั่น +

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.4% $NaHCO_3$ พบว่าปริมาณอาหารที่โคกิน, ปริมาณและองค์ประกอบน้ำนมในแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน แต่การเสริม $NaHCO_3$ มีแนวโน้มที่ช่วยเพิ่มค่าการย่อยได้ขึ้นเล็กน้อย โดยที่ไม่มีผลในด้านสมรรถภาพการผลิต แสดงว่าการเสริม $NaHCO_3$ ในอาหารที่มีพืชแห้งเป็นหลักอาจไม่จำเป็น

Beauchemin and Buchanan-Smith (1989) พบว่าการเสริมอัลฟัลฟ่าแห้งลงในอัลฟัลฟ่าหมักเพื่อเพิ่มระดับ NDF ในสูตรอาหารให้เป็น 26%, 30% และ 34% ทำให้ปริมาณน้ำนมลดลง (20.8, 19.9 และ 19.1 กิโลกรัม/วัน) แต่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ไขมันนม (3.55, 3.72 และ 3.81%) อย่างไรก็ดี การเพิ่มปริมาณ NDF ในสูตรอาหารทำให้เวลาในการเคี้ยวอาหารและเคี้ยวเอื้องเพิ่มขึ้น (214, 237, 260 และ 344, 413, 414 นาที/วัน)

Grant *et al.* (1990) ทดลองใช้อัลฟัลฟ่าแห้งที่หั่นละเอียด (1.0 มม.) หั่นให้มีขนาดปานกลาง (1.5 มม.) และ หั่นหยาบ (2.1 มม.) เลี้ยงโค 9 ตัว พบว่าอัลฟัลฟ่าแห้งที่หั่นละเอียดทำให้โคใช้เวลาในการเคี้ยวเอื้องน้อยกว่ากลุ่มที่หั่นให้มีขนาดปานกลาง และหั่นหยาบตามลำดับ (381.3, 483.8 และ 496.3 นาที/วัน) เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดชิ้นอาหาร (3.0, 3.6 และ 3.8%)

7. อาหารผสมครบส่วน (Total Mixed Ration, TMR) กับการลดปัญหาแอสิโดสิส

อาหารผสมครบส่วน เป็นการนำเอาวัตถุดิบอาหารสัตว์ 2 ชนิด คือ อาหารหยาบและอาหารข้นมาผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม และมีโภชนะต่างๆครบตามความต้องการของโคซึ่งจะอยู่ในรูปผงหรืออัดเม็ดหรือในรูปอาหารหมักก็ได้ (ฉลองและคณะ, 2540) การให้อาหารแม่โครีดนมโดยให้อาหารข้นแยกกับอาหารหยาบมักจะให้อาหารข้น 2-3 ครั้ง/วันในช่วงก่อนหรือหลังหรือขณะกำลังรีดนม โดยให้ในอัตราส่วนอาหารข้น 1 กิโลกรัมต่อปริมาณน้ำนมที่ได้ 2-3 กิโลกรัมและให้กินอาหารหยาบเต็มที่ ในการให้อาหารแบบนี้ ถ้าโคให้ผลผลิตสูงก็จะได้รับอาหารข้นต่อมื้อในปริมาณมากเป็นเหตุให้ค่า pH ในรูเมนลดลง จุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเยื่อใยจะลดจำนวนลงแต่เมื่อโคกินอาหารหยาบเข้าไป pHในรูเมนจะเพิ่มขึ้น จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นสลับกันไปเป็นวัฏจักร ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการย่อยอาหารของโคลดลง แต่การให้อาหารแบบ TMR โคจะได้รับอาหารข้นเข้าไปอย่างช้าๆพร้อมๆกับอาหารหยาบ ทำให้ไม่เกิดกรดในกระเพาะมาก นอกจากนี้อาหารหยาบที่โคกินยังไปช่วยกระตุ้นให้เกิดการเคี้ยวเอื้องและการหลั่งน้ำลายด้วย แต่ในกรณีการให้อาหารข้นกับอาหารหยาบแยกกันและอาหารหยาบอยู่ในรูปของพืชหมัก สภาพในกระเพาะหมักจะเป็นกรดมากขึ้นเนื่องจากความเป็นกรดของพืชหมักเองด้วย อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงขนาดชิ้นของอาหารหยาบที่ใช้ด้วยเนื่องจากปกติการประกอบสูตรอาหาร TMR มักจะมีความจำเป็นที่จะต้องลดขนาดชิ้นของอาหารหยาบลงเพื่อลดความฟ่ามของอาหาร และเพื่อให้ผสมเข้ากับอาหารข้นได้ดีลดปัญหาการเลือกกินเฉพาะอาหารข้นของโคด้วย (Martin,1999; อ้างโดย Shaver, 2000) ผลดีจากการที่โคได้รับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหาร TMR คือประสิทธิภาพการหมักย่อยอาหารในกระเพาะรูเมนเพิ่มสูงขึ้น ทำให้โคได้รับโภชนะต่างๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในกระเพาะโดยเฉพาะสมดุลของกรด - ด่างมีความเหมาะสมที่ประมาณ 6.2 - 6.8 อย่างไรก็ดีประสิทธิภาพของ TMR อาจจะลดลงได้ในกรณีที่สัดส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบเพิ่มขึ้นและเมื่อขนาดของชิ้นอาหารลดลง

Yrjänen *et al.* (2003) เปรียบเทียบการให้อาหาร TMRกับการให้อาหารหยาบและอาหารข้นแยกกัน โดยให้อาหาร 4 ครั้ง/วัน พบว่าโคกินอาหารได้ 17.2 vs 17.5 กิโลกรัม/วันและให้นมได้ไม่แตกต่างกัน (24.7 vs 25 กิโลกรัม/วัน) ซึ่งอาจเนื่องมาจากการให้อาหารแบบแยกอาหารข้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มความถี่ในการให้อาหารทำให้อาหารที่โคได้รับมีลักษณะคล้าย TMR จึงทำให้ผลการทดลองที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน

Mccoy *et al.* (1966) ได้ทำการทดลองเลี้ยงโคนมด้วยอาหาร TMR เปรียบเทียบกับการให้อาหารหยาบและอาหารข้นแยกกัน แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกให้อาหารหยาบอย่างเต็มที่กับอาหารข้นในอัตราอาหารข้น 1 กิโลกรัมต่อน้ำนม (ที่ปรับไขมัน 4%) แล้ว 2.5 กิโลกรัม กลุ่มที่ 2 ให้อาหารหยาบและอาหารข้นอย่างเต็มที่ และกลุ่มที่ 3 ให้อาหาร TMR อย่างเต็มที่ พบว่าโคให้นม (4% FCM) เท่ากับ 17.11, 16.61 และ 18.36 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ แสดงว่าการให้อาหาร TMR ทำให้โคให้นมสูงกว่าการให้อาหารแบบแยกกัน

Grant *et al.* (1990) ได้ทดลองให้ TMR ที่ประกอบด้วยอัลฟัลฟ่าหมักที่หั่นให้มีขนาด 2.0, 2.6 และ 3.1 มิลลิเมตร แก่โครีดนมจำนวน 18 ตัว โดยสูตรอาหารที่ให้มีสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นเป็น 55:45 พบว่าขนาดของชิ้นอาหารไม่มีผลต่อ DMI และ NDF ที่กินได้ รวมทั้งปริมาณผลผลิตน้ำนมด้วย แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันนมในโคที่ได้รับ TMR ที่ประกอบด้วยอัลฟัลฟ่าหมักที่หั่นให้มีขนาด 3.1 มิลลิเมตรจะมีค่าสูงกว่าสูตรที่หั่นให้มีขนาด 2 มิลลิเมตร (3.8 % vs 3.0 %) การลดขนาดของชิ้นอาหารลงจะทำให้ pH ในรูเมน และสัดส่วนของอะซิเตท ต่อโพรพิโอเนทลดต่ำลง พฤติกรรมการเคี้ยวกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน การย่อยสลายและการดูดซึมกลูโคสรวมทั้งการสังเคราะห์ไขมันนมก็จะลดต่ำลงด้วย

Grant *et al.* (1990) ทดลองใช้ TMR ที่ประกอบด้วยอัลฟัลฟ่าแห้งที่หั่นให้มีขนาด 1, 1.5 และ 2 มิลลิเมตร มีอัตราส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นเป็น 55:45 โดยสูตรอาหารมี NDF เท่ากับ 29% ในการทดลองที่ 1 ส่วนในการทดลองที่ 2 หั่นอัลฟัลฟ่าแห้งให้มีขนาด 0.9 และ 2.3 มิลลิเมตร โดยมีอัตราส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นเหมือนการทดลองที่ 1 แต่สูตรอาหารมี NDF 32 % ผลจากทั้ง 2 การทดลองพบว่าขนาดของชิ้นอัลฟัลฟ่าแห้งไม่มีผลต่อ DMI และปริมาณการกินได้ของ NDF รวมทั้งผลผลิตน้ำนมด้วย แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันนมของอาหารที่มีอัลฟัลฟ่าแห้งชิ้นละเอียดกว่าจะมีค่าต่ำกว่าสูตรที่ประกอบด้วยอัลฟัลฟ่าแห้งชิ้นหยาบ และพบว่าอาหารหยาบชิ้นละเอียดกว่านั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำให้โคมีการ เคี้ยวเอื้องน้อยกว่า เวลาที่ใช้ในการเคี้ยวเอื้องน้อยกว่าทั้งจำนวนครั้งและระยะเวลาที่ใช้เคี้ยว นอกจากนี้ยังพบว่าทำให้ pH ในรูเมนลดต่ำลง โพรพิโอเนทเพิ่มขึ้น กลูโคสในพลาสมาเพิ่มขึ้น และอินซูลินในซีรัมเพิ่มขึ้นด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved