บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

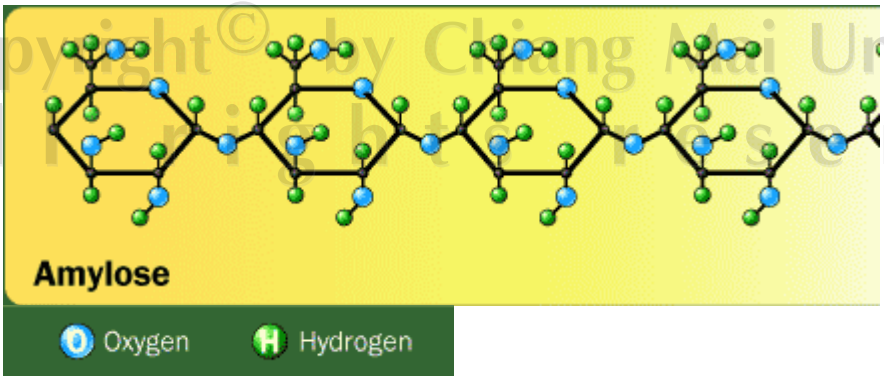
2.1 คาร์โบไฮเดรตและชนิดของคาร์โบไฮเดรตในรูปแป้ง

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารสำคัญที่พืชสามารถสังเคราะห์ได้เองที่ใบซึ่งเกิดขึ้นที่เม็ดคลอโรพลาส (chloroplast) โดยอาศัย คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานจากแสงอาทิตย์ ได้น้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของคาร์โบไฮเดรต แล้วจึงถูกนำไปสร้างเป็นเยื่อใยหรือเก็บในรูปแป้งหรือน้ำตาล เมื่อสัตว์กินพืชจะได้รับคาร์โบไฮเดรตเข้าไปเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในร่างกาย

แหล่งพลังงานที่สำคัญในอาหารข้นสำหรับสัตว์รวมถึงโคด้วย คือ คาร์โบไฮเดรตจำพวกแป้ง ซึ่งเก็บสะสมไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช เช่น หัว ราก เมล็ด ลำต้น และผล โดยรวมกันอยู่เป็นเม็ดแป้ง (starch granule) ที่อาจมีหรือไม่มีเมมเบรนหุ้มก็ได้ เรียกว่า อะไมโลพลาสต์ (amyloplast) แป้งส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดของธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง และบางส่วนได้มาจากหัวและรากของพืช เช่น มันเทศ มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง แป้งที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะ คือ มีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน และมีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันด้วย (นิธิยา, 2549)

แป้งประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เป็นกลูโคสทั้งหมดเรียกว่า กลูแคนส์ โมเลกุลของแป้งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

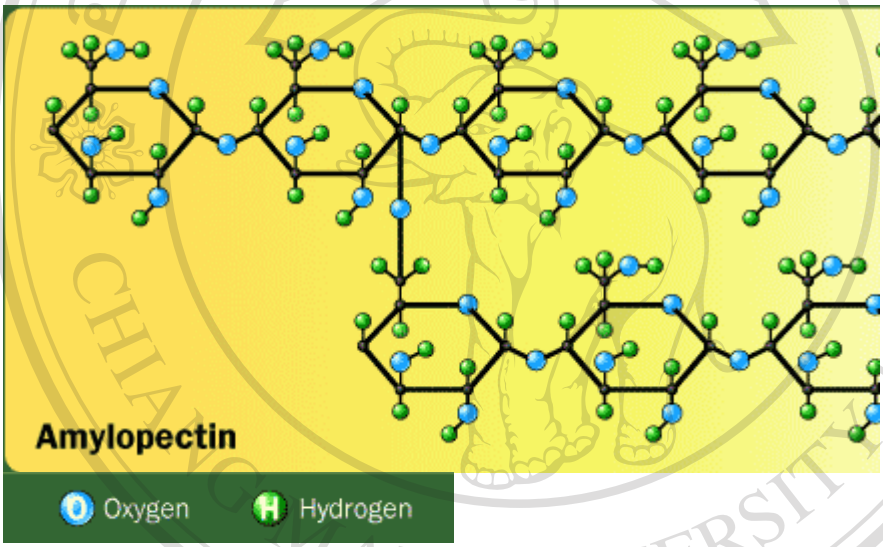
1. อะไมโลส (amylose) คือกลูโคสจำนวนมาก จับกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะแบบ $\alpha(1\rightarrow4)$ มีโครงสร้างขดกันเป็นเกลียวเฮลิกซ์ (helix structure) ละลายน้ำได้ดี เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีน (I) ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) จะได้สีน้ำเงิน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. อะไมโลเพกติน (amylopectin) เป็นส่วนที่ไม่ละลายในน้ำ ประกอบด้วยกลูโคสจำนวนมากจับกันด้วยพันธะแบบ α(1→4) และมีการแตกแขนงด้วยพันธะแบบ α(1→6) เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีน (I) ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ จะได้สีม่วง

เม็ดแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะมีลักษณะเป็นสารแขวนลอย (suspension) เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการพองตัว (swelling) ในที่สุดจะแตกออก และละลายน้ำได้ ทำให้อะไมโลไลติกเอนไซม์ (amylolytic enzyme) สามารถเข้าไปย่อยเม็ดแป้งได้ กระบวนการนี้เรียกว่า เจลาติไนเซชั่น (gelatinization) มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เพราะช่วยให้แป้งในอาหารถูกย่อยได้ง่ายขึ้น (บุญล้อม, 2546)



2.2 การย่อยคาร์โบไฮเดรตและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การย่อยคาร์โบไฮเดรต ชนิดเป็นเส้นใยเกิดในกระเพาะรูเมนโดยกลุ่มจุลินทรีย์ชนิดย่อยเยื่อใย แต่การย่อยคาร์โบไฮเดรตชนิดไม่เป็นเส้นใยในร่างกายโคนมเกิดขึ้นทั้งในกระเพาะรูเมนและในลำไส้เล็ก การย่อยแป้งในกระเพาะรูเมนเกิดจากเอนไซม์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ภายในกระเพาะเท่านั้น เนื่องจากกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่มีการผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในการย่ออาหาร (เทอดชัย, 2548)

การย่อยแป้งในกระเพาะรูเมนแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน (บุญล้อม, 2541)

ขั้นที่ 1 แป้งและเดกซ์ทริน (dextrin) จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ amylase ได้เป็น maltose และถูกย่อยต่อไปด้วยเอนไซม์ maltase และ maltose phosphorylase และ/หรือ α-1,6-glucosidase ได้เป็นกลูโคส หรือ glucose-1-phosphate ดังภาพ 1.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นที่ 2 น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปอย่างรวดเร็วโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ได้เป็น pyruvic acid เช่นเดียวกับเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในตัวสัตว์ตามปกติ ทำให้ไม่ค่อยพบน้ำตาลกลูโคสในกระเพาะรูเมน

ขั้นที่ 3 ไพรูเวท (pyruvate) ที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนแปลงโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ มีเธน และกรดไขมันระเหยได้ ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่กรดอะซิติก (acetic acid), กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดบิวทีริก (butyric acid) กรดไขมันชนิดอื่นๆ เช่น กรด isobutyric, methylbutyric และ valeric ก็อาจเกิดขึ้นด้วยแต่ในปริมาณน้อย โดยการ deamination ของกรดอะมิโนในรูเมน

กรดไขมันระเหยได้ที่ผลิตได้ประมาณ 80% จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนแบบ simple diffusion (Dijkstra, 1994) และอีกประมาณ 19% จะถูกดูดซึมที่กระเพาะสามสิบกลีบ (omasum) และกระเพาะจริง (abomasum) ส่วนที่เหลือจะผ่านไปยังลำไส้เล็ก (Frobes and France, 1993) กรดไขมันระเหยได้ที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ portal blood จะหมุนเวียนอยู่ในรูปของประจุลบในสภาวะความเป็นกรด-ด่างของเลือดที่เป็นกลาง (เมธา, 2533) กรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้นนี้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ โดยให้พลังงานได้ถึง 80% ของพลังงานที่สัตว์ต้องการ ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ในรูเมนจะแปรผันระหว่าง 70-150 mmol/l หรือประมาณ 5-10 กรัม/ลิตร ทั้งนี้แล้วแต่อาหารและระยะเวลาหลังจากกินอาหาร นอกจากนี้สัดส่วนของกรดยังแปรผันตามชนิดของอาหารด้วย (บุญล้อม, 2541)

กรดไขมันระเหยได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายดังนี้

1. กรดอะซิติก (acetic acid) จะถูกนำไปใช้เพื่อให้พลังงานโดยผ่านทาง acetyl-CoA เข้าสู่ TCA cycle (บุญล้อม, 2541) หรือใช้ในการสังเคราะห์ไขมัน (lipogenesis) ในเนื้อเยื่อผ่านทางกระบวนการ carboxylation เป็น malonyl-CoA (ฉลอง, 2541) ในโคนมที่กำลังให้ผลผลิตต่อมน้ำนมจะใช้กรดอะซิติกเพื่อเป็นแหล่งของคาร์บอนในการสังเคราะห์กรดไขมันนม (Van Soest, 1994)

2. กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) จะถูกเมแทบอไลซ์ที่ตับ 80-90% และมีบทบาทสำคัญในการใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลูโคส (gluconeogenesis) และถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์น้ำตาลแลคโตสในนม (Van Soest, 1994) โดยเริ่มจากการเปลี่ยนโพรพิโอนิกเป็น propionyl-CoA เกิดคาร์บอกซิเลชันได้ methylmalonyl-CoA ตามด้วยการจัดเรียงตัวของคาร์บอนเป็น succinyl-CoA จากนั้นจะถูกดูดซึมเข้าสู่ TCA cycle ผ่าน oxaloacetate (บุญล้อม, 2541) จากจุดนี้สามารถนำไปสังเคราะห์กลูโคสโดยผ่านทาง Embden-Meyerhof pathway (Van Soest, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

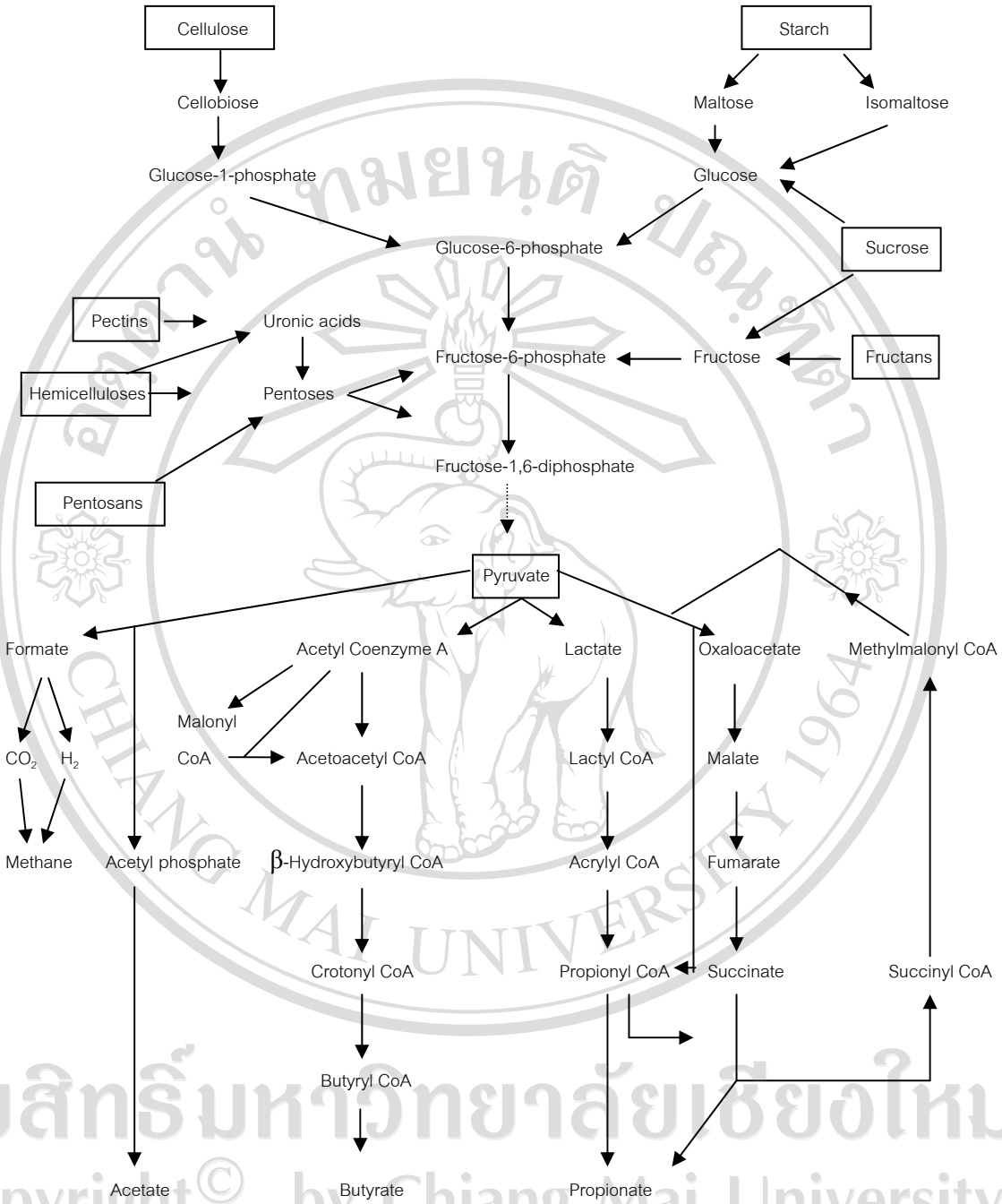
หรือรวมตัวกับ acetyl-CoA เป็น citrate หรือนำไปสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโน ได้แก่ aspartate glutamate และ alanine (ฉลอง, 2541)

3. กรดบิวทีริก (butyric acid) ส่วนมากจะถูกเมแทบอไลซ์ที่ผนังกระเพาะหมัก เป็นสารคีโตน (ketone body) ได้แก่ acetoacetate และ (-D) ß-hydroxybutyrate ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงระหว่างกันได้ในตับ (บุญล้อม, 2541) ในบางสถานการณ์โดยเฉพาะภายใต้สภาวะการสลายไขมันหรือมีความต้องการพลังงานในสภาวะขาดอาหาร ทำให้พบ (L-) ß-hydroxybutyrate ใน peripheral blood จำนวนมาก ถ้ามากเกินไปจะมีผลทำให้เกิดภาวะคีโตซีสได้ ในสภาวะปกติสารคีโตนก็จะถูกใช้ในเนื้อเยื่อต่างๆ เช่นเดียวกับกรดอะซิติก (Van Soest, 1994)

ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะรูเมนขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการผลิตและการดูดซึมกรดผ่านผนังกระเพาะ ถ้าอัตราเร็วในการผลิตมีมากกว่าก็จะมีกรดสะสมอยู่ในรูเมนมาก อย่างไรก็ดีอัตราการผลิตกรดนี้จะผันแปรไปในช่วงวัน (diurnal variation) โดยจะถึงระดับสูงสุดหลังจากกินอาหารไปได้ระยะหนึ่ง ซึ่งจะเร็วหรือช้าแล้วแต่ชนิดของอาหารที่สัตว์ได้รับ เช่นถ้าได้รับอาหารหยาบสูงอาจขึ้นถึงระดับสูงสุดหลังกินอาหารได้ 4 ชั่วโมง แต่ถ้าสัตว์ได้รับอาหารข้นสูงปริมาณกรดจะถึงระดับสูงสุดเร็วกว่านั้น และค่า pH ในกระเพาะรูเมนจะกลับกันกับปริมาณกรด หรือที่เรียกว่า negative mirror image (บุญล้อม, 2541)

การที่ pH ในกระเพาะรูเมนลดต่ำลง อาจเกิดจากการผลิตกรดแลคติก (lactic) เป็นปริมาณสูงถึง 50-90% ของปริมาณกรดทั้งหมดที่เกิดขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้กรดแลคติก ลดจำนวนลงในสภาพความเป็นกรดที่รวดเร็วเกิดภาวะเสียสมดุลของกรดแลคติก จึงมีกรดแลคติก ปริมาณมากในกระเพาะรูเมน ทำให้จุลินทรีย์ชนิดอื่นทนไม่ได้ กรดแลคติกนี้มีสภาพความเป็นกรดที่รุนแรงกว่ากรดไขมันที่ระเหยได้ และถ้ามีการดูดซึมกรดแลคติกเข้าสู่กระแสโลหิตเป็นจำนวนมากจะทำให้เลือดมีสภาพเป็นกรดสูง ส่งผลให้สัตว์ไม่กินอาหาร กีบอักเสบ และให้ผลผลิตลดลง นอกจากนี้ยังจะทำให้เม็ดเลือดแดงไม่สามารถนำพาออกซิเจนไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกายได้ซึ่งจะทำให้สัตว์ตาย เรียกว่า acute indigestion หรือ rumen acidosis แผนภาพโดยสรุปของการเกิด acidosis แสดงในภาพ 1.2

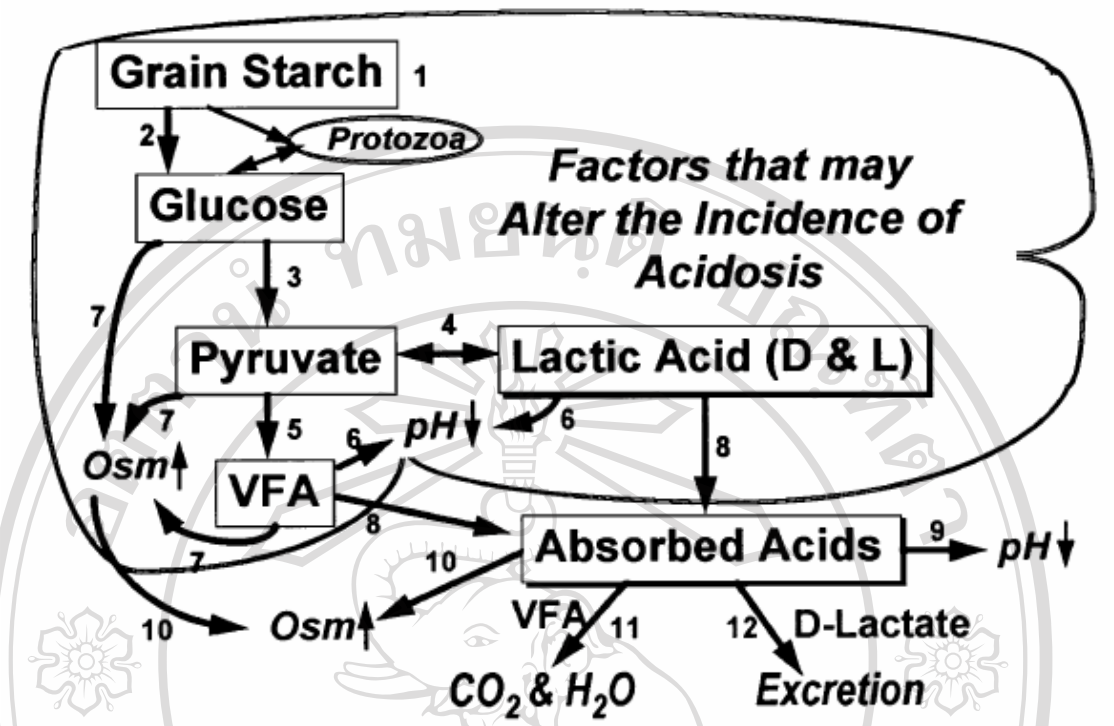
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 1.1 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน (บุญล้อม, 2541)

Figure 1.1 Metabolism of carbohydrate in the rumen (Boonlom, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 1.2 กลไกการเกิดภาวะความเป็นกรดสูงในกระเพาะรูเมน (Owens, 1998)

Figure 1.2 Mechanism of rumen acidosis

2.3 ภาวะความเป็นกรดสูงในกระเพาะรูเมน (rumen acidosis)

เป็นสภาวะที่เกิดขึ้นเมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องกินอาหารคาร์โบไฮเดรตประเภทที่ย่อยสลายได้ง่าย จำพวกแป้งและน้ำตาลในปริมาณมาก แบคทีเรียจึงย่อยคาร์โบไฮเดรตประเภทแป้งให้เป็นกรดแลคติกในปริมาณมากและสะสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแบคทีเรียที่นำเอากรดแลคติกไปใช้ไม่สามารถใช้ได้หมดจึงทำให้มีกรดแลคติกคั่งค้างอยู่ภายในกระเพาะรูเมน ทำให้มีสภาพเป็นกรด โดย pH ลดต่ำกว่า 5 ซึ่งภายใต้สภาพนี้แบคทีเรียและโปรโตซัวที่ย่อยเยื่อใยจะลดปริมาณลง เมื่อความเข้มข้นของ VFA สูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้การเคลื่อนไหวของกระเพาะรูเมนช้าลงดังกลไกในภาพที่ 1.2 กรดแลคติกที่เกิดขึ้นบางส่วนจะถูกทำให้มีสภาพเป็นกลางโดยน้ำลายของสัตว์ที่มีสารบัฟเฟอร์เป็นองค์ประกอบ กรดแลคติกที่เหลือจะซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเข้าสู่กระแสเลือด ซึ่งตามปกติจะถูกทำให้มีสภาพเป็นกลางโดย bicarbonate และเกิด CO_2 ซึ่งจะถูกกำจัดโดยวิธีหายใจถี่ขึ้น แต่ถ้ากรดแลคติกมีปริมาณมากกว่าที่ plasma bicarbonate จะคุมได้จะทำให้ pH ของเลือดลดต่ำลง ความดันเลือดจะลดลงทำให้การไหลเวียนของเลือดไปยังส่วนต่างๆ น้อยลง การนำออกซิเจนไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกายก็จะลดลง จนอาจทำให้สัตว์ตายในที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดแลคติกที่เกิดขึ้น จะอยู่ในรูปของ D – lactic acid และ L – lactic acid แต่ชนิดที่ทำให้เกิดปัญหามาก คือ D – lactic acid เพราะ L – lactic acid จะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ได้เร็วกว่า (Huber, 1976)

การสลายตัวของแป้งในกระเพาะหมักจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นิยมใช้กันทั่วไป สามารถเรียงลำดับจากเร็วไปช้าได้ดังนี้

มันสำปะหลัง > ข้าวโอ๊ต > ข้าวสาลี > ข้าวบาร์เลย์ > ข้าวโพด > ข้าวฟ่าง (Herrera-Saldana *et al*.,1990) จะเห็นได้ว่าแม้แป้งของเมล็ดข้าวโพดจะมีการสลายตัวที่ค่อนข้างช้า เมื่อเทียบกับแป้งของพืชหัวหรือธัญพืชชนิดอื่น แต่ก็ยังมีรายงานการเกิดสภาวะ acidosis ในโคนมที่ได้รับอาหารข้นในระดับสูงอยู่เสมอ ดังนั้นการแปรรูปเมล็ดข้าวโพดให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญ

2.4 ระดับที่เหมาะสมของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารโคนม

คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยประกอบด้วย แป้ง น้ำตาล เป็นหลัก นิยมวัดในรูปของ non fibrous carbohydrate (NFC) โดยวิธีการหักลบหรือในรูปของ NSC (Non structural carbohydrate) ซึ่งวัดโดยวิธีเอนไซม์ การสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ในรูเมนส่วนหนึ่งต้องอาศัยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย และโปรตีนย่อยสลายได้ (DIP) ดังนั้นการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์จะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อสัตว์ได้รับ NFC และ DIP ในระดับที่เหมาะสมซึ่ง อมรกฤต (2551) พบว่ามีค่าประมาณ 2.5%

Cherney *et al.* (2003) ได้ศึกษาบทบาทของ NFC ในอาหารโคนมโดยให้อาหารที่มี NFC 35.7 และ 36.5% พบว่าทำให้โคให้น้ำนมโคดีกว่าเมื่อให้อาหารที่มี NFC 30.0 และ 31.4% โดยให้เหตุผลว่า NFC เป็นแหล่งของสารที่ใช้ในการสร้างน้ำตาลแลคโตสในน้ำนม

Kalscheur *et al.* (2006) ศึกษาการให้อาหารโดยใช้ระดับของ NFC ที่สูงกว่า 40% พบว่า ทำให้โคให้ผลผลิตน้ำนม 4%FCM 30.3, 30.8 และ 32.2 กิโลกรัม ลดลงมากกว่าเมื่อให้อาหารที่มีระดับ NFC ที่ 40.5% ซึ่งให้ผลผลิตได้วันละ 33 กิโลกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

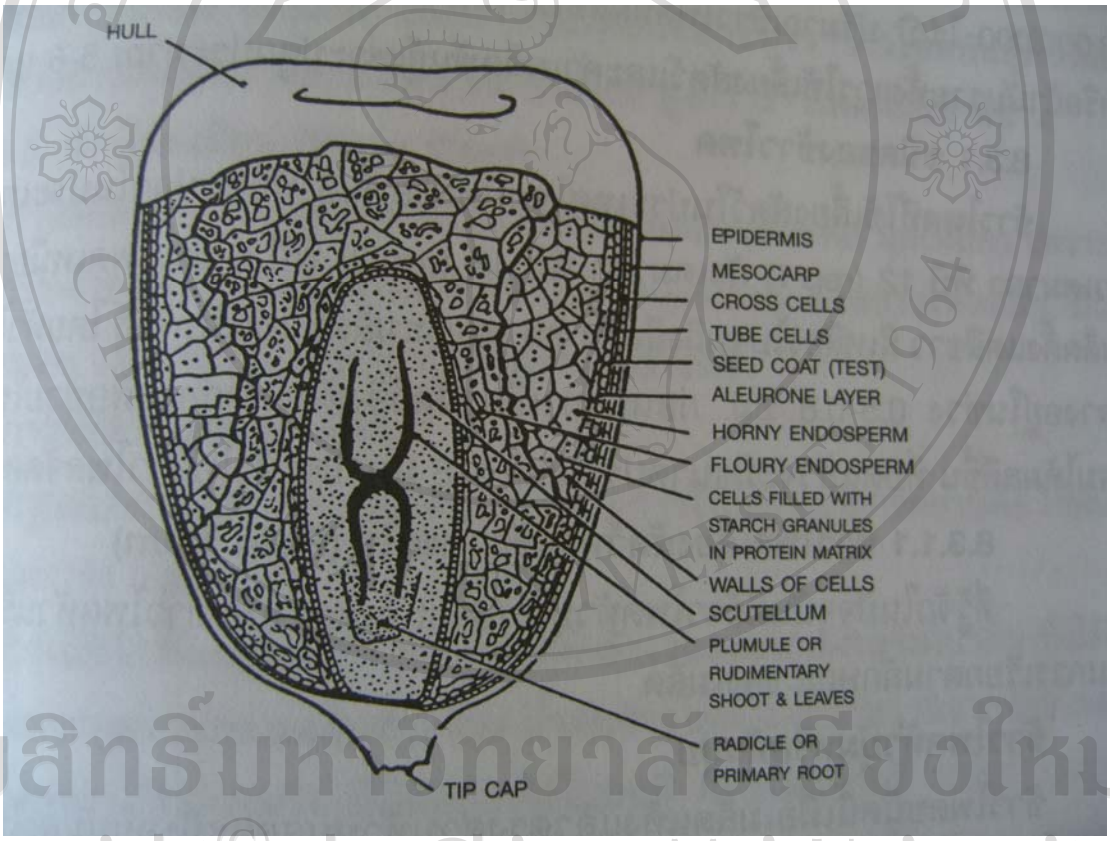
2.5 ข้าวโพด (Indian Corn หรือ Maize)

ข้าวโพดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่าซีเมส์ (*Zea mays*) เป็นพืชตระกูลเดียวกับหญ้า มีลำต้นสูงโดยเฉลี่ย 2.5 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น 0.5-2 นิ้ว มีถิ่นกำเนิดในนิวเม็กซิโก (แถบอเมริกาใต้) ปัจจุบันนิยมปลูกแพร่หลายในแถบอเมริกา แคนาดา ฯลฯ และสามารถปลูกได้ในสภาพที่มีภูมิอากาศแตกต่างกันมาก ข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์ เพราะสามารถนำมาเลี้ยงสัตว์ได้ทั้งต้น ใบและเมล็ด (พันทิพา, 2547)

ลักษณะทั่วไปของเมล็ดข้าวโพด

เมล็ดข้าวโพดแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนเปลือก (pericarp, hull หรือ bran) คิดเป็นร้อยละ 6 ส่วนของต้นอ่อนหรือจมูกข้าวโพด (germ หรือ embryo) คิดเป็นร้อยละ 12 และส่วนเนื้อ (endosperm) คิดเป็นร้อยละ 82 (พันทิพา, 2547)

Endosperm ของข้าวโพด ประกอบไปด้วยแป้ง 2 ชนิดคือ แป้งชนิดอ่อน (floury endosperm) อยู่ด้านในและแป้งชนิดแข็ง (horny endosperm) อยู่ด้านนอก (ราเชนทร์, 2539) ดังนั้นการนำเมล็ดข้าวโพดมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับโคจึงจำเป็นต้องผ่านการแปรรูปเสียก่อนเพื่อให้แป้งส่วน horny แตกออก จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและเอนไซม์ในลำไส้เล็กจึงจะสามารถเข้าย่อยและใช้ประโยชน์จากแป้งในเมล็ดข้าวโพดได้



ภาพ 1.3 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าวโพด (พันทิพา, 2547)

Figure 1.3 Structure of corn seed (Pantipa, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ใช้ได้หลายรูปแบบทั้งเป็นอาหารหยาบและอาหารข้น การใช้ในรูปอาหารหยาบคือ ใช้ต้น ใบ ซัง ทั้งสภาพสด แห้ง และหมัก ส่วนอาหารข้นใช้ได้ทั้งเมล็ด และผลิตผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการทำแป้งข้าวโพด น้ำมันข้าวโพด และน้ำหวานจากข้าวโพด ซึ่งผลิตผลพลอยได้เหล่านี้มีหลายชนิด เช่น รำข้าวโพด (corn bran) คอร์นฟีดมีล (corn feed meal) คอร์นเจิร์มเค้กหรือคอร์นเจิร์มมีล (corn germ cake, corn germ meal) คอร์นกลูเทนฟีด (corn gluten feed) และคอร์นกลูเทนมีล (corn gluten meal) เป็นต้น โดยใช้เป็นแหล่งให้พลังงานและแหล่งเสริมโปรตีน ชนิดของข้าวโพดที่ใช้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้แก่

1. เมล็ดข้าวโพดบดหรือบีบแตก (Ground corn, Cracked corn หรือ Corn meal)

โดยปกติหมายถึงเมล็ดข้าวโพดที่สีออกจากฝักแล้วนำมาบดหรือทำให้แตกออก ก่อนบดข้าวโพดต้องเลือกสิ่งแปลกปลอมออกให้เหลือไม่เกิน 4% สิ่งที่มักปนมาคือ ซังและเปลือกข้าวโพด การบดไม่ควรบดให้ละเอียดเกินไป เพราะจะมีลักษณะเป็นฝุ่นสัตว์ไม่ชอบกิน ข้าวโพดที่บดแล้วจะเก็บไว้ได้นานต้องมีความชื้นไม่เกิน 12% ข้าวโพดบดสามารถผสมอาหารได้ดีถึง 70-80% โดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ ถือว่าเป็นอาหารที่ดีมีไวตามินเอ สูงมาก แต่มี ไวตามินบีรวมต่ำ ข้าวโพดบดแบบนี้มักนิยมบดใช้เองในฟาร์ม

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

ในต่างประเทศ มีกรรมวิธีการผลิตที่สามารถแยกเอาส่วนของเปลือกนอกของเมล็ด (hull) และส่วนจุดงอกหรือคัพภะ (germ) ของเมล็ดข้าวโพดออกไปก่อนที่จะนำมาบดด้วย

2. ข้าวโพดบดทั้งฝัก (Corn and cob meal หรือ Ground ear corn)

ข้าวโพดบดลักษณะนี้ โดยปกติจะแกะเปลือกออกก่อน แล้วบดเมล็ดไปพร้อมกับซัง ซึ่งจะมีส่วนของซังติดมาตามธรรมชาติประมาณ 20% ทำให้เบาฟ่ามมีกากมากขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวโพดบด เหมาะสำหรับแม่โค พ่อโคเนื้อ และโคนม รวมทั้งแม่สุกรอุ้มท้องเพื่อกันอ้วน แต่ไม่เหมาะกับสุกรรุ่น สุกรขุน ไก่เนื้อ และไก่ไข่ ซังข้าวโพดมีคุณค่าทางอาหารต่ำเพราะมีเยื่อใยสูง ย่อยได้ยาก การบดข้าวโพดทั้งฝัก ถ้าบดละเอียด (fine ground) จะต้องสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ได้ 67% อีก 33% ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ได้ แต่ชนิดบดหยาบ (coarse ground) ต้องผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ได้ทั้งหมด และผ่านเบอร์ 10 ได้ 50%

บางครั้งจะมีการบดข้าวโพดทั้งฝักโดยไม่แกะเปลือกออก (ear corn chops with husk) กรณีนี้จะมีเยื่อใยมากขึ้น คุณค่าทางอาหารจะน้อยกว่าที่ได้กล่าวมาแล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

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

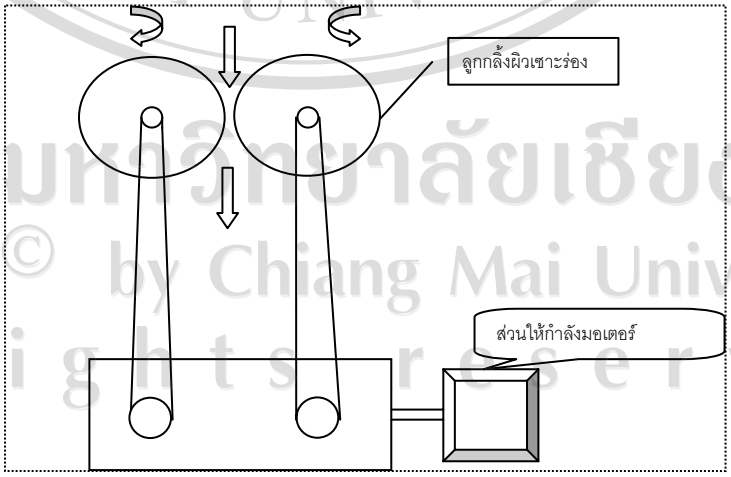
2.6 อุปกรณ์สำหรับบดเมล็ดข้าวโพด

การบดเมล็ดข้าวโพดให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ชนิดต่างๆ ถือว่ามีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากสัตว์ชนิดต่างๆ ต้องการเมล็ดข้าวโพดที่มีขนาดและลักษณะที่แตกต่างกันไป เช่น สุกรต้องการเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็กหรืออยู่ในสภาพละเอียดเพื่อง่ายต่อการย่อย ในขณะที่โคต้องการเมล็ดข้าวโพดที่มีขนาดใหญ่กว่าเพื่อรักษาสมดุลความเป็นกรดในกระเพาะรูเมน การบดเมล็ดข้าวโพดให้มีขนาดตามที่ต้องการจำเป็นต้องเลือกอุปกรณ์สำหรับบดเมล็ดข้าวโพดให้เหมาะสม

ก. เครื่องบดแบบ Roller mill

ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ตัวตั้งชิดกันดังภาพ 1.4 แต่หมุนสวนทางกัน ผิวของลูกกลิ้ง (corrugate) จะเป็นลอนหยัก ทำหน้าที่บีบและฉีกอาหารที่ผ่านช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งให้แตก อาหารที่ผ่านการบดจะมีลักษณะแบนและแตกหักเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย

ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งทั้ง 2 สามารถปรับความกว้าง-แคบได้ ขึ้นอยู่กับความต้องการบดให้ละเอียดหรือหยาบ



ภาพ 1.4 การทำงานของเครื่อง Roller mill

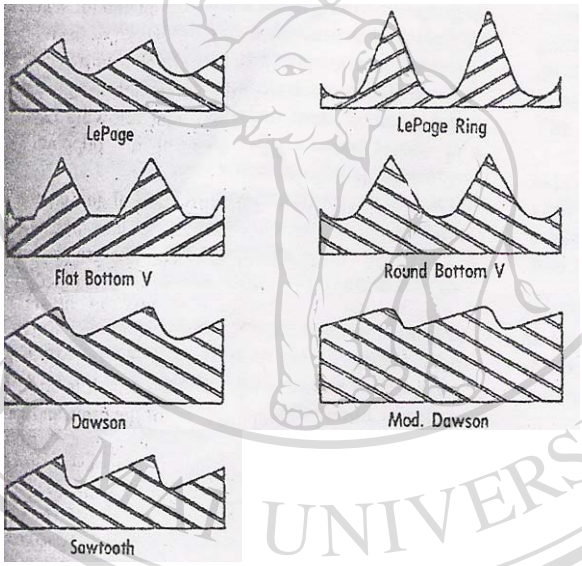
Figure 1.4 Principle of the Roller mill

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

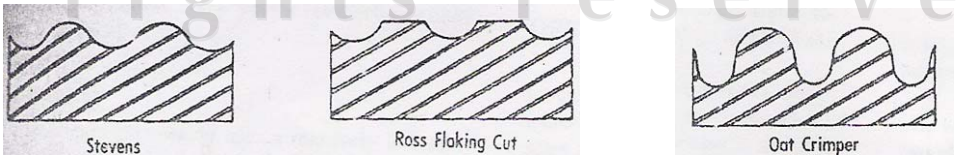
เมื่อเมล็ดข้าวโพดผ่านการบีบด้วย roller mill จะส่งผลให้ส่วนของแป้งแข็ง (horny starch) ถูกทำให้แตกออก ดังนั้นจุลินทรีย์ และเอนไซม์จากตัวสัตว์จึงสามารถเข้าย่อยสลายและใช้ประโยชน์จากแป้งที่อยู่ในเมล็ดข้าวโพดได้ง่ายและมากขึ้น

ผิวของลูกกลิ้งถือว่ามีความสำคัญมากเช่นกัน เพราะลักษณะผิวของลูกกลิ้งที่ต่างกันก็มีผลต่อขนาดชิ้นด้วยเช่นกัน AFIA (1985) ได้กล่าวถึงผิวลักษณะต่างๆ คือ

1. ผิวของลูกกลิ้งสำหรับบดละเอียด จะสามารถตัดเมล็ดข้าวโพดให้มีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ จนถึงละเอียด เนื่องจากผิวของลูกกลิ้งมีความแหลมคมดังรูป และวางลูกกลิ้งชิดกันตลอดจนสามารถตั้งรอบการหมุนของลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก ให้ต่างกัน เช่น 1.5 : 1 หรือ 2 : 1 ทำให้สามารถบดละเอียดได้มากยิ่งขึ้น



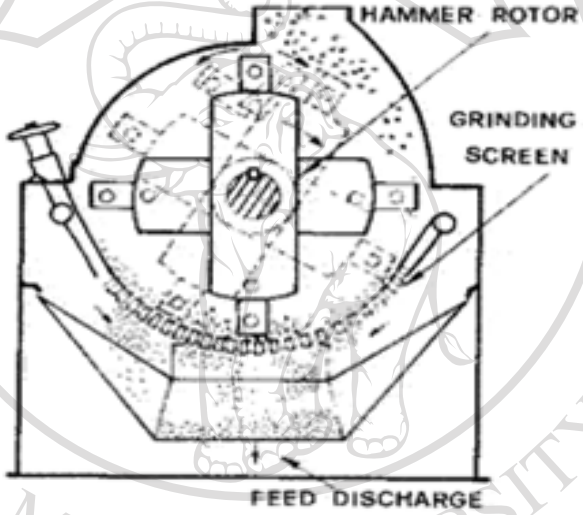
2. ผิวของลูกกลิ้งสำหรับบดหยาบจะไม่สามารถตัดเมล็ดข้าวโพดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ได้ เนื่องจากผิวของลูกกลิ้งไม่มีความแหลมคมดังรูปด้านล่าง อีกทั้งรอบการหมุนของลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก ยังเท่ากัน และมีการตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้มากขึ้นกว่าการบดละเอียดด้วย จึงส่งผลให้เมล็ดข้าวโพดที่ถูกบดมีขนาดชิ้นที่ค่อนข้างใหญ่



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. เครื่องบดแบบ Hammer mill

เป็นอุปกรณ์บดวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นิยมใช้กันทั่วไป และมีวิธีการใช้ง่าย หลักการทำงานของเครื่องคือ อาศัยแท่งเหล็กรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหลายๆ แท่งยึดติดกับแกนหมุนตรงกลางดังภาพ1.5 เมื่อแกนหมุนแท่งเหล็กจะถูกเหวี่ยงให้ไปกระทบวัตถุดิบ ทำให้วัตถุดิบถูกตีไปชนกันเอง หรือชนกับผนังรอบๆ แกน และช่วงที่วัตถุดิบถูกตีให้แตกก็จะได้รับแรงขัดสีจากตะแกรงที่รองอยู่ด้านล่าง จนมีขนาดที่สามารถลอดผ่านตะแกรงได้ ดังนั้นตะแกรงจึงเป็นตัวกำหนดขนาดหรือความละเอียดของวัตถุดิบที่ต้องการ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของเครื่อง hammer mill ยังขึ้นกับความเร็วของแกนที่หมุนและลักษณะหัวค้อน



ภาพ 1.5 การทำงานของเครื่อง Hammer mill (พันทิพา, 2547)

Figure 1.5 Principle sketch of the hammer mill (Pantipa, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 ผลของการแปรสภาพเมล็ดข้าวโพดต่อการย่อยได้ในโคและการให้ผลผลิต

ก. ผลของความชื้น

เมื่อเมล็ดได้รับความชื้นจากภายนอกอย่างเพียงพอจะมีการดูดน้ำเข้าไปภายใน ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนตัวลง และน้ำจะช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ ภายในเมล็ด เช่น กระตุ้นการสร้างฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน ซึ่งควบคุมการสร้างเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในชั้นอะลิวโรน (aleurone layer) แล้วถูกส่งไปยังเอนโดสเปิร์มเพื่อย่อยแป้งเป็นน้ำตาล นอกจากนี้ยังมีการสร้างเอนไซม์อื่นๆ ได้แก่ นิวคลีเอส โปรตีเอส ฯลฯ เพื่อย่อยสลายอาหารที่สะสมไว้ในเมล็ด เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ให้มีโมเลกุลเล็กลงได้เป็น น้ำตาล และกรดอะมิโน (สมบุญ, 2538)

Cooper *et al.* (2002) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของความชื้นของเมล็ดข้าวโพดต่อการย่อยได้ของแป้ง โดยนำเมล็ดข้าวโพดที่มีสภาพแห้งไปบดผ่านลูกกลิ้ง เรียกว่า dry-rolled corn (DRC) และ นำเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นสูง (หลังจากการเก็บเกี่ยว มีความชื้นประมาณ 29%) ไปบดผ่านลูกกลิ้งแล้วนำไปเก็บในหลุมหมักโดยอัดให้แน่น ประมาณ 250 วัน เรียกว่า high-moisture corn (HMC) พบว่า HMC มีการย่อยสลายของแป้งในกระเพาะรูเมนสูงกว่า DRC (91.7 vs 76.2 % , P<0.05)

Sindt *et al.* (2006) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของระดับของความชื้นที่มีผลต่อการย่อยได้ของ steam-flaked corn โดยแบ่งระดับความชื้นออกเป็น 3 ระดับ คือ 0, 6 และ 12% (wt/wt) พบว่า การย่อยสลายของแป้งในกระเพาะรูเมนของแต่ละกลุ่มเท่ากับ 90.5, 87.7 และ 91.8% และมีการย่อยได้ที่ลำไส้เล็กเท่ากับ 7.2, 8.4 และ 5.8% ตามลำดับ

ข. ผลของความร้อน

การแปรรูปเมล็ดธัญพืชเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของแป้งในกระเพาะรูเมน (Theurer *et al.*,1999) แต่จะมีผลทำให้การย่อยได้ของเยื่อใยและประสิทธิภาพในการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ลดลง นอกจากนี้การให้ความร้อนแก่เมล็ดธัญพืชซึ่งมีความชื้นพอเหมาะ จะทำให้แป้งเกิดการแตกตัว (gelatinization) ทำให้การใช้ประโยชน์สูงขึ้น (เมธา, 2529)

Chen *et al.* (1994) ทำการศึกษาถึงผลของการแปรรูปเมล็ดข้าวโพดด้วยวิธีต่างกันที่มีผลต่อปริมาณน้ำนม โดยนำเมล็ดข้าวโพดไปนึ่งเป็นเวลา 10-15 นาที แล้วนำไปบดผ่านลูกกลิ้งให้มีความหนาแน่น 500 g/L เรียกว่า steam-rolled corn (SRC) เทียบกับ steam-flaked corn (SFC) ที่มีความหนาแน่น ไม่เกิน 400 g/L พบว่า กลุ่ม SFC ให้ปริมาณน้ำนมและโปรตีนในน้ำนมสูงกว่า SRC (P<0.01)

Theurer *et al.* (1999) รายงานว่า การนำเมล็ดข้าวโพดไปนึ่งและนำไปรีดเป็นแผ่น (SF) ช่วยให้โคใช้ย่อยแป้งในเมล็ดข้าวโพดได้ดีกว่าการนำเมล็ดข้าวโพดแห้งไปบีบผ่านลูกกลิ้ง (DR) คือ กลุ่ม SF มีการย่อยสลายของแป้งในรูเมน 52 vs 35% (P<0.05) และมีการย่อยได้ในลำไส้เล็ก 44 vs 42% (P >0.05) ดังนั้นเมื่อคิดเป็นการย่อยได้ของแป้งตลอดทางเดินอาหาร (total tract starch digestion, %) กลุ่ม SF จึงมีการย่อยได้สูงกว่ากลุ่ม DR (97.9 vs 88.7%, P<0.05)

เมื่อทดลองนำข้าวโพดดังกล่าวมาผสมในอาหาร TMR ให้โครีดนม พบว่า กลุ่ม SF ให้ปริมาณน้ำนมสูงกว่ากลุ่ม DR คือ 37.4 vs 35.6 กิโลกรัมต่อวัน (P<0.01) และให้โปรตีนในน้ำนมสูงกว่า คือ 3.02 vs 2.95% อย่างไรก็ตามพบว่ากลุ่ม DR ให้ไขมันในน้ำนมสูงกว่า (3.20 vs 3.03%) ดังนั้นเมื่อคำนวณเป็นปริมาณนมที่ปรับไขมัน 3.5% (FCM) แล้ว จึงไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค. ผลของขนาดชิ้น

ลักษณะทางกายภาพมีส่วนสำคัญยิ่งต่อการรักษาสมดุลการเกิดกรดในกระเพาะรูเมน โดยข้าวโพดที่มีขนาดชิ้นเล็ก เช่นข้าวโพดบดจะมีการสลายตัวของแป้งอย่างรวดเร็วในกระเพาะรูเมน ซึ่งส่งผลให้มีการย่อยได้สูง อย่างไรก็ตามการสลายตัวของแป้งอย่างรวดเร็วในกระเพาะรูเมน จะส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของเยื่อใย (Allen, 1997)

Lykos และ Varga (1995) ได้ทำการศึกษาการย่อยได้ในกระเพาะรูเมนของเมล็ดข้าวโพดที่มีขนาดชิ้นที่แตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบระหว่าง CC (cracked corn), CCC (chick cracked corn), FGC (finely ground corn) และ SFC36 (steam-flaked corn with a density of .36 kg/L) ซึ่งมีขนาดชิ้นเฉลี่ยเท่ากับ 4309, 2577, 686 และ 2896 μm ตามลำดับ พบว่า มีส่วนของ soluble fraction เท่ากับ 2.1, 1.2, 21.5 และ 24.9% ตามลำดับ ส่วน potentially degradable fraction เท่ากับ 96.9, 98.7, 78.1 และ 66.8% ตามลำดับ

Yu *et al.* (1998) ทำการศึกษาถึงผลของขนาดชิ้นของเมล็ดข้าวโพดที่แตกต่างกันต่อปริมาณน้ำนม โดยเปรียบเทียบระหว่าง FGC (finely ground corn) และ CGC (coarsely ground corn) ที่มีขนาดชิ้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.18 และ 2.42 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่า กลุ่ม CGC มีปริมาณการกินได้สูงกว่า (27.5 vs 23.1 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อวัน, $P<0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณและส่วนประกอบน้ำนมของโคทั้ง 2 กลุ่มใกล้เคียงกัน โดยมีไขมัน เท่ากับ 2.94 และ 3.06% และมีโปรตีน เท่ากับ 2.97 และ 2.99% ตามลำดับ

Callison *et al.* (2001) ทำการศึกษาถึงผลของขนาดชิ้นของเมล็ดข้าวโพดที่แตกต่างกันต่อการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (NSC) โดยเปรียบเทียบระหว่าง FGC (finely ground corn) และ CGC (coarsely ground corn) ที่มีขนาดชิ้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 และ 4.8 มิลลิเมตร พบว่า กลุ่ม FGC ซึ่งมีขนาดเล็กกว่ามีการย่อยสลายได้สูงกว่า (70.1 vs 35.2%, $P<0.01$) ส่วนการย่อยได้ที่ลำไส้เล็กเท่ากับ 19.9 vs 47.7% ($P<0.01$) ดังนั้นเมื่อคิดเป็นค่าการย่อยได้ตลอดทั้งระบบ กลุ่ม FGC จึงมีการย่อยได้สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (98.0 vs 91.3%, $P<0.01$) อย่างไรก็ตามพบว่ากลุ่ม FGC มีค่าการย่อยสลายสูงสุด (potentially digestible fraction) ต่ำกว่า (78.3 vs 94.5) สำหรับผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม พบว่า โคทั้ง 2 กลุ่มมีปริมาณการกินได้ไม่แตกต่างกัน คือ 18.4 vs 18.8 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อวัน และมีปริมาณน้ำนม 25 กิโลกรัมต่อวัน ทั้ง 2 กลุ่ม นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบของน้ำนมใกล้เคียงกัน คือ ไขมันนม 3.57 vs 3.50% และโปรตีนในน้ำนม 3.20 vs 3.18%

Remond *et al.* (2004) ทำการศึกษาถึงผลของขนาดชิ้นของเมล็ดข้าวโพดที่แตกต่างกันต่อการย่อยได้ โดยเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.7, 1.8 และ 3.7 มิลลิเมตร พบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสลายในกระเพาะรูเมนเท่ากับ 58.6, 49.8 และ 35.5% (P<0.05) และมีการย่อยได้ที่ลำไส้เล็กเท่ากับ 28.9, 31.5 และ 30.6% ตามลำดับ สำหรับผลต่อสมรรถภาพการผลิตของโคนม พบว่าปริมาณการกินได้ของโคแต่ละกลุ่มใกล้เคียงกัน คือ 16.0, 15.9 และ 15.9 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อวัน ตามลำดับ ในส่วนของปริมาณน้ำนม พบว่า กลุ่มที่มีขนาดชิ้นเล็กมีแนวโน้มการให้น้ำนมในปริมาณที่สูงกว่า เท่ากับ 19.8, 18.3 และ 18.2 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าส่วนประกอบของน้ำนมมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีไขมัน 4.13, 4.15 และ 4.14% และมีโปรตีน 3.07, 3.10 และ 2.95% ตามลำดับ

นอกจากนี้ Remond *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาถึงวิธีการแปรรูปเมล็ดข้าวโพดที่มีผลต่อการย่อยได้และประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมของโค โดยเปรียบเทียบข้าวโพดที่ได้รับการบีบเมล็ดผ่านลูกกลิ้งในสภาพแห้ง (dry roll corn) กับ ข้าวโพดบด (ground corn) พบว่า โคทั้ง 2 กลุ่มมีการกินได้ไม่แตกต่างกัน คือ 18.1 และ 18.0 กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำนมมีความใกล้เคียงกัน เท่ากับ 21.0 และ 21.8 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของน้ำนม พบว่า ทั้งไขมันและโปรตีนก็ไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีไขมัน 3.97 และ 3.98% และมีโปรตีน 3.10 และ 3.13% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่า ปริมาณแลคโตสของกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดบดสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (1,057 vs 1,016 กรัม/วัน, P<0.01)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved