บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

1. ข้าวโพด และกระบวนการผลิตข้าวโพดนึ่งบีบแตก

1.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้าวโพด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ซีเมส์ (*Zea mays*) เป็นพืชตระกูลเดียวกับหญ้า มีลำต้นสูงโดยเฉลี่ย 2.2 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น 0.5-2.0 นิ้ว ถิ่นกำเนิด คือ แถบอเมริกาใต้ โดยได้มีการขุดพบซังข้าวโพดและซากของต้นข้าวโพดที่กลายเป็นฟอสซิลใกล้แม่น้ำในเม็กซิโก และแพร่หลายจนปัจจุบันนิยมปลูกทั่วไปในแถบอเมริกา แคนาดา ฯลฯ โดยสามารถปลูกได้ในสภาพที่ภูมิอากาศแตกต่างกันมาก ๆ และเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์ เพราะสามารถนำมาเลี้ยงสัตว์ได้ทั้งต้น ใบ และเมล็ด

สำหรับประเทศไทย ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ จัดอยู่ในกลุ่มพืชที่ผลิตเพื่อใช้ภายในประเทศ คนไทยรู้จักนำข้าวโพดมาเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 1 โดย ม.จ.สิทธิพรกฤษดากร ได้นำข้าวโพดพันธุ์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์มาปลูกและทดลองเลี้ยงสัตว์ ซึ่งในขณะนั้นเป็นที่รู้จักกันน้อย จนกระทั่งหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 การใช้ข้าวโพดเริ่มแพร่หลายขึ้นในหมู่นักวิชาการ ทั้งนี้เนื่องจาก หลวงสุวรรณวาจกกสิกิจได้นำการเลี้ยงไก่เชิงการค้ามาเริ่มสาธิต และใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานเพื่อกระตุ้นให้ประชาชนปฏิบัติตาม ผู้เลี้ยงไก่จึงรู้จักใช้ข้าวโพดมากขึ้นกว่าเดิม แต่เนื่องจากระยะนั้นข้าวโพดมีราคาสูงและหายาก จึงใช้เป็นเพียงส่วนประกอบของอาหาร ซึ่งมีรำและปลายข้าวเป็นส่วนใหญ่ แต่ในปัจจุบันผู้เลี้ยงสัตว์รู้จักและใช้ข้าวโพดกันมากขึ้น แม้ประเทศไทยจะมีการปลูกและผลิตเมล็ดข้าวโพดในปีหนึ่ง ๆ เป็นปริมาณมากแต่ยังไม่พอเพียง โดยผลผลิตร้อยละ 97 ของผลผลิตทั้งประเทศหรือประมาณ 4 ล้านตันนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งมีอัตราการขยายตัวร้อยละ 3.73 ต่อปี ในปีเพาะปลูก 2549/50 ไทยมีเนื้อที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งประเทศ 6.404 ล้านไร่ ลดลงจากปี 2548 ประมาณ 202,801 ไร่ หรือลดลงร้อยละ 3.07 แต่ผลผลิตรวมทั้งประเทศ 3.905 ล้านตัน เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากปี 2548 ร้อยละ 3.74 การที่เนื้อที่เพาะปลูกลดลงนั้นเนื่องจากเกษตรกรในแหล่งผลิตที่สำคัญปรับเปลี่ยนไปปลูกมันสำปะหลัง อ้อย และยางพารา ซึ่งมีราคาจูงใจและให้ผลตอบแทนที่ดีกว่า สำหรับแหล่งผลิตที่สำคัญมีดังนี้ ภาคเหนือ ได้แก่ เชียงราย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พะเยา ลำพูน แพร่ น่าน และพิษณุโลก โดยจะปลูกในพื้นที่เดิมและปลูกแซมสวนยาง ภาคเหนือตอนล่าง ได้แก่ กำแพงเพชร นครสวรรค์ เพชรบูรณ์ เกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกมันสำปะหลังและอ้อย ยกเว้นจังหวัดตากมีพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้น โดยปลูกทดแทนในพื้นที่ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แหล่งปลูกใหญ่ ได้แก่ เลย ชัยภูมิ และนครราชสีมา ซึ่งเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกมันสำปะหลังในเกือบทุกจังหวัดเช่นเดียวกัน ส่วนภาคกลางแหล่งปลูกใหญ่อยู่ที่ ลพบุรี สระบุรี และสระแก้ว ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่ปรับเปลี่ยนไปปลูกมันสำปะหลังเช่นเดียวกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับการที่ผลผลิตต่อไร่และผลผลิตในภาพรวมของปี 2549 เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนเพียงพอตลอดช่วงระยะเวลาการปลูกประกอบกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความต้านทานโรคสูงขึ้น จึงให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (พิเชษฐ์, 2550)

1.2 ชนิดของข้าวโพด

ข้าวโพดที่ใช้เลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ มีเมล็ดตั้งแต่สีขาว สีเหลือง ไปจนถึงสีแดง ขนาดของเมล็ดขึ้นอยู่กับพันธุ์ โดยทั่วไปมีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.5 – 0.8 ซม. ก่อนนำมาเลี้ยงสัตว์จึงต้องนำมาบดก่อนเพื่อช่วยให้การผสมง่ายขึ้นและสัตว์มีการย่อยได้ดีขึ้น โดยทั่วไปข้าวโพดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม (เกศินี, 2550) คือ

1. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ หรือข้าวโพดไร่ (Field corn) ที่รู้จักในปัจจุบันมีข้าวโพดหัวบุ๋ม (Dent corn) และข้าวโพดหัวแข็ง (Flint corn) ซึ่งเป็นการเรียกตามลักษณะของเมล็ด

ข้าวโพดหัวบุ๋มหรือหัวบุบ ข้าวโพดชนิดนี้เมื่อเมล็ดแห้งแล้วตรงส่วนหัวบนสุดจะมีรอยบุ๋มลงไป ซึ่งเป็นส่วนของแป้งสีขาว (White starch) ข้าวโพดชนิดนี้นิยมปลูกกันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะแถบคอร์นเบลท์ (Corn belt) สีของเมล็ดมีตั้งแต่ขาวไปจนถึงเหลืองมีโปรตีนน้อยกว่าข้าวโพดหัวแข็ง

ข้าวโพดหัวแข็ง ข้าวโพดชนิดนี้ส่วนบนสุดของเมล็ดมักมีสีเหลืองจัดเมื่อแห้งจะแข็งมาก ภายในเมล็ดมีสารที่ทำให้ข้าวโพดมีสีเหลืองจัด เป็นสารให้สีชื่อ คริปโตแซนทีน (Cryptoxanthine) สารนี้เมื่อสัตว์ได้รับเข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอได้ นอกจากนี้ยังช่วยให้ไข่แดงมีสีเข้ม ช่วยให้ไก่มีผิวหนัง ปาก เนื้อ และแข้งสีเหลืองเข้ม เป็นที่นิยมของตลาด

2. ข้าวโพดหวาน (Sweet corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน ไม่มีการแปรรูป เมล็ดมักจะใส และเหี่ยวเมื่อแก่เต็มที่ เพราะมีน้ำตาลมาก ก่อนสุกจะมีรสหวานมากกว่าชนิดอื่นๆ จึงเรียกข้าวโพดหวาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ข้าวโพดคั่ว (Pop corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทานโดยนำมาคั่วให้เม็ดแตก บานออก แต่ไม่มีการแปรรูป เมล็ดค่อนข้างแข็ง และมีขนาดแตกต่างกัน ในต่างประเทศถ้าเมล็ดมีลักษณะแหลม เรียกว่า ข้าวโพดข้าว (Rice corn) ถ้าเมล็ดกลม เรียกว่า ข้าวโพดไข่มุก (Pearl corn)

4. ข้าวโพดแป้ง (Flour corn) เมล็ดมีหลายสี เช่น ขาว (ขุ่นๆ หรือปนเหลืองนิดๆ) หรือสีน้ำเงินคล้ำ หรือมีทั้งสีขาวและสีน้ำเงินคล้ำในฝักเดียวกัน เนื่องจากกลายพันธุ์ พวกที่มีเมล็ดสีคล้ำและพวกกลายพันธุ์ เรียกว่า ข้าวโพดอินเดียนแดง (Squaw corn) หรือเรียกได้อีกชื่อว่าข้าวโพดพื้นเมือง (Native corn) พวกข้าวโพดสีคล้ำนี้จะมีไนอาซีน (Niacin) สูงกว่าข้าวโพดที่มีแป้งสีขาว

5. ข้าวโพดเทียน (Waxy corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทานจะมีแป้งที่มีลักษณะเฉพาะ คือ นุ่ม เหนียว เพราะในเนื้อแป้งมีสัดส่วนของอะไมโลเพคติน (Amylopectin) อยู่มาก ในขณะที่ข้าวโพดอื่นๆ มีแป้ง อะไมโลส (Amylose) อยู่สูง จึงทำให้แป้งมีลักษณะค่อนข้างแข็ง

1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพด

กองอาหารสัตว์ (2551ก) ได้รายงานว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความชื้นประมาณ 13 % โปรตีนประมาณ 8-9 % ไขมันประมาณ 4 % มีเยื่อใยประมาณ 2.50 % และมีเถ้าประมาณ 1.30 % สอดคล้องกับ จินดา (2539) ที่รายงานว่า เมล็ดข้าวโพดที่ใช้เลี้ยงสัตว์ควรจะมีความชื้นไม่เกิน 13 – 14 % มีวัตถุแห้ง 85.0 % โปรตีนรวม 8.7 % ไขมัน 3.9 % เยื่อใย 6.2 % เถ้า 1.20 % NFC 60.2 % และ TDN 80.1 % ถ้าหากมีความชื้นสูงกว่านี้จะทำให้เกิดเชื้อราได้ คุณค่าทางอาหารของเมล็ดข้าวโพดจัดอยู่ในเกณฑ์สูง โดยส่วนใหญ่จะเป็นแป้งซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์ มีเยื่อใยต่ำ มียอดโภชนะย่อยได้ในปริมาณที่สูง แต่มีโปรตีนในระดับต่ำ และเป็นโปรตีนคุณภาพต่ำ เพราะมีกรดอะมิโนบางชนิดต่ำกว่าความต้องการของสัตว์ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องเสริมโปรตีนจากแหล่งอื่นลงไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.4 ลักษณะการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

พันทิพา (2547) ได้อธิบายถึงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ว่าใช้ได้หลายรูปแบบทั้งเป็นอาหารหยาบและอาหารข้น โดยเฉพาะการใช้ในรูปอาหารข้นใช้ได้ทั้งเมล็ด เพื่อเป็นแหล่งของพลังงานและแหล่งเสริมโปรตีน ลักษณะการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แบ่งออกได้ดังนี้ คือ

1. เมล็ดข้าวโพดบด (Ground corn, Cracked corn หรือ Corn meal) โดยปกติหมายถึงเมล็ดข้าวโพดที่สีออกจากฝักแล้วนำมาบด หรือทำให้แตกออก การบดไม่ควรบดให้ละเอียดเกินไป เพราะสัตว์ไม่ชอบกิน ข้าวโพดที่บดแล้วจะเก็บไว้ได้นานต้องมีความชื้นไม่เกิน 12 % ข้าวโพดบด

ผสมอาหารได้ดีถึง 70 – 80 %โดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ ถือว่าเป็นอาหารชั้นดีมักนิยมบดใช้เองในฟาร์ม

ในต่างประเทศ ข้าวโพดบดจากกรรมวิธีการผลิตในปัจจุบัน หมายถึงข้าวโพดที่แยกเอาส่วนของเปลือกนอกของเมล็ด (Hull) และส่วนจุดงอกหรือคัพภะ (Germ) ของเมล็ดออกไปแล้วนำมาบด เมล็ดข้าวโพดบดไม่ควรมีสิ่งแปลกปลอมมากเกิน 4 % สิ่งที่มักปนมาคือ ซังและเปลือกข้าวโพด

สำหรับการเก็บเมล็ดข้าวโพด จะต้องเก็บในลักษณะที่เมล็ดแห้งจริงๆ เมล็ดข้าวโพดนิยมใช้เป็นอาหารสุกร โค สัตว์ปีก ม้า ล่อ และแพะ-แกะ และนอกจากนี้ใช้หมักทำแอลกอฮอล์ และประกอบเป็นอาหารคน ทำแป้งข้าวโพด สกัดเอาน้ำมันข้าวโพด ทำน้ำหวานจากข้าวโพด น้ำตาล หรือน้ำส้มจากข้าวโพด หรือบริโภคในรูปข้าวโพดทั้งฝัก หรือข้าวโพดคั่ว นอกจากจะนิยมรับประทานโดยไม่แปรรูปแล้วอาจนำมาทำเป็นเครื่องกระป๋อง หรือต่างประเทศนิยมแช่แข็งเก็บไว้บริโภค คุณค่าทางโภชนะของข้าวโพดที่ปลูกในอเมริกา ค่อนข้างจะแปรปรวนขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสถานที่ปลูก ข้าวโพดมีวิตามินเอสูงมาก แต่มีวิตามินบีรวมต่ำ ก่อนจะบดข้าวโพดต้องเลือกสิ่งแปลกปลอมออก

2. ข้าวโพดบดทั้งฝักโดยแกะเปลือกออกแล้ว (Corn and cob meal หรือ Ground ear corn) โดยปกติจะมีซังติดมาตามธรรมชาติประมาณ 20 % เป็นอาหารที่เบาฟ่าม มีกากมากขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวโพดบด เหมาะสำหรับแม่โค พ่อพันธุ์โคเนื้อ โคนม ในสุกรอุ้มท้องเพื่อกันอ้วน แต่ไม่เหมาะสำหรับสุกรขุน อย่างไรก็ตามซังข้าวโพดก็ยังมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าฟางข้าว แม้ว่าโปรตีนจะย่อยค่อนข้างยาก เนื่องจากซังข้าวโพดย่อยยาก การบดข้าวโพดทั้งฝัก ถ้าบดละเอียด หมายถึงข้าวโพดต้องสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ได้ทั้งหมด และผ่านเบอร์ 10 ได้ 50 % บางครั้งจะมีการบดข้าวโพดทั้งฝักโดยไม่แกะเปลือกออก กรณีนี้จะมีเยื่อใยมากขึ้น คุณค่าทางอาหารจะน้อยกว่าที่กล่าวมา

3. ข้าวโพดทั้งฝักรวมเปลือก อาจให้สัตว์กินโดยเอาเปลือกออกหรือไม่ก็ตาม และมีอาหารโปรตีน วิตามิน แร่ธาตุใส่รางต่างหาก ข้าวโพดที่ไม่ได้แกะเปลือกออกนี้จะป้องกันตัวเพลี้ยได้ดี ข้าวโพดทั้งฝักที่เก็บในโรงเก็บควรมีความชื้นไม่เกิน 14 % ซึ่งในระยะที่ปลิดฝักจะมีความชื้นตั้งแต่ 16-30 % การให้ข้าวโพดทั้งฝักใช้ได้ดีในพวกสัตว์เคี้ยวเอื้อง

4. ซังข้าวโพดบด (Cob meal หรือ Ground corn cob) หมายถึง ฝักข้าวโพดที่กะเทาะเมล็ดออกแล้วนำมาบดเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคนม หรือพ่อโค แม่พันธุ์โคเนื้อ เพื่อป้องกันไม่ให้สัตว์เคี้ยวเอื้องอ้วนเกินไป และยังช่วยเพิ่มปริมาณไขมันนมให้สูงขึ้น เพราะเป็นอาหารที่มีเยื่อใยสูงแต่ยัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีคุณค่าสูงกว่าฟางข้าว นิยมใช้เมื่อขาดแคลนหญ้าสด แต่เนื่องจากซังข้าวโพดย่อยยาก ดังนั้น ก่อนนำมาเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องจะต้องผ่านกรรมวิธี หรือเสริมวัสดุอื่น เช่น

ก. บดจนละเอียด

ข. มีอาหารเสริมโปรตีนอย่างเพียงพอ (เพื่อช่วยเพิ่มจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร)

ค. ใช้อาหารที่มีแป้งที่ละลายได้หรือย่อยง่ายผสมด้วย

ง. เสริมแร่ธาตุโดยเฉพาะฟอสฟอรัส ซึ่งสัตว์มักขาดหากได้รับซังข้าวโพดบดใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องได้แต่ไม่เหมาะกับสุกร ไก่ นอกจากนำมาเป็นวัสดุรองพื้นคอก อัตราที่ใช้เลี้ยงวัวได้ผลดีใกล้เคียงกับหญ้าสด คือ 2 กก./ วัน

5. ข้าวโพดบดชนิดหยาบ (Screened cracked corn หรือ Screened corn หรือ Screened corn chop) หมายถึง ข้าวโพดที่ถูกนำมาร่อน เพื่อแยกเอาส่วนที่ละเอียดหรือมีขนาดเล็กออกไป ส่วนที่เหลือจะมีขนาดใหญ่ จึงเรียก สกรีน แครก คอร์น ซึ่งในที่นี้เรียกเป็นข้าวโพดบดชนิดหยาบ ไม่ควรมีสิ่งแปลกปลอมเกิน 4 %

6. ปลายข้าวโพด (Corn grits หรือ Hominy grits) เป็นส่วนที่แข็งมากของเมล็ดขนาดกลาง ซึ่งอาจมีส่วนของรำและบริเวณที่งอกเป็นต้นข้าวโพด (Germ) ปนมาบ้างเล็กน้อย หรือไม่มีเลย แป้งส่วนที่แข็งมากนี้มีสีเหลืองและสีขาวหรืออย่างใดอย่างหนึ่ง มีไขมันไม่เกิน 4% ถ้าเมล็ดสีขาวจะเรียก (White corn grits) ถ้าเป็นสีเหลืองเรียก (Yellow corn grits)

7. ผลพลอยได้จากการทำแป้งข้าวโพด ในการทำแป้งข้าวโพดจะมีผลพลอยได้หลายชนิดที่มีโปรตีนสูง จึงเป็นแหล่งโปรตีนอีกชนิดหนึ่ง ดังเช่น

ก. โฮมินีฟีด (Hominy feed) เป็นส่วนผสมของรำข้าวโพด ส่วนของเจิร์มและส่วนที่เป็นแป้ง ไม่ว่าจะเป็นสีขาวหรือเหลือง ซึ่งเป็นผลิตผลข้างเคียงจากการผลิต คือเมล็ดข้าวโพดบดที่ขัดเอาส่วนเปลือกผิว และเจิร์มออกไปแล้ว ผู้คนนิยมนำไปต้มบริโภค เรียก (Table corn meal) โฮมินีฟีดนี้จะมีไขมันอยู่ไม่น้อยกว่า 4%ได้มีการทดลองพบว่ามีไขมันอยู่ตั้งแต่ 4.3-7.8 % ค่า ME ตั้งแต่ 2618-3366 Kcal ME/kg. ที่ความชื้น 10% ถ้าใช้สารเคมีสกัด (Solvent extracted hominy feed) จะให้พลังงานต่ำกว่านี้ทำให้มีคุณค่าทางอาหารน้อยลง มีกรดไขมันลิโนเลอิกมากพอสมควร สามารถใช้แทนข้าวโพดในสูตรอาหารปศุสัตว์ และใช้แทนเมล็ดธัญพืชในสูตรอาหารสัตว์ปีกได้

ข. คอร์นแพลนท์พัล์พ (Corn plant pulp) เป็นกากข้าวโพดที่ได้จากการคั้นเอาน้ำข้าวโพดออกไปแล้ว นำมาทำให้แห้ง ส่วนน้ำข้าวโพดนำไปทำน้ำเชื่อมหรือน้ำตาลต่อไป

ค. ฮีทโปรเสสคอร์น (Heat process cord) คล้ายข้าวโพดบดทั้งฝัก แต่ชื่อเรียกต่างกันตามการทำ โดยนำข้าวโพดทั้งฝักยังไม่แกะเปลือกมานึ่งภายใต้ความดัน หรืออบให้แห้งด้วยความร้อนโดยตรง แล้วบดหรืออัดเม็ด หรือทับเป็นแผ่น แบนๆ เช่น corn flake

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.5 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดอาหารสัตว์

คุณภาพของข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นสิ่งที่สำคัญ Brooker *et al.*, (1982) ได้สรุปเกณฑ์กำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดไว้ดังนี้ คือ

1. คุณภาพของโปรตีนในส่วน germ ของข้าวโพดต้องเหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ เพราะ 22 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในข้าวโพดจะมาจาก germ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณ germ ในเมล็ดจะเป็นการเพิ่มคุณภาพของข้าวโพดด้วย

2. ข้าวโพดควรมีโปรตีนที่ชื่อ zein อยู่น้อย เพราะ zein มี lysine และ tryptophan ต่ำ การที่ไม่มี zein อยู่จะทำให้ปริมาณของกรดอะมิโน 2 ตัวนี้เพิ่มขึ้น

3. เมล็ดข้าวโพดอาหารสัตว์จะต้องไม่มีความชื้นสูง มีเปอร์เซ็นต์แตกเสียหายและถูกทำลายต่ำ มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูง มีเปอร์เซ็นต์แป้งและไขมันสูง มีคุณภาพของโปรตีนสูง ไม่มีมอดและแมลงทำลาย และต้องมีคุณค่าทางอาหารสูง

1.6 ปัจจัยที่ช่วยในการแปรรูปเมล็ดข้าวโพด

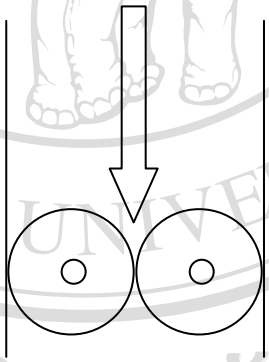
ปัจจัยที่ช่วยในการแปรรูปเมล็ดข้าวโพดมีหลายชนิด โดยทั่วไปนิยมใช้วิธีการทางฟิสิกส์ เช่น การบด บีบ ใช้ความร้อน และเพิ่มความชื้น ดังมีรายงานว่าการเพิ่มความชื้นให้กับเมล็ดข้าวโพดโดยการแช่น้ำ 12-24 ชั่วโมงจะช่วยทำให้ endosperm และ waxy coat นิ่มขึ้น endogenous enzyme ภายในเมล็ดจะเริ่มทำงาน มีผลทำให้ soluble protein เพิ่มขึ้นและเมล็ดมีความนุ่มมากขึ้น ในระหว่างที่แช่น้ำเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำจนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับความชื้นในบรรยากาศ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) การเพิ่มอุณหภูมิโดยการอบด้วยไอน้ำ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-20 นาที จะทำให้แป้งสุกและเกิด gelatinization เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ น้ำส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมเข้าไปในส่วนที่เป็น amorphous area ของเม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งพองขยายใหญ่ขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงถึงจุดๆ หนึ่งที่ทำให้ hydrogen bond ที่เชื่อมต่อโมเลกุลของแป้งเข้าด้วยกันแตกออกและกลับคืนสู่สภาพเดิมไม่ได้ เรียกว่า gelatinization ซึ่งจะมีผลดีต่อการตอบสนองต่อเอนไซม์ชนิดต่างๆ ที่เข้ามาย่อย (เทอดชัย, 2548) สอดคล้องกับ Mertens (1992) ที่กล่าวว่าโครงสร้างของข้าวโพดที่ผ่านความร้อนจะถูกทำลายและทำให้พันธะแตกออกจากกันทำให้เกิด gelatinization จุลินทรีย์สามารถเข้าย่อยแป้งได้ดีขึ้น สามารถใช้คาร์โบไฮเดรตได้เพิ่มขึ้น อีกทั้งการเพิ่มความร้อนจะทำให้คาร์โบไฮเดรตไหลผ่านของ (by pass carbohydrate)ไปสู่ลำไส้เล็กได้มากขึ้น ทำให้การย่อยได้ในลำไส้เล็กเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้สัตว์ได้รับพลังงานโดยตรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรรมวิธีที่ให้ความร้อน (heat processing) แบบเปียก (wet heat) จะช่วยทำให้การย่อยได้ของข้าวโพดสูงขึ้นโดยมีการย่อยได้ในกระเพาะรูเมนเฉลี่ย 78±12.5% (Armstrong, 1972) สอดคล้องกับ Theurer (1996) ที่กล่าวว่าการแปรรูปข้าวโพดโดยผ่านความร้อนจะทำให้การย่อยได้ของแป้งในกระเพาะรูเมนและลำไส้เล็กดีขึ้น ช่วยให้ตับผลิตกลูโคสเพิ่มขึ้น 16 % และช่วยให้ต่อมน้ำนมดูดซึมกลูโคสเพิ่มขึ้น 18 % รวมทั้ง amino acid nitrogen ดูดซึมเพิ่มขึ้น 42 % ทำให้ปริมาณน้ำนมและโปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้นมากกว่าการเสริมข้าวโพดที่ไม่ได้แปรรูปโดยผ่านความร้อน

1.7 เมล็ดข้าวโพดนึ่งบีบแตก (Steamed cracked corn)

เมล็ดข้าวโพดนึ่งบีบแตก คือ เมล็ดข้าวโพดที่นำไปแช่น้ำและผ่านความร้อนโดยการนึ่งแล้วนำไปบีบให้แตกด้วยเครื่อง roller mill ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลของเมล็ดและแรงกดของ roller ได้ ดังภาพ 2.1 ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดเล็ก หรือใหญ่ต่างกัน การบีบให้เมล็ดข้าวโพดแตกออกแต่ไม่ละเอียด จะทำให้โคสามารถใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าการบดละเอียดซึ่งจะเป็นฝุ่นผงมากเกินไป ทำให้สัตว์ระคายเคืองระบบหายใจได้ องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพดนึ่งบีบแตกจากรายงานต่างๆ แสดงในตาราง 2.1



ภาพ 2.1 การบีบเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่อง roller mill

Figure 2.1 Cracking corn by roller mill

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของวัตถุแห้ง) ของเมล็ดข้าวโพดนึ่งบีบแตกจากรายงานต่างๆ

Table 2.1 Chemical composition (%DM) of steamed cracked corn from different sources

DM	OM	CP	EE	NDF	ADF	NFC	TDN	DE	NEL	Reference
(%)	←			% DM			→	(Mcal/kgDM)		
85.9	84.2	8.3	4.3	11.2	5.9	-	88.3	2.8	1.7	Cunilleras *et al.* (2004)
92.4	90.7	7.8	3.6	11.3	3.2	70.6	-	-	1.9	Delahoy *et al.* (2003)
85.8	84.1	10.4	4.5	7.4	2.2	75.9	-	-	-	Wilkerson *et al,* (1997)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าเมล็ดข้าวโพดนึ่งบีบแตกมีคุณค่าทางโภชนะอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ดังจะเห็นได้จากระดับของโปรตีน ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 7.8 – 10.4 % มีค่า NFC ตั้งแต่ 70.6 – 75.9 % มีค่าโภชนะย่อยได้รวมเท่ากับ 88.3 % มีค่า DE เท่ากับ 2.8 เมกะแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และมีค่า NEL ตั้งแต่ 1.7 – 1.9 เมกะแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

2. ผลของการบีบเมล็ดข้าวโพดให้แตกต่อการย่อยได้ในระบบทางเดินอาหารโคนม

2.1 การย่อยสลายของเมล็ดข้าวโพดบีบแตกในกระเพาะรูเมน

น้ำตาลที่เกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตจะถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนนำไปใช้ประโยชน์ทันที ได้ผลผลิตส่วนใหญ่ คือ VFA, CO_2 และ methane โดยคาร์โบไฮเดรตจะถูกเอนไซม์ α - amylase ของจุลินทรีย์ย่อยตรงตำแหน่ง α - 1,4 - glycosidic linkage ได้ maltose และ oligosaccharides ที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นรอยต่อตรงตำแหน่ง α - 1,6 - glycosidic linkage ของกิ่งก้านสาขาของ amylopectin ซึ่งจะถูกย่อยต่อโดยเอนไซม์ oligo α - 1,6 - glucosidase แล้ว maltose จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ maltase และ maltose phosphorylase ได้เป็น glucose ซึ่งจะเปลี่ยนเป็น pyruvate และ VFA ตามลำดับ (เทอดชัย, 2548) คาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยเป็นกรดไขมันระเหยได้ โดยเฉพาะกรด propionic และ butyric การแปรรูปข้าวโพดโดยการนึ่งแล้วบีบแตกก่อนที่จะนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ จะทำให้อัตราส่วนของกรด propionic : butyric เพิ่มขึ้น (Armstrong, 1968, Armstrong and Presscott, 1971; อ้างโดย เทอดชัย, 2548)

ในขณะเดียวกันการเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์หรือการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ก็ขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่ถูกหมักย่อยในกระเพาะรูเมนด้วย การหมักย่อยข้าวโพดบีบแตกในบริเวณนี้จะให้ผลผลิตที่เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ ซึ่งถ้ามีการย่อยสลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้อยเกินไปจะทำให้ได้พลังงานสำหรับจุลินทรีย์ลดน้อยลงด้วย ดังนั้นการแปรรูปข้าวโพดที่ช่วยทำให้เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของแป้งเพิ่มขึ้น เช่น การนึ่งจะมีผลให้ได้แหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับ Ekinci and Broderick (1997) ที่รายงานว่าข้าวโพดที่ได้ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนจะช่วยทำให้การย่อยได้ในกระเพาะรูเมนและลำไส้เล็กมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ช่วยให้จุลินทรีย์สามารถใช้ NPN ในการสังเคราะห์ microbial protein เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Reis and Combs (2000) ที่รายงานว่าข้าวโพดนึ่งบีบแตกที่ผ่านความร้อนแล้วบีบด้วยเครื่อง roller mill สามารถย่อยได้ดีในกระเพาะรูเมนและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ ทำให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีการแปรรูปข้าวโพดควรทำในระดับที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มพลังงานจากส่วนที่ขาดแคลนจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้าง (structural carbohydrate) ให้อยู่ในระดับที่พอเพียงต่อการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่านั้น แต่ถ้ามีการแปรรูปในระดับที่ทำให้แป้งถูกย่อยเป็น VFA มากเกินความต้องการแล้ว VFA จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายและนำไปสร้างเป็นกลูโคสใหม่โดยอาศัยขบวนการ gluconeogenesis ซึ่งจะทำให้พลังงานที่ได้มีปริมาณน้อยกว่าการดูดซึมในรูปของกลูโคสจากลำไส้เล็กโดยตรง (เทอดชัย, 2548)

2.2 การย่อยเมล็ดข้าวโพดบีบแตกในลำไส้เล็ก

เมล็ดข้าวโพดบีบแตกที่ผ่านมาสู่ลำไส้เล็กส่วนใหญ่จะเป็นแป้งที่เหลือจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน ดังนั้นปริมาณข้าวโพดบีบแตกที่เข้ามาในบริเวณนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสลายของแป้งภายในกระเพาะรูเมนเป็นสำคัญ การย่อยได้ของข้าวโพดบีบแตกในบริเวณนี้เกิดจากเอนไซม์ของตัวสัตว์เอง ได้แก่ α - amylase, maltase และ oligo – 1, 6 – glucosidase จากลำไส้เล็กและตับอ่อน นอกจากนี้ยังพบเอนไซม์ glucoamylase ที่ผลิตจากผนังลำไส้ของโค - กระบือ (bovine) สามารถย่อยแป้งให้เป็นกลูโคสได้โดยตรง

การย่อยเมล็ดข้าวโพดบีบแตกในลำไส้เล็กนี้จะได้กลูโคส ซึ่งสามารถดูดซึมไปใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยตรงสำหรับสัตว์ ซึ่งมีความสำคัญมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์ที่อยู่ในช่วงเวลาที่ต้องการพลังงานปริมาณมากในการสร้างผลผลิต เช่น โคนมที่อยู่ในช่วงการให้น้ำนมสูงสุด (peak of lactation) หรือโคนมที่ให้น้ำนมปริมาณมาก (high yielding cow) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการนำเอาพลังงานไปใช้แล้วปรากฏว่า การนำพลังงานไปใช้ประโยชน์โดยการดูดซึมกลูโคสจากลำไส้เล็กมีประสิทธิภาพสูงกว่าการย่อยสลายข้าวโพดบีบแตกภายในกระเพาะรูเมนถึง 42 % (Owens *et al.*, 1986) จึงทำให้มีการสะสมพลังงานในร่างกาย (energy retention) ดีขึ้น สอดคล้องกับ Theurer *et al.* (1997) ที่กล่าวว่าการย่อยได้ของแป้งที่ลำไส้เล็กจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการย่อยสลายที่กระเพาะรูเมน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การย่อยสลายเมล็ดข้าวโพดบีบแตกในลำไส้ใหญ่

ขบวนการย่อยสลายข้าวโพดบีบแตกและผลผลิตที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะคล้ายคลึงกับที่เกิดขึ้นภายในกระเพาะรูเมน แต่จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะไม่ถูกร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ มันจะถูกขับออกจากร่างกายพร้อมกับมูล เนื่องจากจุลินทรีย์มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณที่สูง ดังนั้นโปรตีนที่ถูกขับออกมาในมูลส่วนหนึ่งจึงมีที่มาจากจุลินทรีย์เหล่านี้ด้วย ในกรณีที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับข้าวโพดบีบแตกเป็นจำนวนมากจะทำให้การย่อยสลายภายในกระเพาะรูเมนถูกจำกัดอยู่ในระดับหนึ่ง ทำให้มีข้าวโพดบีบแตกเดินทางเข้ามาในลำไส้เล็กเป็นจำนวนมากขึ้น และถึงแม้ว่าการย่อยและการดูดซึมข้าวโพดบีบแตกในรูปของกลูโคสจากลำไส้เล็กจะมีมากก็ตาม แต่ก็จะมีข้าวโพดบีบแตกเข้าไปถึงลำไส้ใหญ่ในปริมาณที่สูงด้วย ซึ่งจะเป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดีร่วมกับแหล่งของไนโตรเจนที่มาจาก endogenous protein ได้แก่ ยูเรีย ผนังของทางเดินอาหารที่สลายตัวออกมา และเอนไซม์บางชนิด ทำให้มีจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะถูกขับถ่ายออกนอกร่างกาย ทำให้ปริมาณโปรตีนที่ถูกขับถ่ายออกมาในมูลสูงตามไปด้วย แต่จะทำให้ปริมาณโปรตีนที่ถูกขับออกมาในปัสสาวะมีน้อยลง เนื่องจากไนโตรเจนส่วนหนึ่งถูกนำไปสร้างจุลินทรีย์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โปรตีนจากจุลินทรีย์ที่ถูกขับออกมาพร้อมกับมูลในปริมาณที่มากนี้จะทำให้เกิด associative effect ต่อการคำนวณค่าการย่อยได้ของโปรตีน ทำให้ได้ค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น (เทอดชัย, 2548)

ปริมาณการย่อยสลายข้าวโพดบีบแตกในลำไส้ใหญ่พบว่ามีสูงถึง 15 % ของที่ถูกย่อยทั้งหมดในร่างกาย หรือ 13% ของปริมาณข้าวโพดบีบแตกทั้งหมดที่สัตว์ได้รับซึ่งเป็นการสูญเสียประโยชน์ส่วนหนึ่งในรูปของจุลินทรีย์ที่ถูกขับถ่ายออกไปพร้อมกับมูล ถึงแม้ว่ากรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งจะสามารถถูกดูดซึมในบริเวณนี้ก็ตาม (Hoover, 1978)

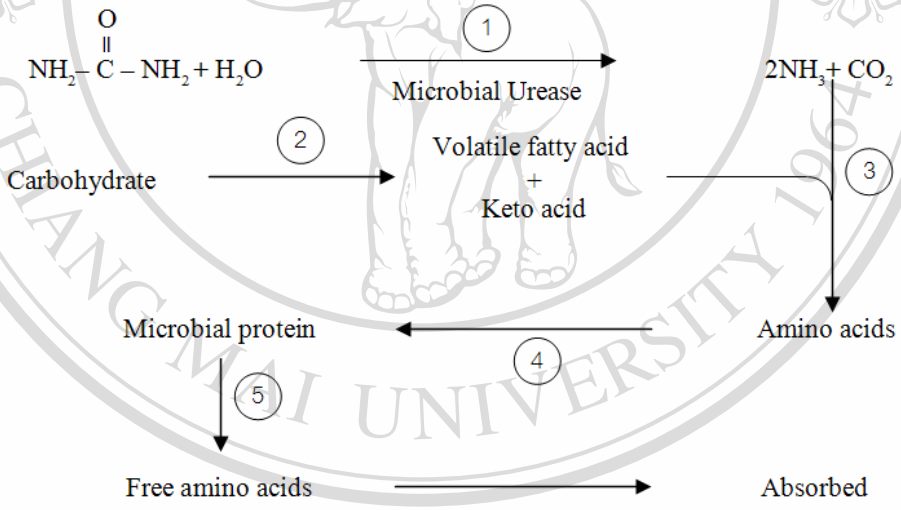
จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า การนำธัญพืชที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบอยู่เป็นจำนวนมากมาใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องควรจะมีกรรมวิธีที่ทำให้แป้งถูกย่อยได้มากที่สุด และสิ้นสุดภายในขอบเขตของลำไส้เล็ก โดยมีการนำเอาพลังงานไปใช้ประโยชน์ทั้งภายในกระเพาะรูเมน และลำไส้เล็กได้อย่างสมบูรณ์ จึงจะทำให้การใช้แป้งมีประสิทธิภาพสูงสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. การย่อยสลายโปรตีนและยูเรียในกระเพาะรูเมน

การสลายตัวของโปรตีนแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกจะเกิดขบวนการ proteolysis แยกรอยต่อของโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธี hydrolyse ตรง peptide bond ทำให้ได้ peptide และ กรดอะมิโนบางส่วนออกมาก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไปที่เป็นการสลายตัวของกรดอะมิโนโดยขบวนการ deamination ได้เป็นกรดอินทรีย์ เช่น α - keto acid และแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน นอกเหนือจากโปรตีนส่วนหนึ่งที่ได้จากการรวมตัวกันของกรดอะมิโนจากอาหารโดยตรง กรดอะมิโนบางส่วนจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะ รูเมน

ส่วนการย่อยสลายของยูเรียในกระเพาะรูเมนเกิดจากเอนไซม์ urease จากแบคทีเรียซึ่งจะเกิดอย่างรวดเร็วได้แอมโมเนีย จากนั้นแอมโมเนียจะถูกจุลินทรีย์นำไปทำปฏิกิริยากับ keto acid ที่ได้จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต กลายเป็นกรดอะมิโนซึ่งจะถูกสร้างเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์แล้วถูกย่อยและดูดซึมต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.2



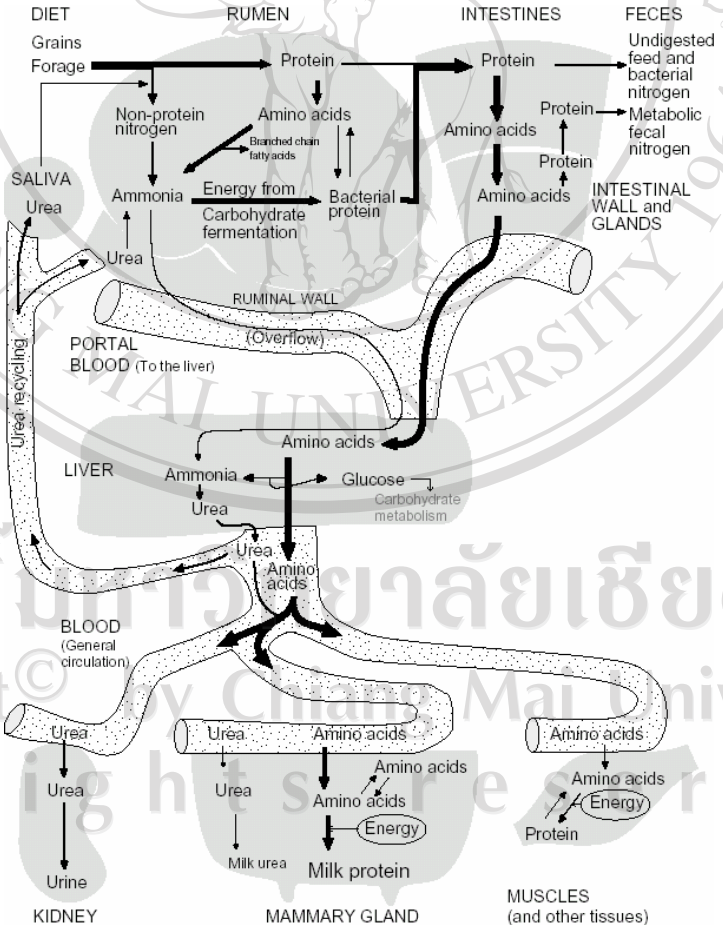
ภาพที่ 2.2 การสลายยูเรียและการสร้างโปรตีนในทางเดินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (บุญล้อม, 2546)

Figure 2.2 Degradation of urea and protein synthesis in ruminant GI tract (Boonlom, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การที่แอมโมเนียจะถูกนำมาสร้างโปรตีนได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับอัตราการสลายตัวของยูเรียไปเป็นแอมโมเนียและอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่สลายตัวได้สูงเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ (บุญล้อม, 2546)

แอมโมเนียที่ไม่ได้ถูกนำไปสังเคราะห์ microbial protein จะถูกดูดซึมผ่านกระเพาะรูเมนเข้าสู่ portal vein แล้วส่งไปยังตับ ซึ่งยูเรียที่เกิดขึ้นจะกระจายไปตามระบบไหลเวียนของร่างกายจนอยู่ในสมดุล บางส่วนจะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ และบางส่วนจะถูกนำกลับเข้ามาในกระเพาะรูเมนอีกครั้งผ่านทางน้ำลายรวมทั้งการซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนด้วย (Staples *et al*., 1992) ในขณะที่บางส่วนจะถูกดูดซึมเข้าสู่เต้านมและผ่านไปเป็นยูเรียในน้ำนม (milk urea nitrogen, MUN) (Mason, 2003) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ถ้าความเข้มข้นของแอมโมเนียและ pH ในกระเพาะรูเมนมีค่าสูงจะมีการดูดซึมแอมโมเนียเข้าสู่กระแสเลือดมาก แต่ถ้ากระเพาะมี pH ต่ำจะทำให้การดูดซึมแอมโมเนียเป็นไปได้ช้ากว่า (เทอดชัย, 2548)



ภาพที่ 2.3 วัฏจักรของยูเรียและการเกิดยูเรียในน้ำนม

Figure 2.3 Urea cycle and its appearance in milk (Mason, 2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ความสัมพันธ์ระหว่าง Blood Urea Nitrogen (BUN) กับ Milk Urea Nitrogen (MUN)

ยูเรียจะซึมผ่านจากเลือดไปยังเต้านมอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากการรีดนม ความเข้มข้นของยูเรียในน้ำนมจะมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของยูเรียในเลือด เมื่อความเข้มข้นของ BUN สูงขึ้น ค่า MUN ก็จะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นความเข้มข้นของ MUN จึงสะท้อนหรือบ่งชี้ค่าความเข้มของ BUN ได้มากกว่า 12 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำนมถูกสร้างและสะสมอยู่ในต่อมสร้างน้ำนมตลอดเวลา ระดับความเข้มข้นของ MUN มีค่าอยู่ระหว่าง 83 – 98 % ของความเข้มข้น BUN (Hutjens, 2003)

Broderick (2003) รายงานว่า ความเข้มข้นของ MUN มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับความเข้มข้นของ BUN ระดับโปรตีนในอาหาร (ซึ่งสามารถใช้ในการประมาณค่าการย่อยได้) ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (ซึ่งเป็นตัวชี้วัดระดับไนโตรเจนในน้ำนมและไนโตรเจนที่ได้รับจากอาหาร) และระดับแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน โดยค่าสหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.743, 0.727, 0.545 และ 0.429 ตามลำดับ

ระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนเป็นตัวบ่งชี้ถึงความแตกต่างของกระบวนการหมักอาหารโปรตีน เมธา (2540) รายงานว่าระดับที่เหมาะสมของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนคือ 10 – 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนยังมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต และการเพิ่มขึ้นของระดับยูเรียในเลือดด้วย คือ หากแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนสูง ระดับยูเรียในเลือดก็จะสูงตามไปด้วย สอดคล้องกับ Pimpa *et al.* (1996) ที่ได้ศึกษาผลของระดับแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนต่อระดับของ BUN โดยการให้ $NH_4 – HCO_3$ ที่ระดับ 0, 150, 300, 450 และ 600 g/d พบว่า การให้ $NH_4 – HCO_3$ ในปริมาณที่สูง จะทำให้ระดับของ $NH_3 – N$ และ pH ในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น รวมทั้งระดับ BUN ก็สูงขึ้นด้วย ดังตารางที่ 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 ผลของ $NH_4 - HCO_3$ ต่อความเข้มข้นของ $NH_3 - N$, pH ในกระเพาะรูเมน และค่า BUN

Table 2.2 Effect of $NH_4 - HCO_3$ on $NH_3 - N$, pH in rumen and BUN

	$NH_4 - HCO_3$ feeding level (g/d)				
	0	150	300	450	600
Rumen fluid					
$NH_3 - N$ (mg/dl)	7.1	8.7	13.6	17.6	34.4
pH	6.5	6.5	6.2	6.4	6.7
Blood					
BUN (mg/dl)	13.0	17.8	23.4	29.3	39.3

ที่มา : ดัดแปลงจาก Pimpa *et al.* (1996)

นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนในอาหารยังช่วยเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมน เพิ่มระดับยูเรียไนโตรเจนในเลือด (BUN) และเพิ่มกรดอะมิโนสู่ลำไส้เล็กด้วย จากการรายงานของ ทรงศักดิ์ และคณะ (2541) พบว่า เมื่อระดับโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้นจาก 16 เป็น 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ระดับแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นจาก 11.2 เป็น 12.8 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร สอดคล้องกับ Davidson *et al.* (2002) ที่รายงานว่าเมื่อให้อาหารที่มีโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 16.5 เป็น 19.4 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ระดับแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นจาก 8.4 เป็น 12.1 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร และระดับยูเรียไนโตรเจนในพลาสมา เพิ่มขึ้นจาก 11.7 เป็น 15.6 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

5. ความสัมพันธ์ระหว่าง Blood Urea Nitrogen กับความสมบูรณ์พันธุ์ของโคนม

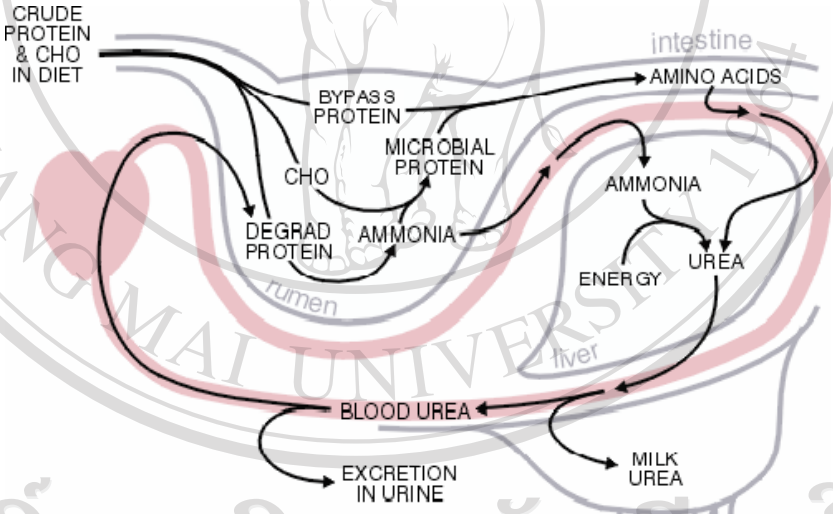
ระดับของยูเรียในร่างกายสามารถวัดได้โดยตรวจหาระดับความเข้มข้นของยูเรียไนโตรเจนในพลาสมา (Plasma Urea Nitrogen : PUN) หรือในซีรั่ม (Serum Urea Nitrogen : SUN) และค่าที่ได้นี้จะใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับยูเรียในเลือด (Blood Urea Nitrogen : BUN) ได้ โดย BUN จะมีระดับสูงสุดหลังจากโคกินอาหารแล้วประมาณ 4 – 6 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวแสดงถึงการได้รับอาหารโปรตีน รวมทั้งสมดุลของโปรตีนกับคาร์โบไฮเดรตในอาหารซึ่งมีผลต่อสมรรถภาพการผลิตและประสิทธิภาพทางการสืบพันธุ์ของโคนมได้

Broderick and Clayton (1997) กล่าวว่าปริมาณยูเรียในเลือด และยูเรียในน้ำนมไม่ได้เป็นผลมาจากโปรตีนส่วนเกินที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนเท่านั้น แต่รวมถึงยูเรียที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีนในเนื้อเยื่อด้วย และบางส่วนถูกใช้เป็นพลังงานทำให้มีแอมโมเนียเป็นผลพลอยได้ ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ไนโตรเจนส่วนนี้จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของยูเรียทั้งหมดในร่างกายรวมทั้งที่ปรากฏในส่วนของ BUN และ MUN ด้วย

จะเห็นได้ว่าระดับความเข้มข้นของยูเรียในเลือดเป็นผลมาจากความเข้มข้นของโภชนะที่อยู่ในอาหาร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องให้สัดส่วนของโปรตีนที่ย่อยสลายได้และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้อย่างถูกต้องและถูกเวลาเพื่อที่จุลินทรีย์จะได้นำแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน เมื่อโคได้รับอาหารที่มี RDP ในระดับสูงแต่ไม่มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายอย่างเพียงพอ จะทำให้ความเข้มข้นของยูเรียในเลือดสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามอาหารที่มี RUP สูงแต่ขาด RDP จะทำให้มีปริมาณแอมโมเนียที่จะนำไปสร้างเป็นโปรตีนจุลินทรีย์ไม่เพียงพอ ทำให้พบยูเรียในเลือดอยู่ในระดับต่ำ นอกจากนี้อาหารที่มีแหล่งโปรตีนไม่เพียงพอก็จะทำให้ค่ายูเรียในน้ำนมที่วัดได้ต่ำเช่นกัน การสังเคราะห์ BUN และ MUN แสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การสังเคราะห์ BUN และ MUN

Figure 2.4 BUN and MUN synthesis (Mason, 2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Nolan *et al.* (1998) กล่าวว่าระดับโปรตีนในอาหารมีผลต่อจำนวนไข่สุก (follicle) ไข่ที่ตก (oocyte) วันที่ตกไข่ วันที่เป็นสัดครั้งแรก โคนมที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงจะเป็นสัดครั้งแรกช้า และมีเปอร์เซ็นต์โคที่เป็นสัดลดลง ทำให้โคเป็นสัดครั้งแรกหลังคลอดช้าออกไปจาก 24 เป็น 27 วัน จำนวนไข่ที่ตกลดลงจาก 24.1 เป็น 12.7 ฟอง การเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารจาก 13 % เป็น 20 % และถ้าเพิ่มระดับโปรตีนจาก 15.5 % เป็น 21.8 % จะทำให้รอบการเป็นสัดเพิ่มขึ้นจาก 26 วัน เป็น 36 วัน อย่างไรก็ตามผู้วิจัยไม่ได้ระบุว่าโปรตีนนี้ประกอบด้วย RDP และ RUP ระดับใด

Butler *et al.* (1996) กล่าวว่าถ้าหากระดับ MUN สูงกว่าปกติจะมีผลต่อประสิทธิภาพทางการสืบพันธุ์ของโคนม โดยระดับ MUN ที่สูงกว่า 16 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร จะทำให้อัตราการตั้งท้องของโคนมในการผสมพันธุ์ครั้งแรกลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ และจะลดลงมากขึ้นตามระดับ MUN ที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังพบว่า เมื่อระดับ MUN ลดต่ำลงกว่า 16 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตรในวันที่ผสมเทียมครั้งแรก จะทำให้อัตราการตั้งท้องสูงขึ้น ซึ่งระดับของ MUN ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 12 – 14 mg/dl ถือว่าค่อนข้างสูง และจะส่งผลเสียต่อระบบสืบพันธุ์ โดยระดับของ MUN ที่ปลอดภัยจะอยู่ในช่วงระหว่าง 8 – 12 mg/dl

Ferguson *et al.* (1993) ยังพบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของ SUN สูงกว่า 10 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร จะมีผลทำให้อัตราการผสมติดและอัตราการตั้งท้องในโคนมลดลง ในทางกลับกันหากระดับของ SUN ลดต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร อัตราการผสมติด และการตั้งท้องจะสูงขึ้น ดังตารางที่ 2.3

ตาราง 2.3 ระดับของ SUN ต่อความสมบูรณ์พันธุ์ของโคนม

Table 2.3 SUN on fertility of dairy cows

SUN (mg/dl)	No. of cow (head)	First breeding (day)	Conception rate (%)	Pregnant rate (%)
<10	62	87.4	54.5	88.7
10 – 14.9	136	87.2	45.6	84.6
15 – 19.9	84	85.1	42.9	85.7

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ferguson *et al.* (1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบว่า SUN ทำให้ฮอร์โมน progesterone ลดลง ในขณะเดียวกันฮอร์โมนพรอสตาแกรนดินจะสูงขึ้นซึ่งจะขัดขวางการพัฒนาของตัวอ่อนและทำให้เกิดการตายของตัวอ่อนในระยะแรก (early embryonic death) รวมทั้งประสิทธิภาพการฝังตัวของตัวอ่อนที่ผนังมดลูกจะลดลง (Elrod and Butler, 1993) สอดคล้องกับ Carroll *et al*. (1988) ที่รายงานว่าระดับยูเรียหรือแอมโมเนียในเลือดที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ตัวรับสัญญาณของ LH บนรังไข่ลดลง ส่งผลให้การสร้างฮอร์โมน progesterone และความสมบูรณ์พันธุ์ของแม่โคลดลง และระดับยูเรียหรือแอมโมเนียที่สูงขึ้นยังเป็นพิษต่อตัวอสุจิ ไข่ และตัวอ่อนในระยะแรกด้วย

6. ความสัมพันธ์ระหว่างอาหารพลังงานและความสมบูรณ์พันธุ์ของโคนม

ปัจจัยที่มีผลต่อระบบสืบพันธุ์ หรือความสมบูรณ์พันธุ์ของโคนม ได้แก่ การตรวจการเป็นสัด การจับเวลาที่เหมาะสมเพื่อการผสมเทียม การจัดการด้านอาหาร โดยเฉพาะสภาวะการขาดอาหารที่ทำให้ขาดพลังงาน (สุณีรัตน์, 2544)

โดยทั่วไประดับพลังงานเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบสืบพันธุ์ ซึ่ง O'Callaghan and Boland (1999) พบว่าสัตว์ที่ได้รับโภชนะต่ำ จะมีการตกไข่ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับโภชนะสูง เพราะมีการหลั่งโกนาโดโทรปินรีลิสซิ่งฮอร์โมน (gonadotropins releasing hormone, GnRH) และฟอลลิเคิลสติมูเลติ่งฮอร์โมน (follicle stimulating hormone, FSH) ลดลง เป็นผลให้เกิดการหลั่ง (luteinizing hormone, LH) ลดลง ซึ่งมีผลโดยตรงกับการตกไข่ สอดคล้องกับ Boland *et al*. (2001) ที่รายงานว่า พลังงานในอาหารมีผลต่อระบบสืบพันธุ์ กล่าวคือ ระดับโภชนะในอาหารต่ำทำให้ LH ลดระดับความรุนแรงของ pulse ส่งผลให้อัตราการตกไข่ต่ำ เนื่องจากการหลั่ง GnRH จากต่อมใต้สมองส่วน hypothalamus มีไม่เพียงพอ โดยเฉพาะในช่วงแรกของการให้นมซึ่งร่างกายมีสมดุลของพลังงานเป็นลบ

Mcclure (1994) กล่าวว่า ภาวะสมดุลพลังงานที่เป็นลบจากการสลายพลังงานสำรองในร่างกายในช่วงหลังคลอด จะส่งผลกระทบต่อการพัฒนาของรังไข่และการสังเคราะห์ steroid hormone จากรังไข่ เนื่องจากมีการยับยั้งการหลั่ง GnRH จาก hypothalamus และยับยั้งการหลั่ง gonadotropins คือ FSH และ LH จาก anterior pituitary gland นอกจากนี้ Estill (1993) ยังได้กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงระดับของ gonadotropins จะส่งผลต่อการพัฒนารังไข่ และการสร้าง progesterone ของ corpus luteum (CL) หลังจากมีการตกไข่แล้ว การมี progesterone ไม่เพียงพอต่อการทำงานตามปกติของมดลูกในช่วงการตั้งท้องระยะแรก จะทำให้เกิดการตายของตัวอ่อนระยะแรกลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงของร่างกายโคนมที่มีต่อความสมบูรณ์พันธุ์

ในช่วงแรกหลังคลอด (early postpartum) หรือช่วงแรกของการให้นม (early lactation) แม่โคมีการสร้างน้ำนมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะถึงจุดสูงสุดระหว่างสัปดาห์ที่ 4 ถึง 7 หลังคลอด ในขณะที่ปริมาณการกินได้ของแม่โคจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้า คือ จะกินอาหารได้มากที่สุดในช่วงสัปดาห์ที่ 8 และ 12 หลังคลอด การที่อัตราการกินอาหารเพิ่มได้ช้ากว่าอัตราการให้นม คือ แม่โคกินอาหารได้มากหลังระยะเวลาที่ให้นมสูงสุดนั้น เป็นสาเหตุให้แม่โคได้รับโภชนะไม่เพียงพอสำหรับความต้องการของร่างกายจึงพบเสมอว่า ช่วงแรกของการให้นมจะเกิดสมดุลพลังงานเป็นลบ (negative energy balance, NEB) (บุญเสริม และ บุญล้อม, 2535) ส่งผลให้มีการสลายพลังงานสำรองที่สะสมไว้ในร่างกายในช่วงก่อนคลอดมาใช้ในการสร้างผลผลิตน้ำนม เนื่องจากพลังงานที่ได้รับจากอาหารไม่เพียงพอต่อการสร้างน้ำนม (Domecq *et al.* 1997) ซึ่งภาวการณ์สูญเสียพลังงานที่สะสมในร่างกาย หรือภาวะที่สมดุลพลังงานเป็นลบจะสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของสภาพร่างกาย และน้ำหนักตัวที่ลดลงจากการลดปริมาณลงของเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในร่างกาย และรองลงมาคือ เนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อ

Butler and Smith (1989) รายงานว่า แม่โคที่มีการสูญเสียพลังงานสำรองในร่างกายช่วงหลังคลอด 5 สัปดาห์ โดยพิจารณาจากคะแนนความสมบูรณ์ของร่างกาย (body condition score, BCS) ในระบบ 1 ถึง 5 (ระดับ 1 หมายถึง ผอมมาก และ ระดับ 5 หมายถึง อ้วนมาก) ถ้ามีการลดลงมากกว่า 1.0 หน่วย จะมีความสมบูรณ์พันธุ์ต่ำกว่าแม่โคที่สูญเสียคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายในช่วง 0.5 ถึง 1.0 หน่วย และน้อยกว่า 0.5 หน่วย สอดคล้องกับรายงานของ Domecq *et al.* (1997) ที่พบว่าแม่โคที่สูญเสียคะแนนความสมบูรณ์ร่างกาย 0.4 และ 0.8 หน่วย ในช่วงเดือนแรกของการให้นม จะมีอัตราการผสมติดต่ำกว่าแม่โครีดนมทั่วไปประมาณ 1.17 และ 1.36 เท่า ตามลำดับ

อย่างไรก็ดี ธีระ (2546) กล่าวว่า แม่โคที่มีคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายมากเกินไปขณะคลอดมักพบปัญหาระบบสืบพันธุ์ภายหลังคลอด โดยมีการเป็นสัดหลังคลอดช้า และมีอัตราการผสมติดต่ำ นอกจากนี้คะแนนร่างกายยังมีความสัมพันธ์กับระดับโปรเจสเตอโรนในเลือดด้วย สอดคล้องกับ บุญเสริม และ บุญล้อม (2535) ที่กล่าวว่า ถ้าแม่โคมีสภาพอ้วนเกินไปจากการได้รับอาหารระดับสูงมากจะทำให้เกิดปัญหาต่อความสมบูรณ์พันธุ์ คือ รังไข่เป็น cysts (cystic ovary) แม่โคจะกลับเป็นสัดช้า มีอัตราการเป็นสัดเงียบ (silent heat) สูง ทำให้ผสมไม่ติดซึ่งอัตราการผสมติดเป็นปัจจัยที่ใช้บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ หรือความสมบูรณ์พันธุ์ในช่วงหลังคลอดของแม่โค จากการศึกษาของ Oltenacu *et al.* (1981) พบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพของการผสมติดสามารถลดช่วงท้องว่างหลังคลอด ลดจำนวนครั้งที่ผสมต่อแม่โคต่อปี และลดอัตราการคัดทิ้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากระบบสืบพันธุ์ แต่ไม่ทำให้ช่วงเวลาหลังคลอดถึงการผสมครั้งแรกเปลี่ยนแปลงไป ดังตารางที่ 2.4

ตาราง 2.4 อิทธิพลของอัตราการผสมติด (conception rate, CNRT) ต่อประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ของฝูงแม่โค

Table 2.4 Effect of conception rate on efficiency of reproduction performance in dairy cows

Reproduction efficiency	CNRT = 0.42	CNRT = 0.50	CNRT = 0.58
Day after calving to first breeding service	90 ± 25	90 ± 26	90 ± 26
Days open	123 ± 48	119 ± 48	115 ± 47
Service per cow per year	2.1 ± 1.2	1.9 ± 1.1	1.7 ± 1.0
Culling rate (%)	16.7	13.5	10.8

หมายเหตุ : กำหนดให้เริ่มผสมครั้งแรกหลังคลอด (first breeding policy) อย่างน้อย 60 วัน

Note : Normal conception after calving (first breeding policy) is 60 days

ที่มา : ดัดแปลงจาก Oltenacu *et al.* (1981)

8. อิทธิพลของพลังงานและโปรตีนชนิดสลายตัวง่ายต่อผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม

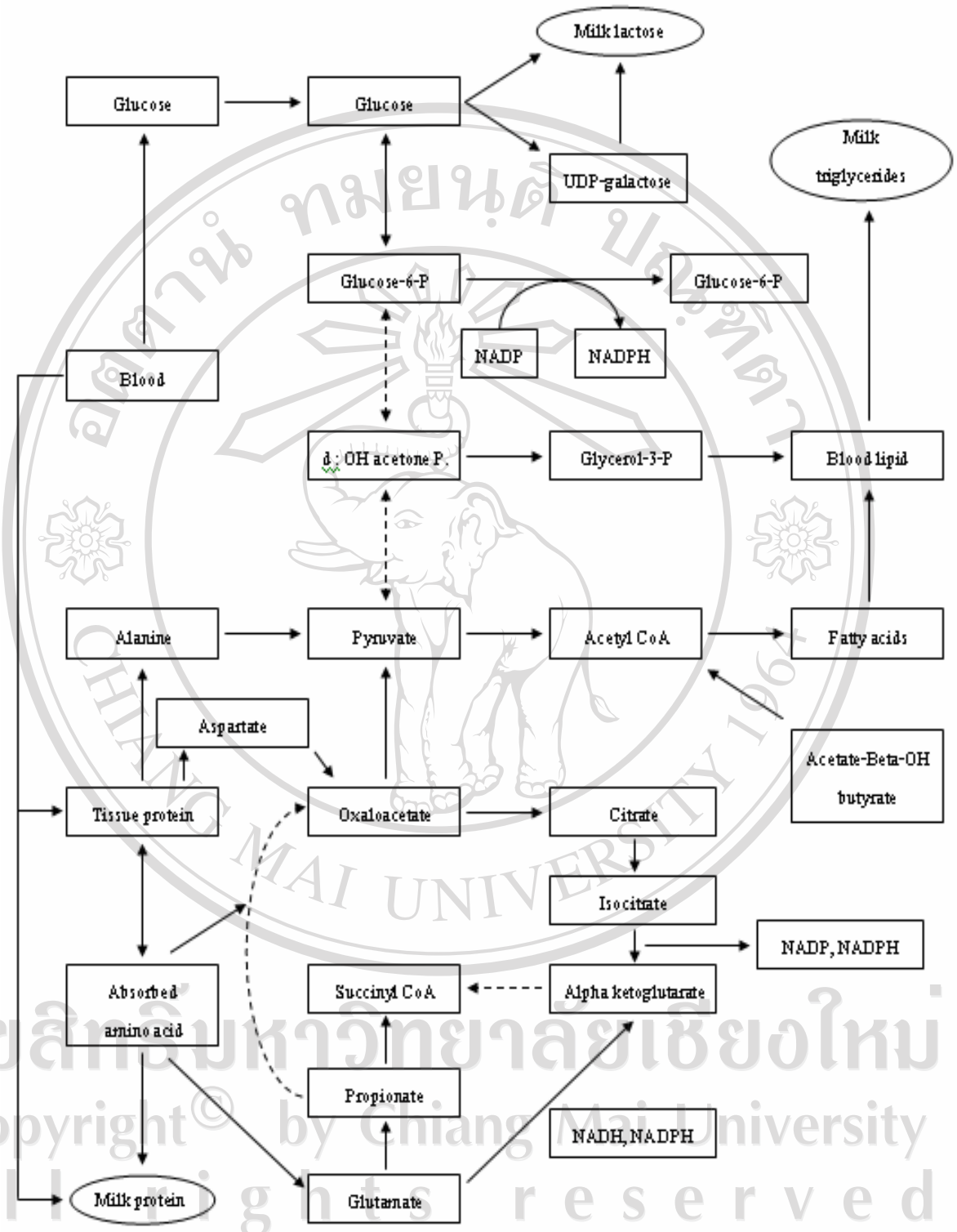
เทอดชัย (2548) กล่าวว่า อาหารพลังงาน และโปรตีน นอกจากจะช่วยให้สภาพต่างๆ ในกระเพาะรูเมนเหมาะสมกับการเจริญเติบโตและการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญต่อตัวสัตว์แล้ว ยังมีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม การสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์จำเป็นต้องได้รับพลังงาน ไนโตรเจน โครงสร้างคาร์บอน (carbon skeletons) และธาตุอาหารปลีกย่อยในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะทำให้จุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้สูงสุด โดยระดับและสมดุลของไนโตรเจนกับพลังงานมีบทบาทที่สำคัญที่สุดในการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ แหล่งของแอมโมเนียส่วนใหญ่ได้มาจากการย่อยสลายของโปรตีนและขบวนการ deamination ของกรดอะมิโน โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูเมนที่พอเพียงสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนควรมีระดับไม่ต่ำกว่า 5 mg/100 ml แหล่งพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้สังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ได้มาจากคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย ชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกันจะมีผลทำให้ปริมาณและประสิทธิภาพในการนำพลังงานไปสังเคราะห์โปรตีนแตกต่างกันด้วย ภายใต้สภาพการเลี้ยงที่ให้อาหารข้นจะมีพลังงานเป็นจำนวนมากเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากสัตว์กินอาหาร ถ้ามีไนโตรเจนเพียงพอก็จะมีการสังเคราะห์โปรตีนได้สูงสุด วิธีการที่จะทำให้มีการนำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พลังงานไปใช้สังเคราะห์โปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพสามารถทำได้โดยควบคุมให้มีการปล่อยพลังงานออกมาจากคาร์โบไฮเดรตในปริมาณที่พอเหมาะและสม่ำเสมอ

จากการที่คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนโดยจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ดังนั้น VFA ที่เกิดขึ้นจึงมีผลอย่างมากต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนม โดยสูตรอาหารที่มีเยื่อใยสูงจะมีความเข้มข้นของ acetate และ butyrate เพิ่มขึ้น ทำให้ acetate/propionate (A/P) มีอัตราสูงขึ้น เป็นสาเหตุให้น้ำนมมีปริมาณไขมันนมสูง แต่ผลผลิตนมลดลง ในทางตรงข้ามการเพิ่มคาร์โบไฮเดรตที่สลายตัวง่ายในรูปของอาหารข้นจะทำให้จุลินทรีย์ประเภทที่ใช้แป้ง (amylolytic bacteria) เจริญเติบโตได้ดี ทำให้ผลิต propionate ออกมามาก ในขณะที่ cellulolytic bacteria มีกิจกรรมลดลง ทำให้การผลิต acetate และ butyrate มีน้อยลง เป็นเหตุให้อัตราส่วนของ A/P ลดลง นอกจากนี้ยังมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่เพิ่มขึ้นนี้ Miettinen and Huhtanen (1996) ให้เหตุผลว่าการที่ propionate เพิ่มขึ้นส่งผลให้การสังเคราะห์กลูโคสมากขึ้น ทำให้ลดการนำกรดอะมิโน เช่น aspartate และ alanine มาใช้ในกระบวนการ gluconeogenesis จึงเป็นเหตุให้มีกรดอะมิโนเหลือเฟือในการสร้างโปรตีนในน้ำนม ทำให้มีโปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2.5 การสังเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนมจากสารอาหารในเลือด (ดัดแปลงจาก สมสุข, 2544)

Figure 2.5 Milk nutrient synthesis from nutrient in blood (adapted from somsook, 2544)

การเสริมโปรตีนทำให้มีกรดอะมิโนไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กเพิ่มขึ้น เมื่อเข้าสู่เนื้อเยื่อ aspartate และ glutamate จะถูกเปลี่ยนเป็น oxaloacetate ซึ่งเป็น intermediate ทั้งใน tricaboxylic acid (TCA) cycle และ gluconeogenesis ส่งผลให้มีการสังเคราะห์กลูโคสเพื่อเป็นแหล่งพลังงานเพิ่มขึ้น (Lees *et al.*, 1990) การที่มีกลูโคสใน mammary gland เพิ่มขึ้นนี้ทำให้มีการสังเคราะห์แลคโตสสูงขึ้น และมีการผลิต glycerol และ NADPH สำหรับการสังเคราะห์ไขมันเพิ่มขึ้น (Metcalf *et al.*, 1994) นอกจากนี้ oxaloacetate ที่เพิ่มขึ้นบางส่วนจะผ่าน TCA cycle เปลี่ยนเป็น acetyl CoA ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนม

การนำธัญพืชมาแปรรูปก็จะสามารถช่วยเพิ่มผลผลิต และองค์ประกอบของน้ำนมได้ ดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 ผลของการแปรรูปเมล็ดข้าวโพดต่อปริมาณและองค์ประกอบน้ำนม

Table 2.5 Effect of corn processing on milk yield and milk composition

	Diet	
Item	Dry roll corn	Steam roll corn
Milk (kg/d)	29.5	34.3
4% FCM (kg/d)	28.8	32.3
Fat (%)	3.86	3.12
Protein (%)	2.93	3.03
Lactose (%)	4.97	4.98
Solid not fat (%)	8.37	8.53

ที่มา: ดัดแปลงจาก Crocker *et al.* (1998) and Yu *et al.* (1998)

จากตาราง 2.5 จะพบว่า ข้าวโพดที่ได้จากกระบวนการนึ่งแล้วนำมาบีบเมื่อนำไปเลี้ยงโคนม โคจะมีผลผลิตของน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงสูง โดยเฉพาะองค์ประกอบน้ำนม เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง steam-roll corn กับ dry roll corn (Crocker *et al.* 1998 and Yu *et al.* 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

9. การหาค่าการย่อยได้โดยทดลองกับตัวสัตว์โดยตรง (*In vivo* digestibility)

โดยทั่วไปการวัดองค์ประกอบทางเคมี หรือโภชนะในอาหารสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์โดยวิธีเคมี แต่ส่วนของอาหารที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์จริงจะทราบได้ต้องทราบปริมาณที่หายไปในระหว่างการย่อย การดูดซึม และการเมแทบอไลซ์ในร่างกาย ส่วนของอาหารที่ไม่ย่อยและไม่ดูดซึม จะถูกขับออกในมูล ซึ่งเมื่อนำโภชนะในมูลมาหักออกจากโภชนะในอาหาร จะทราบปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ (digestible nutrient) ดังนั้นการหาการย่อยได้จึงนับว่าเป็นการศึกษาขั้นที่สอง ถัดจากการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งนิยมทำโดยเฉพาะกับวัตถุดิบใหม่ๆ ที่ยังไม่ทราบคุณค่าทางอาหาร (บุญล้อม, 2541)

9.1 การหาค่าการย่อยได้โดยทดลองกับตัวสัตว์โดยวิธีปกติ (convention method)

บุญล้อม (2541) ได้อธิบายวิธีการทดลองโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ

1. ระยะก่อนการทดลอง (Preliminary period) เป็นระยะปรับตัว หรือเตรียมตัว ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับอาหารทดลอง เป็นช่วงที่ให้สัตว์และจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมักได้ปรับตัวให้เข้ากับอาหารที่ศึกษา และเพื่อให้อาหารทดลองเข้าไปแทนที่อาหารเดิมในทางเดินอาหาร สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องถ้าเป็นอาหารปกติใช้เวลา 7 – 10 วัน แต่ถ้าเป็นอาหารแปลกใหม่อาจจะต้องใช้เวลา 14 – 21 วัน

2. ระยะทดลองจริง (Measurement period) ข้อสำคัญในช่วงเวลานี้ ได้แก่ การกำหนดเวลาที่แน่นอนที่จะเริ่มต้นและสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างมูลสัตว์ทดลอง เพื่อให้แน่ใจว่ามูลนั้นได้มาจากอาหารทดลองที่แท้จริงโดยไม่เกิด end point error โดยเป็นช่วงเวลาสำหรับเก็บและบันทึกปริมาณอาหารที่สัตว์กิน และมูลที่ขับออกมา โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 7 วันหากจำกัดปริมาณอาหารที่ให้ และ 10 – 14 วัน ถ้าให้อาหารแบบเต็มที่ ทำการสุ่มตัวอย่างอาหารและมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี แล้วนำค่าต่างๆ ไปคำนวณหาการย่อยได้จากสูตร

$$\text{Nutrient digestibility (\%)} = \frac{\text{Nutrient consumption (g/d)} - \text{Nutrient in feces (g/d)}}{\text{Nutrient consumption (g/d)}} \times 100$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าที่ได้เรียกว่าการย่อยได้ปรากฏ โดยถือว่าส่วนของโภชนะที่ไม่ขับออกเท่ากับส่วนที่ถูกดูดซึม ซึ่งตามความเป็นจริงนับว่ายังไม่ถูกต้อง เพราะสิ่งที่ขับออกในมูลไม่ได้มาจากอาหารทั้งหมด แต่มาจากส่วนของร่างกายด้วย เช่น น้ำย่อยหรือเซลล์ที่หลุดลอกจากทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังอาจมีจุลินทรีย์ที่อยู่ในทางเดินอาหารติดมาด้วย ส่วนนี้เรียกว่า metabolic fecal substance ดังนั้นจึง

ต้องนำส่วนนี้มาหักออกจากมูลจึงจะได้ส่วนที่ดูดซึมเข้าไปจริง สัมประสิทธิ์การย่อยได้กรณีนี้เรียกว่า การย่อยได้จริง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติมักนิยมวัดการย่อยได้ปรากฏ

9.2 การการหาค่าการย่อยได้โดยทดลองกับตัวสัตว์โดยวิธีหักลบ (บุญล้อม, 2532)

เป็นการหาค่าการย่อยได้เช่นเดียวกับการหาค่าการย่อยได้โดยทดลองกับตัวสัตว์โดยวิธีปกติ แต่เป็นการหาการย่อยได้ของอาหารหยาบ หรืออาหารข้นบางชนิดที่สัตว์ไม่สามารถกินเป็นอาหารเดี่ยวได้ จำเป็นต้องให้ร่วมกับอาหารอื่นที่ทราบค่าการย่อยได้แล้ว ซึ่งวิธีหาการย่อยได้แบบนี้เรียกว่า difference method โดยคำนวณค่าการย่อยได้ของโภชนะและพลังงานย่อยได้ของอาหารทดลองด้วยวิธีหักลบ (by difference) และใช้ค่าโภชนะที่ย่อยได้และพลังงานที่ย่อยได้ของอาหารทดลองที่รวมกับอาหารชนิดอื่นหักลบด้วยค่าโภชนะที่ย่อยได้ และพลังงานที่ย่อยได้ของอาหารอื่นที่ทราบค่าการย่อยได้แล้วก็จะทราบค่าโภชนะที่ย่อยได้และพลังงานย่อยได้ของอาหารทดลอง

10. การประเมินค่าพลังงานในอาหารในโคนม

นักโภชนศาสตร์สัตว์จะให้ความสนใจกับค่าพลังงานในอาหาร ทั้งนี้เพราะถ้าพลังงานในอาหารไม่เพียงพอก็จะมีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสัตว์ เป็นที่ทราบกันดีว่าพลังงานในอาหารที่สัตว์กินเข้าไป (Gross energy, GE หรือ Intake energy, IE) สัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด เพราะมีการสูญเสียไปในมูล ปัสสาวะ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และความร้อน (Heat increment, HI) ทำให้พลังงานที่เหลือจากการหักส่วนต่างๆ ออกเรียกว่า พลังงานย่อยได้ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ และพลังงานสุทธิ ตามลำดับ ระบบพลังงานที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมี 4 ระบบ แต่ละระบบมีข้อดี ข้อเสีย ซึ่งพอสรุปได้โดยสังเขป (บุญล้อม, 2541) ดังนี้ คือ

1. ยอดโภชนะย่อยได้ (TDN) มีข้อดีในแง่ที่สามารถวัดได้ง่าย อยู่ในวิสัยที่สถาบันต่างๆ พอจะทำได้ เพราะต้องการทราบเพียงปริมาณโภชนะย่อยได้ ซึ่งหาโดยการศึกษาการย่อยได้ (digestion trial) TDN เป็นระบบพลังงานที่คุ้นเคยกันดี มีข้อมูลมาก สามารถเปรียบเทียบกันได้ง่าย แต่มีข้อเสียหลายประการ กล่าวคือ TDN ประเมินพลังงานของอาหารหยาบคุณภาพต่ำได้สูงกว่าความเป็นจริง

2. พลังงานย่อยได้ (DE) คล้ายคลึงกับ TDN คือ มีข้อดีในแง่ที่วัดได้ง่าย อยู่ในวิสัยที่จะสามารถทำได้ เพราะต้องการทราบเพียงปริมาณพลังงานที่ขับออกในมูลเพื่อหักลบกับปริมาณพลังงานที่สัตว์กินเข้าไปเท่านั้น ค่านี้หาได้โดยทำ digestion trial วิคราะห์พลังงานในอาหาร และในมูลด้วยเครื่อง bomb calorimeter จุดอ่อนของ DE คล้ายคลึงกับ TDN คือยังใช้ประเมินค่าพลังงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงไม่ดีนัก เพราะไม่ได้คำนึงถึงปริมาณพลังงานที่สูญเสียไปในขั้นตอนอื่น

3. พลังงานใช้ประโยชน์ (ME) เป็นระบบพลังงานที่ค่อนข้างดี สามารถประเมินพลังงานในอาหารได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง เพราะได้คำนึงถึงพลังงานที่สูญเสียไปทั้งในมูล ปัสสาวะ และแก๊สที่เกิดจากการหมักอาหารในกระเพาะส่วนหน้า

4. พลังงานสุทธิ (NE) เป็นระบบพลังงานที่ดีที่สุด เพราะบอกให้ทราบถึงปริมาณพลังงานที่สัตว์สามารถนำไปใช้ได้จริง เนื่องจากหักค่าพลังงานที่สูญเสียไปทุกขั้นตอนออกแล้ว รวมทั้งสูญเสียไปในรูปของความร้อนที่เกิดจากการเมแทบอไลซ์อาหาร หรือเรียกว่า heat increment (HI) แต่ NE มีข้อจำกัด คือ สามารถวัดค่า HI ได้ยาก ต้องอาศัยเครื่องมือที่ซับซ้อน ด้วยเหตุนี้ค่า NE ในอาหารส่วนใหญ่จึงไม่ได้วัดโดยตรง แต่อาศัยสมการคำนวณ

เนื่องจากการวัดพลังงาน ME และ NE โดยตรงต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง ดังนั้นจึงต้องหาวิธีอ้อม ได้แก่วัดค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility) เพื่อคำนวณพลังงานในรูปโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (TDN) พลังงานย่อยได้ (DE) แล้วอาศัยสมการ regression ที่ผ่านการพิสูจน์และได้รับการยอมรับแล้วประเมินค่าพลังงาน ME และ NE ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved