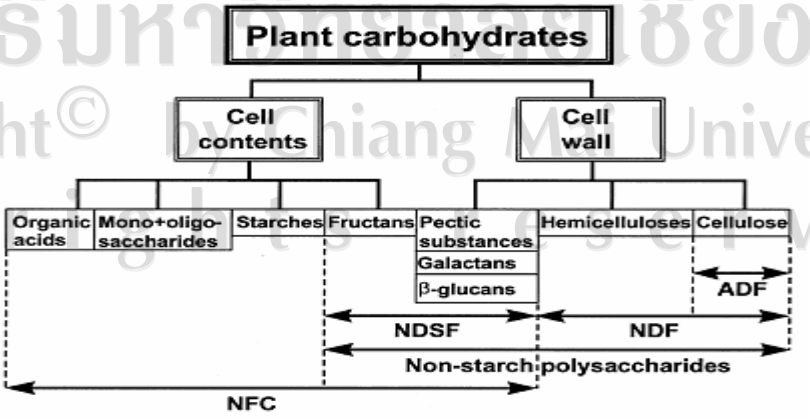
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

คาร์โบไฮเดรตและชนิดของคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับตัวสัตว์ และจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน เพื่อใช้ในการดำรงชีวิตและเพิ่มประชากร คาร์โบไฮเดรตสามารถแบ่งตามโครงสร้างได้เป็น 2 แบบ แบบที่ 1 คือ คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate) ซึ่งเป็นส่วนของเยื่อใยในผนังเซลล์ของพืชที่สัตว์ไม่สามารถย่อยเองได้ แต่จุลินทรีย์สามารถย่อยได้ ได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งพบมากในอาหารหยาบ ส่วนแบบที่ 2 คือคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างหรือคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (non structural carbohydrate, NSC หรือ non fibrous carbohydrate, NFC) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ภายในเซลล์พืช ที่ทั้งจุลินทรีย์และร่างกายสัตว์สามารถย่อยได้ ประกอบด้วย กรดอินทรีย์ น้ำตาล แป้ง และฟรุคแตน พบมากในอาหารข้น ส่วนของ NSC วิเคราะห์โดยใช้เอนไซม์ และเป็นส่วนของคาร์โบไฮเดรตแท้ๆ ได้แก่ น้ำตาล แป้ง และฟรุคแตน ส่วน NFC หาได้จากการคำนวณโดยการหักลบเยื่อใย NDF, Ash, EE, CP ออกจาก DM ซึ่งส่วนของ NFC นี้ประกอบด้วย NSC เพคตินและกรดอินทรีย์รวมกัน (NRC, 2001) โดยทั่วไป NFC จะมีค่ามากกว่า NSC นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรตกลุ่มที่เป็นเยื่อใยแต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกลาง ได้แก่ เพคติน, กาแลคแตน และเบต้ากลูแคน ซึ่งส่วนนี้จะถูกหมักย่อยอย่างรวดเร็ว 20–40% ต่อชั่วโมง (Hall, 2003) ส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตในพืชที่จำแนกออกเป็นส่วนต่างๆแสดงในภาพ 2.1



ภาพ 2.1 ส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตในพืช

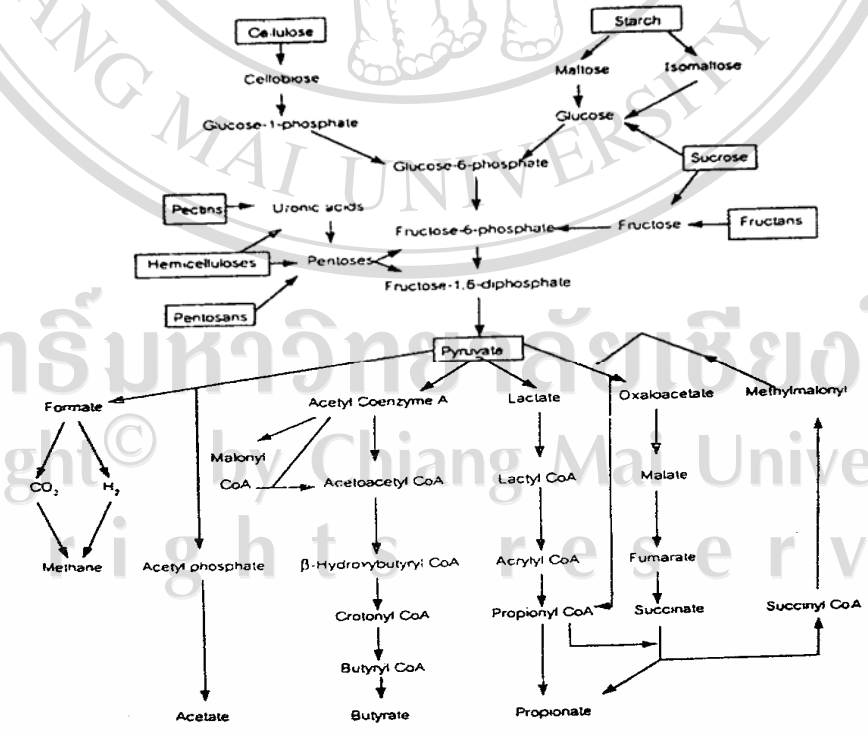
Figure 2.1 Plant carbohydrate fractions (Hall, 2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นการที่ NFC ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน จะส่งผลต่อการย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะรูเมนอีกทางหนึ่งด้วย เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหนึ่งของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้นว่ามี NFC เป็นองค์ประกอบอยู่มากหรือน้อย

การย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

เมื่อคาร์โบไฮเดรตเข้าสู่กระเพาะรูเมน จะถูกจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนย่อยเป็น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และเปลี่ยนเป็น pyruvate แล้วถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ทันที ต่อจากนั้น pyruvate จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ดังภาพ 2.2 โดย VFA ที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนมี 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิออนิก (propionic acid) และกรดบิวทิริก (butyric acid) ซึ่งปริมาณของกรดอะซิติกและกรดโพรพิออนิกจะแปรผันตามปริมาณและประเภทของอาหารที่โคได้รับ โดยอาหารที่มีเยื่อใยสูงจะทำให้ได้กรดอะซิติกมาก ส่วนอาหารข้นจะทำให้ได้กรดโพรพิโอนิกมาก บทบาทของกรดอะซิติกและกรดบิวทีริกนอกจากจะเป็นแหล่งของพลังงานแล้ว ยังสามารถนำไปสร้างเป็นไขมันในน้ำนมได้อีกทางหนึ่ง ส่วนกรดโพรพิออนิกจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็นกลูโคสและสร้างเป็นน้ำตาลในนม (บุญล้อม, 2541)



ภาพ 2.2 การเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะรูเมน (บุญล้อม, 2541)

Figure 2.2 Conversion of carbohydrates to volatile fatty acids in the rumen

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้เมื่อโคได้รับอาหารข้นที่มีส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (NFC) ในปริมาณที่มากเกินไป จะถูกจุลินทรีย์ย่อยเป็นกรดไขมันระเหยได้และกรดแลคติคปริมาณมาก โดยเฉพาะแบคที่เรียพวก *Streptococcus bovis* ซึ่งจะย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยให้เป็นกรดแลคติค และสามารถเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในปริมาณมาก กรดแลคติคนี้มีสภาพความเป็นกรดรุนแรงกว่ากรดไขมันระเหยได้ตัวอื่น จึงทำให้ pH ในรูเมนอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ และมีผลต่อผนังของกระเพาะรูเมนรวมทั้งต่อสุขภาพของโค ทำให้สัตว์ไม่กินอาหาร (off feed) เกิดอาการกีบอักเสบ (laminitis) มดลูกอักเสบ (metritis) ขณะเดียวกันเมื่อกรดนี้ถูกดูดซึมเข้าไปในกระแสเลือดเป็นจำนวนมาก จะเกิดภาวะความเป็นกรดในกระเพาะรูเมนและในเลือดสูง ซึ่งเรียกว่า แอซิโดสิส (acidosis) ทำให้เม็ดเลือดแดงไม่สามารถนำพา O_2 ไปยังส่วนต่างๆของร่างกายได้ และ อาจจะทำให้สัตว์ตายในกรณีที่เกิดรุนแรง (เทอดชัย, 2542)

โปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีความซับซ้อน เป็นโภชนะสำคัญสำหรับสัตว์ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต โปรตีนแบ่งเป็นโปรตีนแท้ประกอบด้วยกรดอะมิโนซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดในโมเลกุลของโปรตีนเรียงต่อกันด้วยพันธะเปบไทด์ เช่น โปรตีนในพืชอาหารสัตว์ (อาหารหยาบ) และ วัตถุดิบอาหารสัตว์ (อาหารข้น) ส่วนอีกชนิดหนึ่งคือสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) ได้แก่ ยูเรีย ไบยูเรต และพวกเกลือแอมโมเนียม ซึ่งชนิดหลังนี้ไม่มีโครงสร้างของคาร์บอน จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถนำ NPN ไปใช้สังเคราะห์เส้นเปบไทด์แล้วสร้างเป็นโปรตีนได้ โดยทั่วไป NPN จะถูกสลายตัวได้ทั้งหมดในกระเพาะรูเมน การให้อาหารโคนมที่ถูกต้อง จึงควรพิจารณาให้สัตว์ได้รับทั้ง NPN และโปรตีนแท้ที่สามารถสลายตัวได้ในกระเพาะรูเมนในปริมาณที่พอเพียง แต่ไม่ควรให้มากเกินไปจนจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ได้ทัน (NRC, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนสลายตัวได้และโปรตีนไหลผ่าน (bypass protein)

เนื่องจากโปรตีนที่โคกินจะมีการเปลี่ยนแปลงในกระเพาะรูเมน NRC (1989) ได้จัดกลุ่มโปรตีนตามลักษณะการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน และคำนวณความต้องการโปรตีนของโคนมโดยใช้พื้นฐานของโปรตีนที่ถูกดูดซึมได้ (absorbed protein) จากโปรตีนทั้ง 2 ประเภท คือ

1. Degraded Intake Protein (DIP) เป็นโปรตีนที่มีการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน ประกอบด้วย NPN และโปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่ง DIP มีความสำคัญ

ต่อการเพิ่มประชากรและการสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ อาหารที่มีโปรตีนชนิดนี้มากได้แก่ ยูเรีย (DIP=100%) และกากถั่วเหลือง (DIP=65%) เป็นต้น

2. Undegraded Intake Protein (UIP) หรือบายพาสโปรตีนหรือโปรตีนไหลผ่าน เป็นโปรตีนที่หลุดรอดจากการย่อยของจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่งอาจถูกย่อยได้โดยเอนไซม์ในลำไส้เล็กต่อไป NRC (1988) ประมาณว่า 80% ของ UIP สามารถถูกย่อยได้ในลำไส้เล็ก อาหารที่มี UIP มากได้แก่ ปลาป่น (UIP=60%) หรือกากถั่วเหลืองที่ผ่านการทรีตด้วยความร้อน (UIP=59-82%) หรือทรีตด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ (UIP=80%) ซึ่ง UIP ที่เป็นประโยชน์แก่ตัวสัตว์จะเป็นส่วนที่ถูกย่อยได้ในลำไส้เล็กเท่านั้นเพราะส่วนที่ย่อยไม่ได้จะถูกขับออกทางมูล และ UIP ที่ดีนั้นควรเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี คือ มีกรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งในแง่ของชนิด สัดส่วน และปริมาณที่เหมาะสมกับตัวสัตว์

อย่างไรก็ตามในอาหารสัตว์ยังมีโปรตีนที่ไม่ถูกย่อย (Indigestible Intake Protein, IIP) โดยจุลินทรีย์หรือเอนไซม์ในร่างกายสัตว์ ซึ่งมักเป็นโปรตีนที่รวมตัวกับโครงสร้างของผนังเซลล์พืช ซึ่งถูกย่อยได้ยากจึงไม่มีประโยชน์ทางโภชนาการ ในทางปฏิบัติสามารถประมาณโปรตีนดังกล่าวจาก recovery ของ โปรตีนในกากที่เหลือจากการหา ADF ซึ่งค่านี้เรียกว่า acid detergent insoluble nitrogen (ADIN)

เพื่อให้มีความแม่นยำมากขึ้น NRC (2001) ได้นำค่าโปรตีนที่สัตว์ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable protein, MP) มาใช้แทนระบบ absorbed protein ของ NRC (1988) พร้อมทั้งเปลี่ยนมาใช้ rumen degradable protein (RDP) แทน DIP และใช้ rumen undegradable protein (RUP) แทน UIP ทั้งนี้เพราะเดิมการประมาณ DIP และ UIP ที่สัตว์ต้องการ ใช้การคำนวณจากโปรตีนที่จุลินทรีย์สร้างซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของพลังงานสุทธิ (NE) ในอาหาร ซึ่งค่า NE นี้วัดได้ยาก ดังนั้นในระบบใหม่จึงได้เปลี่ยนมาใช้ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุตลอดทางเดินอาหารแทน NE และนำค่าการย่อยได้ของ endogenous protein และของกรดอะมิโนที่อยู่ในโปรตีนไหลผ่านมาใช้คำนวณร่วม นอกจากนั้นการประมาณค่า RDP และ RUP ของอาหารสัตว์ในระบบใหม่ใช้ prediction model ที่นำค่าอัตราการย่อยสลาย (rate of passage) และ fraction ของโปรตีนชนิดที่ละลายได้ทันที (A) ชนิดที่สามารถสลายตัวได้ (B_1, B_2, B_3) และชนิดที่ย่อยไม่ได้ (C) มาคำนวณร่วมกัน อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์ตามระบบใหม่ยังมีความยุ่งยาก และมีข้อมูลสนับสนุนจำกัดโดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชีย ดังนั้นระบบเดิมคือ DIP และ UIP รวมทั้งข้อมูลความต้องการโภชนะของโคนมที่แนะนำโดย NRC (1988) จึงยังได้รับความนิยมอยู่ในปัจจุบัน

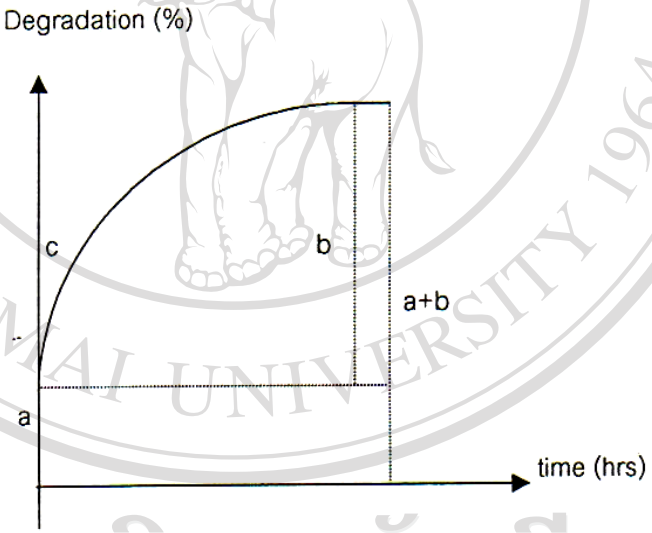
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การหาการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารโดยวิธีเทคนิคถุงไนลอน

อาหารเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมน ส่วนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงคือส่วนที่ย่อยสลายได้ (degradable substance) ซึ่งจะแบ่งออกได้อีก 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่ละลายได้ (soluble material) คือส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ทันทีเมื่ออาหารตกสู่กระเพาะรูเมน ส่วนนี้ในการหาค่าด้วยวิธีใช้ถุงไนลอน มักใช้สัญลักษณ์ a
2. ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถหมักย่อยได้ (insoluble fermentable material)

ในการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะรูเมน อาหารบางชนิดโดยเฉพาะอาหารหยาบอาจมีส่วนที่ละลายได้ (a) น้อยมากหรือไม่มีเลยซึ่งค่า a อาจเป็น 0 หากอาหารนั้นถูกย่อยสลายได้ทันที ค่า degradation จะเริ่มต้นที่ชั่วโมงที่ 0 โดยมากอาหารที่มีส่วนละลายได้ (a>0) จุลินทรีย์จะไม่ต้องใช้เวลารอการเข้าย่อย (lag phase, L=0) หลังจากนั้นส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถหมักย่อยได้ จะถูกย่อยสลายต่อไปจนถึงระดับ b ดังนั้นค่าการย่อยสลายสูงสุดของอาหารคือ a+b โดยมีอัตราการย่อยสลายคือค่า c (Orskov, 1992) อ้างโดย (เสาวลักษณ์, 2542) ดังแสดงในภาพ 2.3



ภาพ 2.3 การย่อยสลายอาหารในกระเพาะรูเมน

Figure 2.3 Degradation of feed in the rumen

ที่มา: Orskov (1992) อ้างโดย เสาวลักษณ์ (2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเตรียมตัวอย่างอาหารทั้งจำพวกธัญพืชและอาหารหยาบ ควรบดตัวอย่างแห้งผ่านตระแกรงขนาด 2–3 มม. ส่วนอาหารหมัก ใช้เครื่องบดแบบเกลียว บดให้มีขนาด 5 มม. น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ คือ อาหารหยาบใช้ประมาณ 3 กรัม และ อาหารข้นใช้ประมาณ 5 กรัม บรรจุในถุงไนลอนที่มีขนาด pore size 40-60 μm และถุงมีขนาด 140x90 ม.ม. สำหรับระยะเวลาที่

เหมาะสมในการแช่ถุงไนลอนในกระเพาะรูเมน เพื่ออธิบายอัตราการย่อยสลายที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของ degradation curve ที่จะเกิดขึ้น จึงไม่สามารถระบุช่วงเวลาที่เหมาะสมได้แน่ชัด ควรขึ้นอยู่กับประเภทของอาหารดังนี้

1. อาหารโปรตีน (อาหารข้น) ระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 2, 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง
2. อาหารหยาบ ระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง (Orskov,1985)

ในการวัดผลการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน เนื่องจากรูปแบบการสลายตัวมีลักษณะเป็นเส้นโค้งในลักษณะของสมการ exponential โดยมีการสลายตัวค่อนข้างมากในระยะต้น และลดลงในระยะกลาง จนมีอัตราการสลายตัวคงที่ในระยะปลาย การวัดการสลายตัวของอาหารจึงใช้ระยะเวลาที่อินทรีย์วัตถุในอาหารมีการสลายตัวไปแล้วจนเกือบหมด โดยเฉพาะการวัดการย่อยสลายของโปรตีน จะใช้ระยะเวลาที่อัตราการย่อยสลายคงที่ ซึ่งคาดว่าอินทรีย์สารในอาหารมีการย่อยสลายมากกว่า 90% (Orskov, 1988) ซึ่ง Orskov *et al.* (1988) ได้สร้างโปรแกรม NEWAY เพื่อใช้ในการประมาณการย่อยสลายของอาหาร และหา fit curve เพื่อใช้ประมาณค่าส่วนละลายได้ (A) ส่วนที่ไม่ละลายแต่สลายตัวได้ (B) อัตราการย่อยสลาย (C) และเปอร์เซนต์การย่อยสลายที่อัตราการไหลผ่านต่างๆกัน โดยโปรแกรม NEWAY มีสมการ

$$P = A + B\,(1-e^{-ct})$$

เมื่อ P = โภชนะที่หายไปที่เวลา t (degradation at time t)

A = ส่วนที่ละลายได้ (immediately soluble material)

B = ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถหมักย่อยได้ (insoluble fermentable material)

C = อัตราการย่อยสลาย (degradation rate)

เนื่องจากการสลายตัวของอาหารขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่าน (outflow rate, k) ซึ่งอาหารแต่ละชนิดมี k แตกต่างกัน โดยอาหารข้น หรือวัตถุดิบอาหารข้น จะมีขนาดชิ้นเล็กหรือละเอียด จึงใช้ค่า k น้อยในการประมาณการย่อยสลาย ในขณะที่อาหารหยาบจะตกอยู่ในกระเพาะนานและมีอัตราการไหลผ่านต่ำจึงใช้ค่า k มากกว่าในการประมาณ อนึ่งข้อมูลของค่า k ในอาหารหยาบชนิดต่างๆมีจำกัดในปัจจุบันและมีความยุ่งยากในการหา เพราะอาหารหยาบแต่ละชนิดมี lag phase ต่างกัน

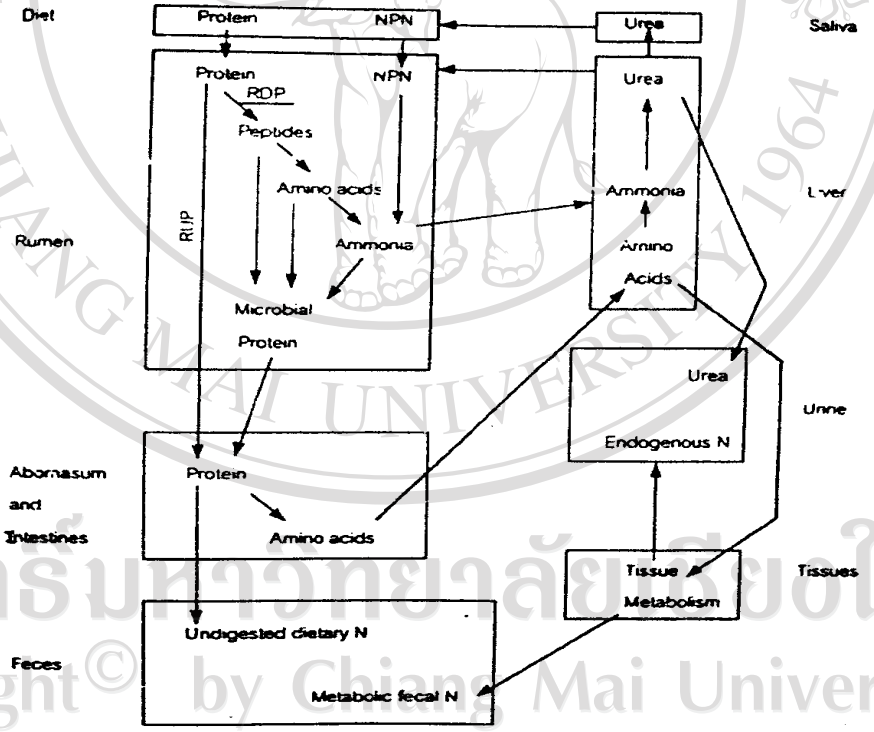
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนแท้ และ NPN ในกระเพาะรูเมน

เมื่อโปรตีนเข้าสู่กระเพาะรูเมน Degraded intake protein (DIP) จะถูกน้ำย่อยของจุลินทรีย์ hydrolyze พันธะเปปไทด์ของโปรตีน ได้เปปไทด์สายสั้นๆและกรดอะมิโน ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้บางส่วนจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ (microbial protein) กรดอะมิโนบางส่วนจะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปโดยกระบวนการ deamination ได้กรดอินทรีย์ แอมโมเนีย (NH_3) และ

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แอมโมเนียบางส่วนจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ และส่วนที่เหลือจะถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดส่งไปที่ตับเพื่อเปลี่ยนไปเป็นยูเรีย ซึ่งจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนกลับเข้าไปในรูเมนใหม่ หรือส่งกลับไปยังกระเพาะรูเมนโดยผ่านทางน้ำลาย หรือถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ (บุญล้อม, 2541) ส่วน Undegraded Intake Protein (UIP) ซึ่งไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนจะผ่านไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก โดยบางส่วนจะถูกย่อยโดยเอนไซม์จากตัวสัตว์ได้เป็นกรดอะมิโน ซึ่งจะถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในตัวสัตว์ได้ ส่วนที่ย่อยไม่ได้จะถูกขับออกทางมูลต่อไป ดังผังการย่อยโปรตีนในรูเมนที่แสดงดังภาพ 2.4

สำหรับยูเรียซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่อยู่ในกลุ่ม DIP นั้นเมื่อเข้าไปในกระเพาะรูเมน จะละลายทันทีและถูก hydrolyze ด้วยเอนไซม์ urease จากแบคทีเรียอย่างรวดเร็วได้เป็นแอมโมเนีย แล้วแอมโมเนียจะถูกจุลินทรีย์นำไปทำปฏิกิริยากับ keto acid ที่ได้จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตกลายเป็นกรดอะมิโน ซึ่งจะถูกสร้างเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ดังที่แสดงในภาพ 2.5

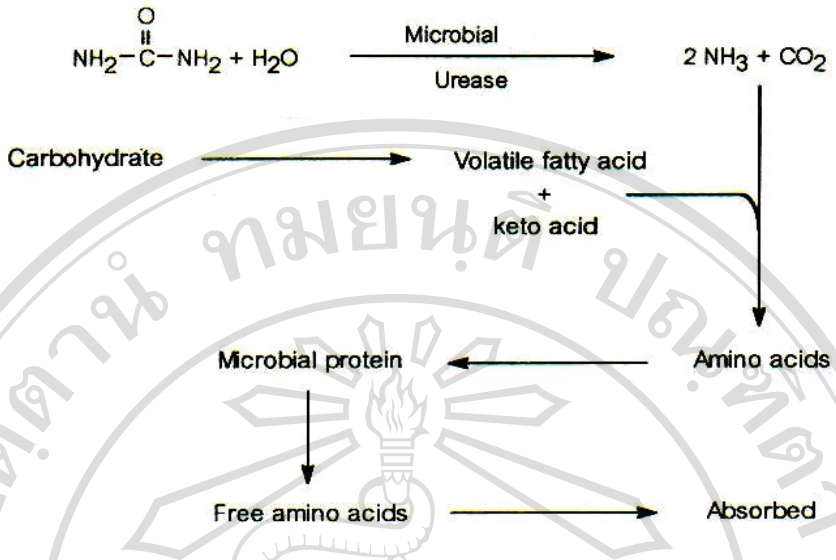


ภาพ 2.4 การย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน

Figure 2.4 Degradation of nitrogenous compounds in the rumen

ที่มา: บุญล้อม (2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.5 การสร้าง microbial protein จากยูเรีย

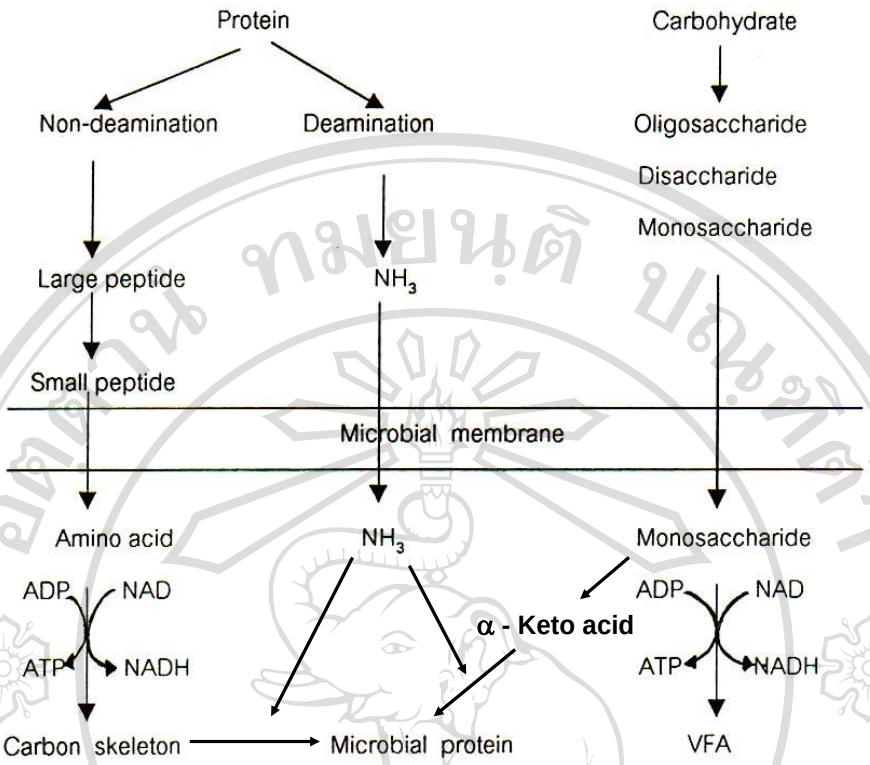
Figure 2.5 Microbial protein synthesis from urea

ที่มา :บุญล้อม (2546)

บทบาทร่วมของโปรตีนย่อยสลายได้และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในกระเพาะรูเมน

ปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน มีทั้งส่วนที่เกิดขึ้นนอกเซลล์จุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะปล่อยน้ำย่อยออกมาย่อยอาหาร และส่วนที่เกิดภายในเซลล์ของจุลินทรีย์เองดังภาพ 2.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตผลจากการย่อยสลายเช่นแอมโมเนียซึ่งมาจากโปรตีนย่อยสลายได้ (DIP) และแกนของคาร์บอนที่มาจากคาร์โบไฮเดรตส่วนที่ไม่ใช่เยื่อใย (NFC) ถูกนำมาสร้างเป็นโปรตีนภายในตัวจุลินทรีย์ ดังนั้นสัดส่วนที่เหมาะสมของ NFC และ DIP จึงมีบทบาทสำคัญในการช่วยให้การสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.6 การย่อยสลายโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

Figure 2.6 Degradation of protein and carbohydrate in the rumen

ที่มา :ดัดแปลงจาก Van Soest (1994) อ้างโดย เสาวลักษณ์ (2542)

ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารที่มีผลต่อปริมาณน้ำนม

Cherney *et al.* (2003) ได้ศึกษาระดับของ NFC ในอาหารพบว่าอาหารที่มี NFC 35.7% และ 36.5% มีแนวโน้มช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนมโคได้ดีกว่าอาหารที่มี NFC 30.0% และ 31.4% ทั้งนี้เนื่องจาก NFC เป็นแหล่งของสารตั้งต้นในการสร้างน้ำตาลในน้ำนม โคที่ได้รับสารตั้งต้นมากขึ้นจะมีน้ำนมเพิ่มขึ้น

Kalscheur *et al.* (2006) ได้ศึกษาระดับของ NFC ในอาหารที่สูงกว่า 40% พบว่าอาหารที่มี NFC 42.7, 42.0, 41.1 และ 40.5% ทำให้โคให้ผลผลิตน้ำนม 4%FCM 30.3, 30.8, 32.2 และ 33.1 ก.ก./วัน ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดย NFC ที่ระดับ 40.5% ช่วยให้โคให้ผลผลิตดีที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระดับของโปรตีนที่สลายตัวในอาหารที่มีผลต่อปริมาณน้ำนม

Reynal and Broderick (2005) ได้ศึกษาระดับของโปรตีนสลายตัวในรูปของ Ruminal degradable protein (RDP) ในอาหาร พบว่าอาหารที่มี RDP 13.2, 12.3 และ 11.7% มีแนวโน้มช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนมโคได้ดีกว่าอาหารที่มี RDP 10.6%

Kalscheur *et al*. (2006) ได้ศึกษาระดับของ RDP ในอาหาร พบว่าอาหารที่มี RDP 11.0, 9.6, 8.2 และ 6.8% ทำให้โคให้ผลผลิตน้ำนม 4%FCM 33.1, 32.2, 30.8 และ 30.3 ก.ก./วัน ตามลำดับซึ่งแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยอาหารที่มี RDP สูง 11% ให้ผลดีที่สุด

จากทั้ง 4 การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าอาหารโคนมควรมี NFC ประมาณ 36-42% และมี RDP ประมาณ 11-13% อย่างไรก็ดีค่าเหล่านี้ อาจแปรผันได้แล้วแต่ระยะการให้นม (stage of lactation)

อัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยต่อโปรตีนสลายตัวง่าย

Aldrich *et al*. (1993) ได้ศึกษาถึงระดับของ Rumen-available non structural carbohydrate (RANSC) และ Rumen-available protein (RAP) ในอาหาร พบว่าอาหารที่มี RANSC 28.9, 24.9 หรือ 23.4% และ RAP 11.5, 11.5 หรือ 11.5% (คิดเป็นอัตราส่วนของ RANSC/RAP เท่ากับ 2.5, 2.2 หรือ 2.6) มีแนวโน้มทำให้มีโปรตีนจากจุลินทรีย์ไหลผ่านสู่ลำไส้เล็กส่วนดูโอเดนั่มเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนมของโคได้ดีกว่าอาหารที่มี RANSC 31% และ RAP 9.1% (RANSC/RAP ratio เท่ากับ 3.4)

Reynal and Broderick (2005) ได้ศึกษาระดับของ RDP ในอาหารรวมทั้ง NFC/RDP ratio พบว่าอาหารที่มี NFC/RDP ratio 3.73, 4.06 และ 4.32 มีแนวโน้มช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนมโคได้ดีกว่าอาหารที่มี NFC/RDP ratio 4.85

Stokes *et al*. (1991) ได้ศึกษาระดับของ NFC และ DIP ในอาหาร พบว่าอาหารที่มี NFC 31 หรือ 38% และ DIP 11.8 หรือ 13.2% ทำให้จุลินทรีย์สามารถสร้างโปรตีน รวมทั้งมีแนวโน้มช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนมของโคได้ดีกว่าอาหารที่มี NFC 25% และ DIP 9% แม้ว่าอาหารดังกล่าวจะมี NFC/DIP ratio ใกล้เคียงกัน คือ 2.63, 2.88 เทียบกับ 2.77 ตามลำดับ สอดคล้องกับ Reynal and Broderick (2005) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณ NFC และ DIP จะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำนม และ Kalscheur *et al*. (2006) ที่พบว่าเมื่อเพิ่ม DIP ขึ้นจะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำนม

OSUE (1996) ได้กำหนดค่ามาตรฐานของสัดส่วน NFC/DIP ในอาหารโคนมระหว่าง 2.5-4 ซึ่งเป็นช่วงที่การสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพที่สุด สัดส่วนที่ต่ำกว่า 2.5 แสดงว่าอาหารนั้นมี DIP สูงเกินไป ในขณะที่สัดส่วนที่มากกว่า 4 แสดงว่า NFC ในอาหารมีสูงเกินไป ซึ่งจะส่งผลทำให้ pH ในกระเพาะรูเมนต่ำเกินไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟางหมักยูเรียและองค์ประกอบของโปรตีนในฟางหมัก

ฟางข้าวในปัจจุบันได้จากการใช้เครื่องนวด หรือเครื่องเก็บเกี่ยวที่แยกฟางทิ้งลงในนาจึงต้องนำฟางข้าวมาอัดเป็นฟ่อนเพื่อให้ง่ายแก่การเก็บรักษา ซึ่งแตกต่างจากอดีตที่ทำการเกี่ยวและนวดข้าวด้วยแรงคนเป็นมัดหรือเป็นกอง ฟางข้าวอัดฟ่อนมีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมและมีความแน่นมากมีน้ำหนักประมาณ 15 กก./ฟ่อน สามารถจัดเรียงเป็นชั้นๆในบ่อหมัก ช่วยให้บ่อหมักสามารถบรรจุฟางได้ในปริมาณที่มากขึ้น สถาบันพัฒนาฝึกอบรมและวิจัยโคนมแห่งชาติ (2530) ได้ทดลองปรับปรุงคุณภาพฟางอัดฟ่อน ด้วยยูเรียหรือที่เรียกว่าฟางหมัก โดยเรียงฟ่อนฟางลงในบ่อคอนกรีตหันด้านที่ใบมีดตัดขึ้น หนาชั้นละหนึ่งฟ่อน เรียงให้แน่น เพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายยูเรียไหลลงไปด้านล่างของบ่อตามช่องระหว่างฟ่อน แล้วสเปรย์สารละลายยูเรียจากถังผสมโดยใช้เครื่องพ่นให้ทั่วด้านบนของชั้น ทำการสเปรย์ที่ละชั้นๆ โดยมีสัดส่วนของฟางต่อน้ำต่อยูเรีย 100 : 100 : 6 โดยน้ำหนัก จากนั้นใช้พลาสติกสีดำหนา คลุมด้านบน ปิดไว้เป็นเวลานาน 21 วัน

จากการศึกษาของ Promma *et al.* (1992) พบว่าฟางหมักยูเรียมีโปรตีนรวมสูงกว่าฟางธรรมดาประมาณ 4% คือเพิ่มจาก 3% เป็น 7.2% นอกจากนี้ สมคิดและคณะ (2537) ยังได้ศึกษาถึงการตรึงระดับโปรตีนในฟางหมักยูเรีย 6% ด้วยการเสริม กากน้ำตาล 5.71% และกรดกำมะถันเข้มข้น 2.28% พบว่าโปรตีนรวมในฟางหมักยูเรียมีค่า 7.56–12.27% เป็นแอมโมเนีย 1.93–6.69% และเป็นยูเรียเหลือจากการหมัก 1.45–1.69% นอกจากนั้น ดำรัส (2545) ได้ศึกษาผลของระดับยูเรียและระยะเวลาการหมักต่อคุณภาพของฟางข้าวหมัก โดยใช้น้ำต่อฟางข้าวในอัตราส่วน 1:1 ของน้ำหนัก และใช้ระดับความเข้มข้นของยูเรีย 3 ระดับคือ 4, 5 และ 6% ของน้ำหนักฟางข้าว ใช้ระยะเวลาในการหมัก 3 ระยะคือ 7, 14 และ 21 วัน พบว่าฟางหมักยูเรียที่ใช้ความเข้มข้นของยูเรีย 6% มีโปรตีนรวม (CP) อยู่ระหว่าง 20.16–23.04% และยูเรียตกค้าง 1.11–1.77% ของฟาง

ส่วนอุทัย (2550) ได้ศึกษาอัตราส่วนของฟางอัดฟ่อนต่อน้ำที่เหมาะสมเมื่อใช้ยูเรีย 6% ของน้ำหนักฟาง โดยใช้น้ำ 50, 75 และ 100% ของน้ำหนักฟาง วิธีการเตรียมคือ นำฟางอัดฟ่อนที่มีขนาดกว้าง 40 ซม. สูง 30 ซม. ยาว 70 ซม. มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 7.34 ก.ก.ราดด้วยสารละลายยูเรียตามปริมาณที่กำหนดโดยใช้ฝักบัวแล้วคลุมด้วยผ้าพลาสติกสีดำเก็บไว้เป็นเวลา 21 วัน พบว่าฟางหมักมีโปรตีนรวม 10.01-14.42% ซึ่งในส่วนนี้เป็นแอมโมเนีย 5.85–7.47% และเป็นยูเรีย 0.16–1.19% ดังแสดงในตาราง 2.1 และผู้วิจัยได้แนะนำให้ใช้อัตราส่วนของน้ำต่อน้ำหนักของฟางอัดฟ่อนที่ระดับ 50% เพราะได้ค่าโปรตีนรวมมากที่สุดคือ 14.42%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ปริมาณวัตถุแห้ง โปรตีนรวม แอมโมเนียและยูเรียของฟางหมักสภาพสด (%DM) (N=7)

Table 2.1 Dry matter, crude protein, ammonia and urea contents of fresh urea treated straw (%DM) (N=7)

	50 % Water UTS	75 % Water UTS	100 % Water UTS	SEM
DM	60.22[b]	56.00[ab]	51.94[a]	2.74
CP	14.42[b]	11.19[ab]	10.01[a]	1.19
NH_3	7.47[a]	5.85[a]	5.93[a]	1.29
Urea	1.19[b]	0.61[ab]	0.16[a]	0.34

abc: means in the same row with different superscript differ significantly ($p<0.05$)

ที่มา: อุทัย (2550)

การย่อยสลายของฟางข้าวและฟางหมักยูเรียในกระเพาะรูเมนวัดโดยใช้วิธีถุงไนลอน

การย่อยสลายของฟางข้าว

เสาวลักษณ์ (2542) ศึกษาการย่อยได้ของฟางข้าวในโค โดยนำฟางข้าวที่บดให้มีขนาด 2 มม.ใส่ถุงไนลอนแล้วนำไปใส่ในกระเพาะรูเมน เป็นเวลา 4, 8, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น คือ 18.33, 21.06, 27.75, 40.13, 51.25, 57.97 และ 61.42% ตามลำดับ โดยอัตราการย่อยสลายของฟางข้าวจะเริ่มช้าลงหลังชั่วโมงที่ 48 และเริ่มคงที่หลังชั่วโมงที่ 72 เป็นต้นไป

การย่อยสลายของฟางหมักยูเรีย

ดำรัส (2545) ศึกษาการย่อยได้ของฟางหมักยูเรียในโค โดยเตรียมตัวอย่างฟางหมักยูเรียตามวิธีที่แนะนำโดย Orskov (1985) ที่บดให้มีขนาด 2 มม. ใส่ถุงไนลอนแล้วนำไปใส่ในกระเพาะรูเมนเป็นเวลา 4, 8, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าฟางหมักยูเรียมีการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่ชั่วโมงต่างๆตามตาราง 2.2 และพบว่าอัตราการย่อยสลายของฟางหมักยูเรียจะเริ่มลดลงหลังชั่วโมงที่ 48 และเริ่มคงที่หลังชั่วโมงที่ 72 เป็นต้นไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งที่ย่อยสลายของฟางหมักยูเรีย 6% ที่เก็บไว้เป็นระยะเวลาต่างๆกัน เมื่อนำมาแช่ในกระเพาะรูเมนจากการหมัก ที่ชั่วโมงต่างๆ

Table 2.2 Percentage DM disappearance of 6% urea-treated rice straw at different time and hours of rumen incubation

Sample	Incubation time (hours)						
	0	4	12	24	48	72	96
7 days	16.81	17.47	31.96	41.17	67.80	68.60	74.66
14 days	15.85	18.03	35.78	50.76	68.71	72.39	76.23
21 days	17.51	18.02	32.89	48.96	68.68	71.58	76.39

ที่มา: ดัดแปลงจาก ดำรัส (2545)

การใช้ฟางหมักยูเรียเลี้ยงโคนม

ดำรัส (2545) ใช้อาหารหยาบ 3 สูตรคือ สูตรที่ 1 ฟางหมักยูเรีย สูตรที่ 2 ฟางหมักยูเรียและหญ้าหมัก และสูตรที่ 3 หญ้าหมักเพียงชนิดเดียว เลี้ยงโคนมลูกผสมขาวดำ โดยใช้อาหารข้นเสริมตามปกติ พบว่าโคกินอาหารสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งมีฟางหมักยูเรีย คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวมากกว่าสูตรใช้หญ้าหมักเพียงชนิดเดียว โดยโคให้น้ำนมเฉลี่ย 14.02, 14.07 และ 11.56 กก./ตัว/วัน และมีส่วนประกอบน้ำนมไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่โคที่ได้รับสูตรอาหารที่มีฟางหมักให้น้ำนมที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีนสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับหญ้าหมักเพียงชนิดเดียว

อุทัย (2550) ใช้อาหารหยาบผสม 3 สูตรคือ สูตรที่ 1 ฟางหมักยูเรียเสริมแหล่งโปรตีนและพลังงาน สูตรที่ 2 หญ้าแห้งเสริมแหล่งโปรตีนและพลังงาน และสูตรที่ 3 ข้าวโพดหมักผสมหญ้าแห้งเพื่อเลี้ยงโคนมลูกผสมขาวดำเสริมด้วยอาหารข้นในอัตรา 1 กก.ต่อน้ำนมที่รีดได้ 2 กก. พบว่าโคที่ได้รับฟางหมักยูเรียมีแนวโน้มให้ปริมาณน้ำนมและน้ำนมปรับ 4% ไขมันมากกว่ากลุ่มที่ได้รับหญ้าแห้งและข้าวโพดหมัก คือ 16.85, 15.56, 16.61 กก.ต่อวัน และ 16.17, 14.59, 15.78 กก.ต่อวันตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปว่าฟางหมักยูเรียที่เสริมแหล่งพลังงานและโปรตีนสามารถนำไปใช้เลี้ยงโคนมแทนข้าวโพดหมักได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ใบกระถินแทนรำละเอียดและกากถั่วเหลืองในอาหารหยาบผสมครบส่วน

ดุจดาว (2548) ทำการทดลองใช้ใบกระถินแห้งแทนรำละเอียดและกากถั่วเหลืองเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารหยาบผสมที่มีหญ้าแห้งเป็นแหล่งเยื่อใย พบว่าโคกลุ่มที่ได้รับใบกระถินมีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำนมและน้ำนมปรับ 4% ไขมัน น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับรำละเอียดและกากถั่วเหลือง โดยมีปริมาณน้ำนม 19.29 เทียบกับ 20.29 กก.ต่อวัน และน้ำนมปรับ 4% ไขมัน

20.18 เทียบกับ 20.94 กก.ต่อวันตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับ มณีรัตน์ (2550) ที่ใช้ฟางข้าวร่วมกับใบกระถินเปรียบเทียบกับฟางข้าวร่วมกับรำละเอียดและกากถั่วเหลือง และหญ้าแห้งร่วมกับรำละเอียดและกากถั่วเหลือง เพื่อผลิตอาหารหยาบผสม ได้ผลว่า ปริมาณน้ำนมเท่ากับ 11.06, 11.28, 11.43 กก.ต่อวันและน้ำนมปรับ 4% ไขมันเท่ากับ 11.56, 13.02, 12.31 กก.ต่อวันตามลำดับ ซึ่งกลุ่มที่ใช้ใบกระถินผสมในอาหารหยาบผสมมีแนวโน้มการให้นมที่น้อยกว่าเมื่อใช้กากถั่วเหลืองและรำละเอียด ซึ่งอาจเป็นผลของส่วนประกอบโปรตีน ทั้งโปรตีนละลายได้ อัตราการย่อยสลายของโปรตีน และองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่แตกต่างกันระหว่างแหล่งโปรตีนทั้งสองชนิด จึงน่าจะมีการศึกษาถึงบทบาทและความสำคัญของปัจจัยดังกล่าวที่มีต่อโคนมต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved