บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ก. ประเภทของอาหารโคนม

โคนมเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีความสามารถเปลี่ยนอาหารที่มีเยื่อใยสูงจำพวกหญ้า และวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรให้เป็นพลังงานสำหรับร่างกาย ซึ่งอาหารโคนมแบ่งออกได้ 2 ประเภท คืออาหารหยาบและอาหารข้น

1. อาหารหยาบ (roughages) คือ อาหารที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตชนิดที่มีเยื่อใยสูงและมีความหนาแน่นน้อยได้แก่ พืชอาหารสัตว์ (forages) หญ้าสด หญ้าแห้ง หญ้าหมัก ต้นข้าวโพดสด ต้นข้าวโพดหมักและเศษเหลือทางการเกษตร เป็นต้น ซึ่งลักษณะโดยทั่วไปของอาหารหยาบจะมีความฟ่าม (bluk) มาก เมื่อเทียบเป็นหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตร มีเยื่อใยมากกว่า 18 % มีพลังงานและการย่อยได้ (digestibility) ต่ำกว่าอาหารข้นและมีลิกนินเป็นส่วนประกอบอาหารหยาบที่ใช้โดยทั่วไปได้แก่ หญ้ารูซี่

หญ้ารูซี่ (Ruzi grass) เป็นพืชอาหารสัตว์ชนิดหนึ่งที่นิยมปลูกในประเทศไทย มีถิ่นกำเนิดในประเทศแอฟริกาตะวันออกและแอฟริกากลาง มีการนำเข้าจากประเทศออสเตรเลียในปี 2511 โดยฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์คที่ อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี หญ้ารูซี่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brachiaria ruziziensis* ชื่อเรียกอื่นๆ คือ Ruzi grass, Congo signal grass หญ้ารูซี่เป็นหญ้าประเภทค้างปี มีการเจริญเติบโตกึ่งเลื้อยและกึ่งตั้ง ลักษณะต้นกลมแข็งเรียวเล็ก ไม่มีขนที่ลำต้น สูงประมาณ 1 เมตร ใบมีลักษณะคล้ายใบหอก ยาว 10 -25 เซนติเมตร กว้าง 10 -15 มิลลิเมตร ช่อดอกเป็นแบบ racemes ลักษณะการเจริญเติบโตคล้ายหญ้าขน แต่มีใบดกกว่าหญ้าขน มีเหง้าที่มีข้อสั้นมีรากแตกแขนงบริเวณโคนต้นแตกกอหนาแน่นและมีใบมาก มีการปรับตัวและเจริญได้ดีในเขตร้อน สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนชื้นที่น้ำฝนเฉลี่ย 1,000 มิลลิเมตร ขึ้นได้ดีดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงและมีการระบายน้ำดี แต่ไม่ทนต่อสภาพน้ำขังเป็นระยะเวลานาน สามารถอยู่รอดได้ในช่วงฤดูแล้งแต่ไม่ให้ผลผลิต หญ้ารูซี่สามารถปลูกด้วยหน่อพันธุ์หรือเมล็ดและเจริญเติบโตเต็มทีเมื่ออายุ 100 - 120 วันขึ้นไป เป็นพืชวันสั้น ออกดอกบ้างในช่วงวันยาว ในประเทศไทยจะเริ่มออกดอกตั้งแต่ต้นเดือนกันยายน (สายัณห์, 2547) และจะให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดีในช่วงฤดูฝนแต่จะลดลงในช่วงฤดูแล้ง โดยจะมีผลผลิตน้ำหนักแห้งอยู่ระหว่าง 600 – 3000 กิโลกรัมต่อไร่ ฉายแสงและคณะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2538) ได้ทำการศึกษาถึงระยะเวลาตัดที่มีต่อผลผลิตและคุณค่าทางอาหารของหญ้ารูซี่ โดยทำการตัดที่อายุ 60, 90, 120 วัน และตัดทุก 60 วัน 2 ครั้ง พบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าที่ได้เท่ากับ 984, 1515, 2008 และ 1672 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ ธนมณ (2550) ศึกษาการตัดหญ้ารูซี่ที่อายุ 30, 45 และ 60 วัน พบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าที่ได้เท่ากับ 262.70, 477.88 และ 635.74 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ ทั้งนี้การให้ผลผลิตจะขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินและลักษณะภูมิอากาศ คุณค่าทางโภชนะของหญ้ารูซี่พบว่าเมื่อมีอายุสูงขึ้นจะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลง ในขณะที่เยื่อใยเพิ่มขึ้น (ธนมณ, 2550) ดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ส่วนประกอบทางเคมี (% วัตถุแห้ง) ของหญ้ารูซี่ตัดที่อายุต่างกัน

Table 2.1 Chemical composition (%DM basis) of ruzi grass at different ages

อายุตัดวัน	CP	EE	Ash	NDF	ADF	Source
45	11.62	3.61	10.10	65.67	37.69	ฉายแสงและคณะ (2530)
45	7.50	1.41	13.10	64.40	46.30	รำไพรและคณะ (2546)
45	10.1	-	-	60.19	35.9	พิมพาพรและคณะ (2535)
60	8.0	-	-	57.90	40.8	พิมพาพรและคณะ (2535)
75	4.8	-	-	68.30	41.9	พิมพาพรและคณะ (2535)

ที่มา: ธนมณ (2550)

สุรชัยและคณะ(2546) ศึกษาการย่อยได้โดยใช้วิธีถุงไนลอนของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อน 4 ชนิดคือ อุบลพาสพาลัม รูซี่ จาราดิกิทและกินนี ตัดที่อายุ 30, 45 และ 60 วัน พบว่าหญ้ารูซี่และกินนีที่อายุ 30 วันมีการย่อยสลายได้ดีที่สุด (82.07 และ 84.23 %)

2. อาหารข้น (concentrate) หมายถึงอาหารที่มีเยื่อใยหยาบต่ำกว่า 18 % เมธา (2533) กล่าวว่าอาหารข้นได้จากการนำเอาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งพลังงาน โปรตีน และแร่ธาตุมาผสมกันในสัดส่วนที่จะให้โภชนะต่างๆเพียงพอกับความต้องการของสัตว์ในขณะนั้นๆ ส่วนวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนเช่น กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง กากเมล็ดฝ้าย เป็นต้น ส่วนแหล่งพลังงานเช่น เมล็ดข้าวโพด เมล็ดข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง ปลายข้าว เป็นต้น ซึ่งข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานที่มีคุณค่าทางโภชนะมากกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นเพราะมีโปรตีนสูงกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข.เมล็ดข้าวโพดและการแปรรูปเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารโคนม

ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีบทบาทต่อภาคปศุสัตว์โดยพบว่าร้อยละ 95 ของข้าวโพดที่ผลิตในประเทศจะใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารสัตว์ ข้าวโพดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* เป็นพืชตระกูลเดียวกับหญ้า มีลำต้นสูงโดยเฉลี่ย 2.5 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น 0.5 – 2 นิ้ว มีถิ่นกำเนิดในนิวเม็กซิโกแถบอเมริกาใต้ ปัจจุบันพบปลูกแพร่หลายในแถบอเมริกา แคนาดา ฯลฯ สามารถปลูกได้ในดินที่มีการระบายน้ำดี น้ำไม่ท่วมขัง หน้าดินควรลึกพอเหมาะกับรากข้าวโพด และมีความอุดมสมบูรณ์ สามารถปรับตัวได้ดีในบริเวณที่มีอุณหภูมิระหว่าง 20 – 30 องศาเซลเซียส โดยมีฝนตกเฉลี่ย 2,500 มิลลิเมตร (สายัณห์, 2547) ในประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลายสายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่ พันธุ์กัวเตมาลา พีบี12 (rep.1) พีบี 12 (rep.2) พีบี5 ข้าวเหนียวและโอเปค – 2 มีเมล็ดตั้งแต่สีขาว สีเหลืองไปจนถึงสีแดงขนาดของเมล็ดขึ้นอยู่กับพันธุ์ โดยทั่วไปจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.5 - 0.8 เซนติเมตร ก่อนนำมาเลี้ยงสัตว์จึงต้องนำมาบดให้มีขนาด 1 – 8 มิลลิเมตร เพื่อช่วยให้การย่อยและการผสมให้ได้ผลดีขึ้น

1) ชนิดของข้าวโพด

โดยทั่วไปข้าวโพดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มคือ

1. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือข้าวโพดไร่ (Field Corn) ที่รู้จักในปัจจุบันมีข้าวโพดหัวบุ๋ม (dent corn) และข้าวโพดหัวแข็ง (flint corn) ซึ่งเรียกตามลักษณะของเมล็ด

ข้าวโพดหัวบุ๋มหรือหัวบุบ ข้าวโพดชนิดนี้เมื่อเมล็ดแห้งแล้วตรงส่วนหัวบนสุดจะมีรอยบุ๋มลงไป ซึ่งเป็นส่วนของแป้งสีขาว (white starch) ข้าวโพดชนิดนี้สำคัญมากและนิยมปลูกกันมากในอเมริกา โดยเฉพาะทางแถบ corn belt สีของเมล็ดมีตั้งแต่สีขาวไปจนถึงสีเหลือง เนื่องจากมีหลายสายพันธุ์ ข้าวโพดชนิดนี้มีโปรตีนน้อยกว่าพวกข้าวโพดหัวแข็ง

ข้าวโพดหัวแข็ง ข้าวโพดชนิดนี้ส่วนบนสุดของเมล็ดมักมีสีเหลืองจัดและเมื่อแห้งจะแข็งมาก ภายในเมล็ดมีสารที่ทำให้ข้าวโพดมีสีเหลืองคือ cryptoxanthin ซึ่งสัตว์ได้รับ ร่างกายสัตว์จะเปลี่ยนสารนี้ให้เป็นไวตามินเอ นอกจากนี้สารนี้ยังช่วยให้ไข่แดงมีสีแดงเข้ม ช่วยให้ไก่มีผิวหนัง ปาก เนื้อและแข้งมีสีเหลืองเข้มข้น เป็นที่นิยมของตลาดโดยเฉพาะแถบอเมริกา ส่วนอังกฤษนั้นนิยมข้าวโพดขาว

2. ข้าวโพดหวาน (Sweet Corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทานไม่มีการแปรรูป เมล็ดมักจะใสและเหี่ยวเมื่อแก่เต็มที่ เพราะมีน้ำตาลมาก เมื่อทำให้สุกจะมีรสหวานมากกว่าชนิดอื่นๆ จึงเรียกข้าวโพดหวาน มีหลายสายพันธุ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ข้าวโพดคั่ว (Pop Corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน ไม่มีการแปรรูป เมล็ดค่อนข้างแข็ง มีสีและขนาดแตกต่างกัน ในต่างประเทศจะเรียกเมล็ดที่มีลักษณะแหลมว่า ข้าวโพดข้าว (rice corn) แต่ถ้าเมล็ดกลมจะเรียกว่า ข้าวโพดไข่มุก (pearl corn)

4. ข้าวโพดแป้ง (Flour Corn) เมล็ดมีสีหลายชนิด เช่น ขาว (ขุ่นๆ หรือปนเหลืองนิด ๆ) หรือน้ำเงินคล้ำ หรือมีทั้งสีขาวและสีน้ำเงินคล้ำในฝักเดียวกัน เนื่องจากกลายพันธุ์ พวกที่มีเมล็ดสีคล้ำและพวกที่กลายพันธุ์เรียกว่า ข้าวโพดอินเดียแดง (squaw corn) หรือเรียกอีกชื่อว่า ข้าวโพดพื้นเมือง (native corn) พวกข้าวโพดสีคล้ำนี้จะมีไนอะซีน สูงกว่าข้าวโพดที่มีแป้งสีขาว

5. ข้าวโพดเทียน (Waxy Corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน จะมีแป้งลักษณะเฉพาะคือนุ่มเหนียว เพราะในเนื้อแป้งประกอบด้วย amylopectin ส่วนข้าวโพดอื่นๆ มีแป้ง amylose ประกอบอยู่ด้วย จึงทำให้แป้งค่อนข้างแข็ง

สำหรับคุณค่าทางโภชนะของข้าวโพดคือ โปรตีนหยาบ 8 -13 % ซึ่งโปรตีนในข้าวโพดมี 2 ชนิดคือซีน (zein) จะพบในเนื้อชั้นใน (endosperm) มาก แต่มีคุณภาพต่ำเพราะขาดกรดอะมิโนที่จำเป็น 2 ตัวคือ ไลซีน และทริปโตเฟน ส่วนโปรตีนอีกชนิดหนึ่งคือ กลูเทลิน (glutelin) ซึ่งพบในเนื้อชั้นในน้อย แต่มักพบในคัพภะ (germ) โดยมีกรดอะมิโนที่จำเป็นดีกว่าซีนเพราะมีไลซีนและทริปโตเฟนประกอบอยู่ในปริมาณที่สูง ข้าวโพดมีแป้ง 65 % และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 13.8 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม (พันทิพา, 2547) ดังนั้นแป้งจากข้าวโพดจึงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ แต่การให้เมล็ดข้าวโพดแก่โคนมทั้งเมล็ดโดยไม่มีการแปรรูปจะทำให้เมล็ดไหลผ่านระบบทางเดินอาหารโดยถูกย่อยเป็นส่วนน้อย ซึ่งสอดคล้องกับเมธา (2533) ที่กล่าวว่าการให้สัตว์กินเมล็ดธัญพืชทั้งเมล็ดโดยไม่ผ่านการแปรรูปทำให้เมล็ดพืชผ่านทางเดินอาหารโดยถูกย่อยได้น้อย การแปรรูปเช่นการบดหรือการใช้ความร้อนจะเพิ่มการใช้ประโยชน์ให้แก่ตัวสัตว์ได้ นอกจากนั้น Herrera-saldana *et al.* (1990; อ้างโดย NRC, 2001) ยังกล่าวว่าการแปรรูปเป็นการลดขนาดและเปลี่ยนโครงสร้างซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถใช้ประโยชน์จากสารอาหารได้เพิ่มขึ้น ปัจจุบันรูปแบบของผลิตภัณฑ์จากเมล็ดข้าวโพดที่นิยมใช้กันคือข้าวโพดบดและข้าวโพดบีบแตก

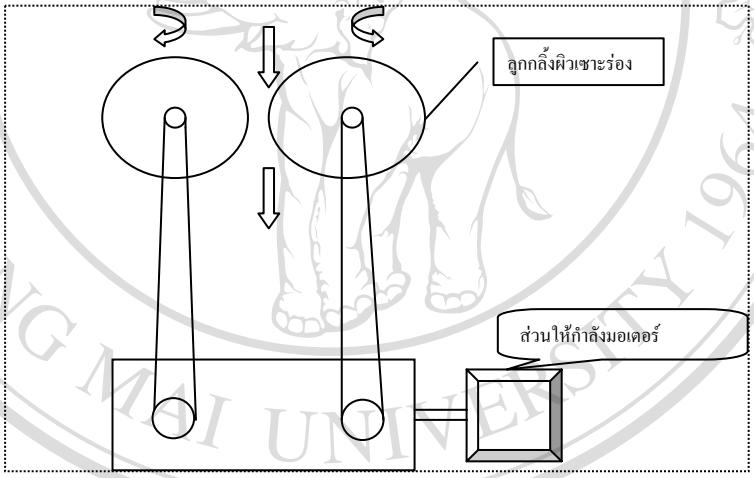
ข้าวโพดบด (Ground Corn) หมายถึงข้าวที่สีออกจากฝักแล้วนำมาบดหรือทำให้แตกออก ในต่างประเทศข้าวโพดบด หมายถึงข้าวโพดที่แยกเอาส่วนของเปลือกนอกของเม็ด (hull) และส่วนของจุดงอกหรือคัพภะของเมล็ดออกไปแล้วนำมาบด องค์ประกอบของโภชนะในข้าวโพดประกอบด้วยแป้ง 65 % มีเยื่อใยต่ำ มีพลังงานเมแทบอลิซึม (ME) สูง มีไขมัน 3 - 6 % มีโปรตีนรวม 8 - 13 % (พันทิพา, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) การแปรรูปข้าวโพดโดยการบีบให้แตก

กระบวนการแปรรูปโดยการบดเป็นวิธีที่นิยมที่สุด แต่มีข้อเสียคือทำให้อาหารละเอียดมากเกินไปและเป็นฝุ่นผง ดังนั้นการรีดให้เมล็ดแตก (cracking) โดยทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดแตก เมล็ดขยายออกไปแต่ไม่ขาดออกจากกัน จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจ ซึ่งพีระยุทธ(2551)ได้ศึกษากรรมวิธีผลิตข้าวโพดในรูปข้าวโพดนึ่งบีบแตกไว้ดังนี้

ข้าวโพดนึ่งบีบแตก (Steamed cracked corn) คือข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยนำเมล็ดมาแช่น้ำ 12 - 24 ชั่วโมง แล้วนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ 100 ºC เป็นเวลา 15 - 20 นาที จากนั้นนำมารีดเมล็ดด้วยเครื่อง roller mill โดยใช้ลูกกลิ้งสองลูกที่วางขนานกันและมีระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก 0.15 เซนติเมตร มีร่องลึก 0.1 เซนติเมตร ละสันร่องกว้าง 1 เซนติเมตร ลูกกลิ้งทั้งสองจะหมุนในทิศทางตรงกันข้ามโดยใช้แรงฉุดจากมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้าและทดแรงให้หมุนช้าลง ลักษณะเมล็ดของข้าวโพดที่ได้จะแตกออกแต่ไม่ขาดออกจากกัน ลักษณะของเครื่องมือแสดงในรูป 2.1



รูป 2.1. หลักการทำงานของเครื่องบีบเมล็ดข้าวโพด

Figure 2.1 Sketch of corn cracking machine.

โภชนะของข้าวโพดบีบแตกตามที่มีรายงานจากแหล่งต่างๆ ประกอบด้วย วัตถุแห้ง (Dry matter) 85.9-87.9 % โปรตีนหยาบ (Crude Protein) 7.8-10.2 % ไขมัน (Fat) 4.0-4.3 % เถ้า (Ash) 1.7-1.9 % Neutral Detergent Fiber (NDF) 10.9-17.2 % Acid Detergent Fiber (ADF) 3.0-5.9 % Non-Structural Carbohydrate (NSC) 65.4-74.5 % Non Fibrous Carbohydrate (NFC) 69.5 % แป้ง (Starch) 69.1-70.3 % โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total Digestible Nutrient, TDN) 88.3 % พลังงานย่อยได้ (Digestible Energy, DE) 3.76 Mcal/kg และพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (Net energy for lactation, NEL) 1.68 Mcal/kg ดังตาราง 2 .2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 โภชนะของข้าวโพดบีบแตก

Table 2.2 Nutrient content of cracked corn

องค์ประกอบโภชนะ	แหล่งอ้างอิง					
	1	2*	3*	4*	5	6
DM	-	-	85.9	-	-	87.9
Ash	-	-	1.7	-	1.8	1.9
CP	9.0	8.2	8.3	7.8	10.1	9.2
EE	-	-	4.3	4.0	-	4.0
NDF	17.2	10.7	11.2	11.3	13.0	9.2
ADF	3.5	3.0	5.9	3.2	3.0	-
NSC	65.4	73.9	74.5	70.6	-	-
NFC	69.5	-	-	-	-	-
Lignin	-	-	0.5	-	0.2	-
Starch	-	-	70.3	-	69.1	-
TDN	-	-	88.3	-	-	-
DE,Mcal/kg	-	-	3.76	-	-	-
NEL,Mcal/kg	-	-	-	1.68	-	-

DM = dry matter, CP = crude protein, EE = ether extract, NDF= Neutral detergent fiber
ADF= Acid detergent fiber, ADFIP = Acid detergent insoluble protein, NDFIP = Neutral detergent insoluble protein, NSC = Non structural carbohydrate, NFC = Non fibrous carbohydrate, TDN = Total digestible nutrient, DE = Digestible energy, NE= Net energy

* คือข้าวโพดบีบแตกที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน(unheat treatment before cracking)

แหล่งอ้างอิง: 1. Bach *et al.*(1999), 2. Lykos and Varga (1995), 3. Cunilleras *et al.*(2004)
4. Delahoy *et al.*(2003), 5. Blouin *et al.*(2002), 6. Tedeschi *et al.*(2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) การย่อยสลายของเมล็ดข้าวโพดบีบแตกในกระเพาะรูเมน

Lykos and Varga (1995) ศึกษาการย่อยสลายแป้งโดยเทคนิค *in situ* ของข้าวโพดนึ่งบีบแตก (steam - cracked corn) ข้าวโพดบด (fine grinding) และข้าวโพดผ่านไอน้ำแล้วรีดให้แบน (steam flaked corn) พบว่าข้าวโพดบีบแตกมีอัตราการย่อยสลายต่ำที่สุด รองลงมาคือข้าวโพดบดและข้าวโพดผ่านไอน้ำแล้วรีดให้แบน (44.4, 64.5และ75.4 % ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า

ข้าวโพดบดจะมีอัตราการย่อยสลายสูงแต่มีขนาดเล็กทำให้มีอัตราการไหลผ่านออกจากกระเพาะรูเมนสูงจึงมีการย่อยและการใช้ประโยชน์ของข้าวโพดบดไม่สมบูรณ์ (NRC, 2001) และยังอาจทำให้เกิดปัญหาสภาพเป็นกรดในกระเพาะหมักของโคที่ให้นมสูงด้วย

Knowlton *et al*. (1996) ศึกษาขนาดชิ้นของข้าวโพดที่มีต่อผลผลิตในกระเพาะรูเมนของโคนมโดยเทียบระหว่าง ข้าวโพดบดกับข้าวโพดบีบแตก พบว่าข้าวโพดบีบแตกจะมีอัตราการไหลผ่านของ NDF น้อยกว่าข้าวโพดบด (4.58 vs 5.80 % ต่อชั่วโมง) มี starch turnover time ปริมาณแป้งในกระเพาะรูเมน (starch ruminal pool size) และกรดไขมันแขนง (branched chain fatty acid) สูงกว่าข้าวโพดบด

Delahoy *et al*. (2003) ศึกษาการย่อยสลายได้ของวัตถุดิบอาหารพลังงานโดยใช้วิธีถุงไนลอนเปรียบเทียบระหว่างข้าวโพดบีบแตก (cracked corn) และ steam - flaked corn พบว่าข้าวโพดบีบแตกมี potentially degradable fraction และอัตราการย่อยสลายโปรตีนสูงกว่า (93.5, 78.7 % และ 3.2, 1.3 %/h ตามลำดับ) แต่มีอัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้งต่ำกว่า steam - flaked corn (4.2 และ 10.6 %/h)

Callison *et al*. (2001) ศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนโดยวิธีใช้ถุงไนลอนของข้าวโพดที่ผ่านกรรมวิธี 4 แบบคือ fine-ground corn (4.8 mm; FGC), medium-ground corn (2.6 mm; MGC), coarse-ground corn (1.2 mm; CGC) และ stream-rolled corn (SRC) พบว่า potential degradability ของ CGC สูงที่สุด รองลงมาคือ MGC, SRC และ FGC (94.5, 90.2, 80.1, 78.3 % ตามลำดับ)

ค. เมล็ดถั่วเหลืองแปรรูปกับการใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารโคนม

เมล็ดถั่วเหลืองไขมันเต็ม (Full Fat Soybean) หรือเมล็ดถั่วเหลืองเอ็กซ์ทรูด (extruded soybean) ได้จากการทำถั่วเหลืองดิบให้สุกด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์ โดยไม่มีการสกัดเอาไขมันออก ถั่วเหลืองชนิดนี้จะมีคุณค่าทางอาหารสัตว์สูงเป็นทั้งแหล่งโปรตีนและพลังงานโดยมีโปรตีนประมาณ 39.1 % และมีไขมันสูงถึง 20.1 % มีสาร trypsin inhibitor และเอนไซม์ยูรีเอสเหลืออยู่น้อยมาก Faldet *et al*. (1991) รายงานว่าสาร trypsin inhibitor ในเมล็ดถั่วเหลืองจะลดลง 44 mg/g เหลือ 16.1 mg/g ตามลำดับเมื่อผ่านการอบ นอกจากนี้แป้งยังมีลักษณะเป็น gelatin ทำให้สามารถย่อยได้ดีขึ้น โภชนะของเมล็ดถั่วเหลืองไขมันเต็มประกอบด้วย วัตถุแห้ง 92.25 % โปรตีนหยาบ 36.16 % ไขมัน 18.25 % เถ้า 5.20 % NDF 20.79 %, ADF 11.47 % (สมฤทัย, 2547) ถั่วเหลืองไขมันเต็มนิยมใช้ในอาหารสุกรและสัตว์ปีกเพราะมีพลังงานในรูปน้ำมันสูง แต่ไม่ค่อยนิยมใช้ในโคนมเพราะมีราคาแพงและมีไขมันสูงซึ่งจะไปขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน อย่างไรก็ตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในระยะหลังปี พ.ศ. 2549 ที่มีรายงานการตรวจพบ melamine ในกากถั่วเหลืองซึ่งนำเข้ามาจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนและมีสุกรและโคนมเจ็บป่วยหลังจากกินอาหารผสมกากถั่วเหลืองชุดนี้ จึงมีผู้หันมาใช้กากถั่วเหลืองไขมันเต็มเพิ่มขึ้น

ง. ประเภทของคาร์โบไฮเดรต และเมแทบอลิซึมคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

1) ชนิดของคาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

พืชทั่วไปจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบ 50 - 80 % ของปริมาณวัตถุแห้ง ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องแบ่งประเภทคาร์โบไฮเดรตตามลักษณะโครงสร้างออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. คาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้าง (Structural Carbohydrate, SC) คือ ส่วนที่สร้างความแข็งแรงของต้นพืชได้แก่ ส่วนเปลือกและแกนลำต้นหรือเรียกว่าส่วนผนังเซลล์ (cell wall) ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ลิกนิน และเพคติน (เมธา, 2533) คาร์โบไฮเดรตชนิดนี้ถูกย่อยสลายได้ช้าหรือมีการย่อยได้ต่ำ เมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรตชนิดที่ไม่เป็นโครงสร้าง (วิโรจน์, 2546) การย่อยสลายต้องอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์เช่น เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส เพราะน้ำย่อยจากตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยได้ (เมธา, 2533)

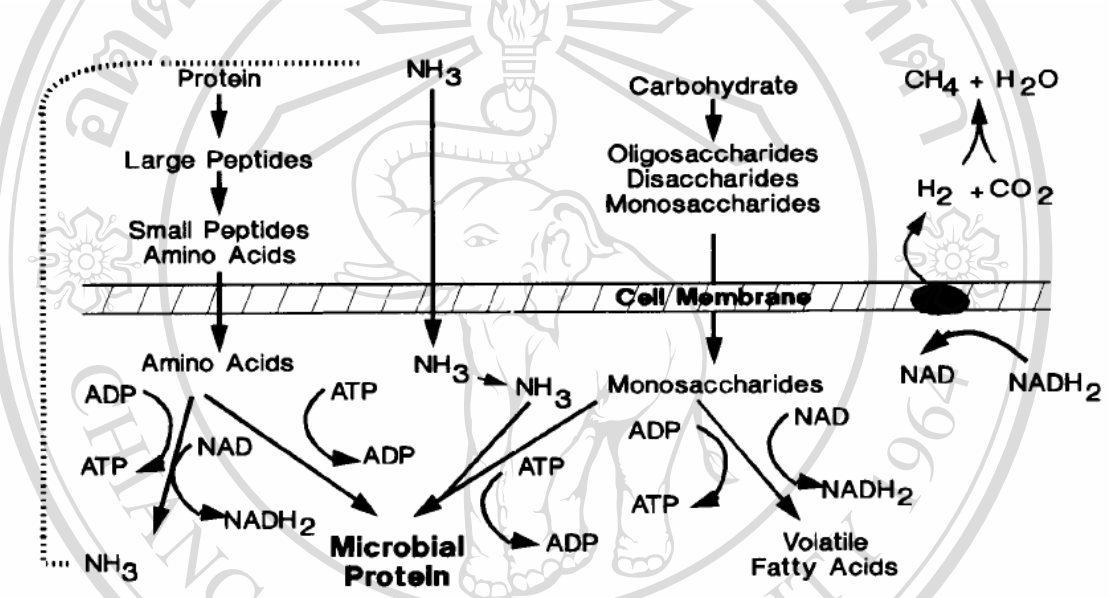
2. คาร์โบไฮเดรตประเภทที่ไม่ใช่โครงสร้าง (Non Structural Carbohydrate, NSC) คือ คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย เอนไซม์จากตัวสัตว์สามารถย่อยได้จึงใช้ประโยชน์ได้ดีทั้งในสัตว์กระเพาะเดี่ยวและสัตว์เคี้ยวเอื้องเช่น แป้งและน้ำตาล (บุญล้อม, 2546) และ NRC (2001) กล่าวถึงคาร์โบไฮเดรตประเภทที่ไม่ใช่โครงสร้างที่สามารถเรียกเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (Non Fibrous Carbohydrate, NFC) ได้แก่น้ำตาล แป้ง กรดอินทรีย์ต่างๆ และเพคติน (วิโรจน์, 2546) ซึ่ง NSC และ NFC แตกต่างกันที่วิธีวิเคราะห์โดย NSC หาโดยใช้เอนไซม์ ส่วน NFC หาโดยการหักลบคือเอาโปรตีน เถ้า ไขมัน และเยื่อใย NDF หักลบจากวัตถุแห้งรวมของอาหาร

2) เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในรูปของพอลิแซ็กคาไรด์จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเช่น กลูโคสหรือเพนโตสซึ่งน้ำตาลดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนแปลงในกระเพาะรูเมนอย่างรวดเร็วให้เป็นไพรูเวท ซึ่งเป็นตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยได้ ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้าย (end-produces) ที่สำคัญได้แก่กรดอะซิติก (acetic acid, C_2) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid, C_3) และกรดบิวทีริก (butyric acid, C_4) เป็นหลักดังรูป 2.2 ส่วนกรดไขมันชนิดอื่นๆเช่น กรด isobutyric, methylbutyric และ valeric ก็อาจจะเกิดขึ้นด้วยแต่ในปริมาณน้อยโดยการ deamination ของกรดอะมิโนในรูเมน กรดไขมันระเหยได้ที่ผลิตได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เหล่านี้จะใช้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกายถึง 80 %ของพลังงานที่สัตว์ต้องการ โดยกรดอะซิติกจะใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับร่างกายและมีบทบาทในการสร้างไขมันนมและไขมันในเนื้อ กรดโพรพิโอนิกมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนเป็นน้ำตาลที่ตับแล้วเข้าสู่กระแสเลือดและใช้ในการสังเคราะห์น้ำตาลในนม ส่วนกรดบิวทีริกจะถูกเปลี่ยนเป็น β-hydroxybutyrate ในระหว่างการดูดซึมที่ผนังกระเพาะรูเมนเพื่อใช้สังเคราะห์ไขมันนมในต่อมน้ำนมและสร้างเนื้อเยื่อไขมัน (บุญล้อม, 2541)



รูป 2.2. เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในกระเพาะรูเมน

Figure 2.2 Metabolism of carbohydrate and protein in the rumen.

ที่มา: Nocek and Russell (1988)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตพบว่าน้ำตาลจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว รองลงมาคือแป้ง ส่วนพวกที่เป็นโครงสร้างของพืช (เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส) จะเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด นอกจากนี้พลังงานที่ผลิตได้ในรูป ATP จากกระบวนการที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการคือ 1.ใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อดำรงชีวิต 2.ใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อสร้างเซลล์จุลินทรีย์ Nocek and Russell (1988) กล่าวว่าพลังงานมีความสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ ดังนั้นอาหารโคนมจึงต้องมีพลังงานให้จุลินทรีย์อย่างเพียงพอและในสัดส่วนที่เหมาะสมกับไนโตรเจนจึงจะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนมีประสิทธิภาพสูงสุด

จ. ประเภทของโปรตีนและเมแทบอลิซึมของโปรตีนในกระเพาะรูเมน

1) ชนิดของโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในด้านโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้องโดยทั่วไปแบ่งโปรตีนออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการสลายตัวในกระเพาะรูเมน คือ

1.โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (Rumen Degradable Protein, RDP หรือ Degradable Intake Protein, DIP) โดย NRC (1989) ได้จำแนกโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนตามการดูดซึมของโปรตีนหรือโปรตีนที่สัตว์ได้รับจริง (absorbed protein) โดยให้ความหมายของ DIP ว่าคือส่วนของโปรตีนที่สัตว์ได้รับจากโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน แต่ NRC (2001) ได้เปลี่ยนมาใช้ RDP ซึ่งหมายถึงส่วนของโปรตีนในอาหารที่มีการละลายได้ในกระเพาะรูเมน ซึ่งอาจจะมาจากส่วนของโปรตีนแท้ หรือ NPN ก็ได้

2.โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen Undegradable Protein, RUP หรือ Undegradable Intake Protein, UIP) ซึ่งหมายถึงส่วนของอาหารโปรตีนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักแต่จะไหลผ่านไปยังทางเดินอาหารส่วนถัดไปและอาจถูกย่อยที่ลำไส้เล็กส่วนต้นโดยเอนไซม์จากตัวสัตว์ ส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะขับออกจากร่างกายทางมูล เช่นโปรตีนที่ไปรวมกับผนังเซลล์พืชจากการผ่านความร้อน ซึ่งเอนไซม์ในลำไส้เล็กไม่สามารถย่อยได้ ตลอดจนโปรตีนในขนไก่ที่ไม่ผ่านการทรีต บายพาสโปรตีนจากพืชมักมีคุณภาพด้อยกว่าบายพาสโปรตีนจากสัตว์

2) เมแทบอลิซึมของโปรตีนในกระเพาะรูเมน

โปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหารรวมทั้ง mucoprotein ที่มีอยู่ในน้ำลายเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมนจะถูกย่อยสลายโดยการทำงานของแบคทีเรียและโปรโตซัว ซึ่งการสลายตัวของโปรตีนเริ่มจากขบวนการ proteolysis แยกรอยต่อของโครงสร้างโปรตีนโดยการ hydrolysis ตรง peptide bond (เทอดชัย, 2548) ได้เพปไทด์และกรดอะมิโนซึ่งกรดอะมิโนบางชนิดจะถูกย่อยต่อไปโดยกระบวนการ deamination ได้เป็นกรดอินทรีย์ แอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ จุลินทรีย์จะจับแอมโมเนีย เพปไทด์สายสั้นๆ และกรดอะมิโนอิสระไปสร้างโปรตีนของตัวมันเอง จากการทดลองพบว่า 80 %ของไนโตรเจนของจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์จากแอมโมเนีย ส่วนอีก 20 % ใช้กรดอะมิโนโดยตรง ประมาณ 59 %ของไนโตรเจนในอาหารจะถูกย่อยในกระเพาะรูเมน ปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกย่อย 29 %จะถูกใช้ประโยชน์เพื่อสร้างกรดอะมิโนและอีก 71 %จะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (เมธา, 2533)

ฉ. บทบาทของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในอาหารโคนม

โดยปรกติในกระเพาะหมักของโคนมจะใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีน และสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของพลังงาน โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จุลินทรีย์จะย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการเมแทบอลิซึมในเซลล์ในรูป Adenosine triphosphate (ATP) (Nocek and Russell, 1988) และใช้แหล่งไนโตรเจนจากโปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะหมักสร้างโปรตีน หากสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะหมักอยู่ในระดับที่เหมาะสมจะทำให้จุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์โปรตีนของตัวมันเองได้สูงสุด มีการเจริญเติบโตและแบ่งเซลล์ของตัวมันเองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การย่อยสลายของอาหารในกระเพาะหมักทั้งวัตถุแห้ง เฮมิเซลลูโลส และแป้งเพิ่มขึ้น แต่หากสัตว์ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่ำจะทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง ถ้าให้โคได้รับพลังงานสูงแต่มีโปรตีนในระดับต่ำก็จะทำให้การย่อยได้ของไนโตรเจนลดลง หรือถ้าได้รับโปรตีนมากแต่พลังงานต่ำก็จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลงเช่นกัน

จ. ชนิดของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนและผลที่มีต่อการให้ผลผลิต

คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารโคนมนั้นมีความสำคัญมากโดย Nocek and Russell (1988) ได้รายงานว่า NFC ที่ระดับ 40 % ในสูตรอาหารรวมเป็นระดับที่เพิ่มผลผลิตสูงสุดในโครีดนมที่ได้รับให้อัลฟัลฟ่าหมักรวมกับข้าวโพดหมักในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 สอดคล้องกับ Hoove and Miller (1991; อ้างโดย Batajoo and Shaver, 1997) ที่รายงานว่าระดับของ NFC ที่มากกว่า 45 - 50 % หรือต่ำกว่า 25 - 30 % จะมีผลเสียต่อการผลิตน้ำนม โดยระดับที่เหมาะสมคือประมาณที่ 35 - 40 % เช่นเดียวกับ Park *et al.* (2002) ที่รายงานว่าระดับของ NFC ที่ 35 - 42 % จะทำให้ผลผลิตน้ำนมสูงที่สุด Sommart *et al.*(1996; อ้างโดยปิ่นและเมธา, 2545) ได้ศึกษา NFC ในอาหารผสมครบส่วน (Total Mixed Ration, TMR) 3 ระดับ คือ 30, 35และ 40 % พบว่าปริมาณการกินได้ ปริมาณน้ำนมและโปรตีนนมเพิ่มขึ้นตามระดับของ NFC แต่ไม่มีผลกระทบต่อไขมันนมและของแข็งรวม NRC (2001) ได้รายงานว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของ NFC ในสูตรอาหารรวม มีค่าเท่ากับ 32 -43 % ซึ่งจะใกล้เคียงกับคาร์โบไฮเดรตชนิดที่ไม่เป็นโครงสร้างในสูตรอาหารรวมโดยมีค่าเท่ากับ 30 - 40 %

โปรตีนในโคนมนั้นมีความสำคัญเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของร่างกายประมาณ 10 - 20 % ประมาณว่าโคนมที่มีน้ำหนัก 400 กิโลกรัมจะมีโปรตีน 40 - 80 กิโลกรัม นอกจากนี้ในโคที่ให้นมยังต้องการโปรตีนเพื่อการสร้างน้ำนมด้วยโดยน้ำนมโคมีโปรตีนประมาณ 3.3 % ดังนั้นโคที่ให้น้ำนมวันละ 20 กิโลกรัม จะต้องใช้โปรตีนเพื่อสร้างนมวันละ 0.65 กิโลกรัมและถ้ายิ่งให้น้ำนมมากขึ้นก็ยิ่งต้องการโปรตีนเพิ่มขึ้น (ประสงค์, 2533; อ้างโดยกองฝึกอบรม กรมปศุสัตว์, 2535) โดยปรกติแล้วสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถในการเปลี่ยนโปรตีนที่มีคุณค่าต่ำให้มีคุณค่าทางโภชนะสูงขึ้นโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แต่ในโคนมที่อยู่ในช่วงที่ให้ผลผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูง ปริมาณและคุณค่าทางโภชนะของโปรตีนในอาหารที่สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้นั้นก็มีความสำคัญเช่นกัน

อนุชา (2542) กล่าวว่าแม่โคที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูงจะได้รับไนโตรเจนจากอาหารเป็นปริมาณน้อยกว่าไนโตรเจนที่ขับออกมาในน้ำนมรวมทั้งมูลและปัสสาวะ จึงทำให้เนื้อเยื่อร่างกายถูกดึงมาใช้ แต่ร่างกายก็ไม่สามารถดึงโปรตีนมาใช้ได้มาก ดังนั้นโปรตีนจึงมักขาดในระยะที่โคให้นมสูง

Stokes *et al*. (1991) ศึกษาการให้ NFC ต่อ DIP ที่ระดับต่างๆ 3 ระดับคือ 38:13.2, 31:11.8 และ 24:9 พบว่ามีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ 66.6, 65.1, 55.7 % ปริมาณ microbial N flow 317, 333, 202 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ 142.6, 121.4, 99 m*M* ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจน 21.2, 15.0, 8.0 ml/dl โคให้น้ำนมเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อได้รับ NFC:DIP 38:13.2 และ 31:11.8 และน้อยสุดที่เมื่อได้รับ NFC:DIP 24:9 ($P< 0.05$)

Aldrich *et al*. (1993) ศึกษาคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน (Rumen available nonstructural carbohydrate, RANSC) และโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน (Rumen available protein, RAP) 4 ระดับคือ ทรีตเมนต์ที่ 1 High RANSC: High RAP (80.7:65.0) ทรีตเมนต์ที่ 2 High RANSC: Low RAP (82.1:52.4) ทรีตเมนต์ที่ 3 Low RANSC: High RAP (71.1:65.2) ทรีตเมนต์ที่ 4 Low RANSC: Low RAP (67.6:51.1) พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ในทรีตเมนต์ที่ 1 และ 4 สูงกว่า ทรีตเมนต์ที่ 2 และ3 (17.0, 17.8 vs15.2, 14.2 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ($P< 0.05$) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนทรีตเมนต์ที่ 4 และ 1 สูงกว่า ทรีตเมนต์ที่ 3 และ 2 (42.7, 36.7 vs 35.5 , 29.3 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ, $P< 0.05$) และอัตราการไหลผ่านของแบคทีเรียไนโตรเจน ทรีตเมนต์ที่ 1 และ 4 สูงกว่า ($P< 0.05$) ทรีตเมนต์ที่ 2 และ 3 (262, 237 vs 234, 214 กรัมต่อวัน ตามลำดับ)

จะเห็นได้ว่าการมีสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายและโปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะหมักที่เหมาะสมจะทำให้จุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์โปรตีนของตัวมันเองได้สูงสุดโดยการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักนั้นจะใช้คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน สำหรับการเมแทบอลิซึมในเซลล์ในรูป Adenosine triphosphate (ATP) (Nocek and Russell, 1988) และใช้แหล่งไนโตรเจนจากโปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะหมักสร้างโปรตีนของตัวมันเอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved