บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 สภาพการเลี้ยงโค-กระบือ ในประเทศไทย

การเลี้ยงโค-กระบือ เป็นส่วนหนึ่งของระบบเกษตรรวมของชาวชนบท ซึ่งทำการเกษตรคือเพาะปลูกพืชเป็นหลัก (จรัญ, 2527) และในระบบการปลูกพืชของเกษตรกรนั้นส่วนมากนิยมเลี้ยงโคควบคู่กับกระบือ แต่จุดประสงค์ของการเลี้ยงแตกต่างกัน การเลี้ยงโคนั้นจุดประสงค์เพื่อการขาย ส่วนการเลี้ยงกระบือมีจุดประสงค์เพื่อใช้แรงงาน (จรัญ และคณะ, 2529; Wanapat, 1990) โดยทั่ว ๆ ไปการเลี้ยงโค-กระบือแบ่งออกได้ 3 แบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการเลี้ยงเป็นหลัก (จรัญ, 2527) คือ

1. การเลี้ยงแบบพื้นบ้าน เป็นระบบที่ชาวบ้านใช้เลี้ยงกันทั่ว ๆ ไป เลี้ยงเพื่อใช้แรงงานเป็นหลัก ผลพลอยได้ของการเลี้ยงแบบนี้คือ เมื่อสัตว์ปลดจากการใช้งานแล้วจะถูกนำไปขายหรือฆ่าเพื่อบริโภคเนื้อ และมูลยังสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยในการเพาะปลูกได้

2. การเลี้ยงแบบขุน เป็นระบบการเลี้ยงเพื่อผลิตเนื้อเป็นหลัก การเลี้ยงแบบนี้เหมาะสำหรับที่จะผลิตเนื้อคุณภาพดี

3. การเลี้ยงแบบฟาร์มปศุสัตว์ เป็นระบบการเลี้ยงที่ใช้พื้นดินกว้างขวางมาก มีการลงทุนขั้นต้นแพงเกี่ยวกับการพัฒนาพื้นที่และโรงเรือน การเลี้ยงแบบนี้มุ่งที่จะผลิตลูกและเนื้อจำหน่าย

Wanapat (1986) ได้แบ่งการเลี้ยงโค-กระบือ ในประเทศไทยออกเป็น 2 แบบ ตามลักษณะการจัดการ คือ การเลี้ยงเพื่อยังชีพ (subsistence) และการเลี้ยงแบบประณีต (intensive)

1. การเลี้ยงแบบยังชีพ เป็นลักษณะการเลี้ยงตามชนบทโดยทั่ว ๆ ไป โดยอาศัยพืชอาหารที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ปล่อยเลี้ยงให้สัตว์ได้แทะเล็มหญ้าตามธรรมชาติ ตามที่รกร้างว่างเปล่า และตามที่สาธารณะต่าง ๆ นอกจากนั้นยังอาศัยใบไม้ พุ่มไม้ รวมทั้งเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่มากมายในระบบการเพาะปลูกของเกษตรกรโดยทั่วไป

2. การเลี้ยงแบบประณีต เป็นการเลี้ยงที่มีระบบการจัดการที่ดี มีการดูแลเอาใจใส่ในด้านต่าง ๆ อย่างเข้มงวด มีจุดประสงค์ที่แน่นอนในระบบการผลิตโดยมุ่งหวังเพื่อให้ได้มาซึ่งผลกำไรในระยะเวลาอันสมควร ได้แก่การเลี้ยงโคนม และโคเนื้อคุณภาพดี

2.2 ปัญหาการเลี้ยงโค-กระบือ

การเลี้ยงโค-กระบือ ในปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมมากนัก เพราะเกษตรกรได้นำเครื่องจักรกลมาใช้แทนแรงงานโค-กระบือมากขึ้น และเกษตรกรบางส่วนได้อพยพไปทำงานตามโรงงานอุตสาหกรรมในเมืองใหญ่ ๆ ทำให้ขาดแคลนแรงงานในการทำการเกษตร นอกจากนี้พื้นที่ที่การเกษตรบางส่วนได้ถูกขายไปเพื่อการใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาการเลี้ยงโค-กระบือ

2.2.1 ปัญหาเรื่องปริมาณและคุณภาพของอาหารสัตว์

อาหารสัตว์ในเขตร้อนโดยเฉพาะประเทศไทยนั้น ปริมาณอาหารตามธรรมชาติมีความแปรปรวนสูงมากตามฤดูกาล ในฤดูฝนมีปริมาณมาก แต่ในฤดูแล้งจะมีปริมาณลดลงอย่างมาก และที่สำคัญคือ คุณภาพได้ลดต่ำลงไปด้วย ถ้าเปรียบเทียบคุณภาพอาหารสัตว์เขตร้อนกับเขตอบอุ่นมีความแตกต่างกันในด้านโปรตีน พลังงาน และการย่อยได้ของอาหารถึง 20 เปอร์เซ็นต์ (เมธา, 2533) ในประเทศไทยหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรเสร็จแล้ว เกษตรกรผู้เลี้ยงโค-กระบือส่วนมากจะเก็บรวบรวมเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่ในท้องถิ่นนั้น ๆ เช่น ฟางข้าว เพื่อใช้ในยามขาดแคลนโดยเฉพาะในฤดูแล้ง (Wanapat, 1990)

2.2.2 ปัญหาเรื่องการขาดแคลนพื้นที่เลี้ยงสัตว์

การขาดแคลนพื้นที่เลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะในฤดูฝนเนื่องจากพื้นที่ถูกนำไปใช้ในการเพาะปลูกเกือบหมด เกษตรกรจึงต้องนำโค-กระบือ ไปเลี้ยงตามป่าสาธารณะ หรือตามที่สูงซึ่งไม่สามารถทำการเพาะปลูกได้ (จรัญ และคณะ, 2529) ในปัจจุบันพื้นที่ทำการเพาะปลูกถูกขายหรือนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่าการทำเกษตร ทำให้พื้นที่สำหรับใช้เลี้ยงสัตว์ลดลง และในขณะเดียวกันทุ่งหญ้าธรรมชาติซึ่งเป็นแหล่งอาหารเลี้ยงโค-กระบือในชนบทก็ลดจำนวนลง ทำให้การเลี้ยงแบบเดิมคือต้อนไปเลี้ยงตามทุ่งหญ้า หรือตามที่สาธารณะทำได้ค่อนข้างจำกัด (ผกาพรรณ, 2539)

2.2.3 การขาดแคลนแรงงาน

การนำโค-กระบือไปเลี้ยงต้องคอยมีคนดูแลอยู่เสมอ เพื่อคอยระมัดระวังไม่ให้ไปเหยียบย่ำหรือทำลายผลผลิตของผู้อื่น (จรัญ และคณะ, 2529) การที่เกษตรกรเพาะปลูกพืชหลักได้เพียงอย่างเดียวในฤดูเพาะปลูกทำให้มีรายได้ในครัวเรือนไม่เพียงพอ สมาชิกในครอบครัวส่วนหนึ่งซึ่งอยู่ในวัยทำงานได้อพยพไปทำงานตามโรงงานอุตสาหกรรมตามเมืองใหญ่ ๆ ที่ห่างไกลจากท้องถิ่น เพื่อหารายได้มาจุนเจือครอบครัว ทำให้มีแรงงานในการทำการเกษตรลดลง เกษตรกรจึงนำเครื่องจักรกลมาใช้แทนแรงงานคน และโค-กระบือมากขึ้นเพราะทำงานได้รวดเร็ว ประหยัดเวลาและแรงงาน และไม่ต้องดูแลเอาใจใส่มากนักเมื่อเทียบกับการใช้แรงงานจากโคและกระบือ (ผกาพรรณ, 2539)

2.3 ทิศทางการพัฒนาการเลี้ยงโค-กระบือ ของประเทศไทยในช่วงแผนพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2540-2544)

กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2538) ได้รายงานว่า จากโครงสร้างการผลิตภาคเกษตร สาขาปศุสัตว์มีแนวโน้มที่จะมีความสำคัญมากขึ้น ทั้งนี้สังเกตุได้จากการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนการผลิตสาขาปศุสัตว์ นอกจากนี้ การผลิตปศุสัตว์โดยรวมก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความต้องการเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร สำหรับการส่งออกปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์นั้นยังมีปริมาณน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิต ยกเว้น ไก่เนื้อ

โค-กระบือ เป็นสัตว์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เพราะเกษตรกรส่วนหนึ่งยังต้องใช้โค-กระบือเป็นแหล่งของแรงงานสำหรับทำการเพาะปลูก และเมื่อสัตว์ถูกปลดจากการใช้งานก็จะถูกนำไปฆ่าเพื่อบริโภคเนื้อ หรือนำไปขายเพื่อแลกเปลี่ยนเป็นเงินตราต่อไป การเลี้ยงโค-กระบือ ในปัจจุบันได้พัฒนาจากการเลี้ยงแบบพื้นบ้านเป็นการเลี้ยงแบบประณีตเพื่อผลิตเนื้อและนมมากขึ้น ดังนั้นในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 รัฐบาลจึงได้วางเป้าหมายในการเลี้ยงโค-กระบือ เพื่อพัฒนาไปสู่อุตสาหกรรมการแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคทั้งภายในและต่างประเทศ

2.3.1 กระบือ

ปัจจุบันปริมาณกระบือได้ลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะในรอบ 2-3 ปีที่ผ่านมา สาเหตุการลดลงที่สำคัญคือปริมาณการฆ่าเพื่อบริโภคเพิ่มสูงมากตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น และเศรษฐกิจโดยรวมดีขึ้น ทำให้ประชากรมีความต้องการบริโภคอาหารโปรตีนมากขึ้น อีกทั้งการเลี้ยงกระบือ ของเกษตรกรยังไม่ได้รับการพัฒนาให้ทันกับความต้องการของตลาด และสภาพทางสังคมที่เปลี่ยนไป (จินตนา, 2539) ในระบบการเพาะปลูกเกษตรกรได้ใช้รถไถนาแทนการใช้แรงงานกระบือมากขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่ในเขตชลประทาน (ผกาพรรณ, 2539) ทำให้ปริมาณการเลี้ยงโค-กระบือลดลง ดังนั้นในปี 2538 กรมปศุสัตว์จึงได้เริ่มโครงการพัฒนากระบือขึ้นครั้งแรกชื่อว่า โครงการปรับปรุงพันธุ์กระบือ โดยการขยายฝูงกระบือปลักยอดเยี่ยมขึ้นจาก 300 แม่ เป็น 1,200 แม่ ตามสถานีหรือศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์ต่าง ๆ ของกรมปศุสัตว์และจัดตั้งกลุ่มผู้เลี้ยงกระบือขึ้น 600 กลุ่มทั่วประเทศ โดยจัดซื้อพ่อพันธุ์ดีไว้ให้เกษตรกรใช้ขยายพันธุ์ (จินตนา, 2539)

2.3.2 โคเนื้อ

ในช่วง 3 ปีแรกของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 จำนวนโคเนื้อเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ย 1.8 เปอร์เซ็นต์/ปี โดยในปี 2535 มีจำนวนทั้งหมด 5,815,470 ตัว และเพิ่มขึ้นเป็น 6,031,723 ตัว ในปี 2537 สำหรับจำนวนโคที่เข้าสู่ตลาดได้ในช่วงนี้มีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.8 เปอร์เซ็นต์/ปี โดยในปี 2535 มีจำนวน 1,570,500 และเพิ่มขึ้นเป็น 1,628,738 ตัว ในปี 2537 สำหรับในช่วงปีแรกของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (3538) คาดว่าจำนวนโคเนื้อจะมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.7 เปอร์เซ็นต์/ปี จำนวนโคที่สามารถเข้าสู่ตลาดได้จะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.7 เปอร์เซ็นต์/ปี

2.3.3 โคนม

ในช่วง 3 ปีแรกของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 จำนวนโคนมเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ย 16.9 เปอร์เซ็นต์/ปี โดยในปี 2535 มีจำนวนทั้งหมด 194,896 ตัว และเพิ่มขึ้นเป็น 266,119 ตัว ในปี 2537 และปริมาณการผลิตน้ำนมดิบเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 19.7 เปอร์เซ็นต์/ปี โดยในปี 2535 ผลิตได้ 227,784 ตัน และเพิ่มขึ้นเป็น 326,381 ตัน หรือวันละ 984.2 ตัน ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2538) คาดว่าจำนวนโคนมจะมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11.7 เปอร์เซ็นต์/ปี และปริมาณการผลิตน้ำนมดิบจะมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11.3 เปอร์เซ็นต์/ปี

2.4 การแบ่งชนิดอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การแบ่งชนิดอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยใช้ลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิดใหญ่ ๆ (ฉลอง, 2541) คือ

1. อาหารหยาบ หรืออาหารเยื่อใย ถือว่าเป็นอาหารพลังงานและอาหารหลักที่ขาดไม่ได้สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งสัตว์เคี้ยวเอื้องจะต้องได้รับอย่างน้อย 15 ส่วน ในอาหาร 100 ส่วน และถือได้ว่าอาหารเยื่อใยเป็นอาหารที่มีราคาถูก ได้แก่ หญ้าสด หญ้าแห้ง ฟางข้าว เป็นต้น

2. อาหารข้น หรืออาหารผสม (ทั้งอัดเม็ดและไม่อัดเม็ด) ถือว่าเป็นอาหารเสริมสำหรับเป็นแหล่งพลังงาน โปรตีน แร่ธาตุ และไวตามินที่สำคัญ เพื่อให้สัตว์เคี้ยวเอื้องได้โภชนะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต และให้ผลผลิต อาหารในกลุ่มนี้เป็นการนำเอาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีพลังงานและโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่สูงมารวมกันในสัดส่วนที่พอเหมาะเพื่อให้มีโปรตีน พลังงาน รวมทั้งไวตามินและแร่ธาตุในปริมาณที่สัตว์ต้องการ

2.5 ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารเยื่อใย

ในพืชจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ 75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ โพลิแซ็กคาร์ไรด์ (polysaccharide) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose), เฮไมเซลลูโลส (hemicelluolse), เพคติน (pectin), ฟรุกโตแซน (fructosan) และแป้ง (starch) มีส่วนน้อยเท่านั้นที่อยู่ในรูปของไดแซ็กคาร์ไรด์ (disaccharide) เช่น ซูโครส (sucrose) หรือโมโนแซ็กคาร์ไรด์ (monosaccharide) เช่น กลูโคส (glucose)

คาร์โบไฮเดรตถูกย่อยด้วยน้ำย่อยจากจุลินทรีย์ภายนอกเซลล์ (extracellular degradation) ได้เป็นโอลิโกแซ็กคาร์ไรด์ (oligosaccharide) สายสั้น ๆ เสียก่อนจึงส่งเข้าไปในเซลล์เพื่อ hydrolysed หรือ phosphorylative cleavage ได้เป็นโมโนแซ็กคาร์ไรด์ต่อไป (บุญล้อม, 2527)

ลักษณะและส่วนประกอบของเยื่อใยในผนังเซลล์ของพืชโดยทั่ว ๆ ไปประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามลักษณะและหน้าที่ คือ กลุ่มแรกทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของส่วนต่าง ๆ

ของพืช (structural polysaccharide) ได้แก่ พวกสารเยื่อใยต่าง ๆ คือ เซลลูโลส ไฮไมเซลลูโลส และเพคติน กลุ่มที่ 2 ทำหน้าที่เก็บสะสมแป้ง (storage polysaccharide) ได้แก่ พวกแป้ง น้ำตาล ฟรุกแตน (fructan), แมนแนน (mannan), กัม (gum) และอื่น ๆ (Theander and Aman, 1984) McCullough (1990) ได้จัดเพคตินไว้ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตที่เก็บสะสมแป้ง เนื่องจากมีกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นภายในกระเพาะรูเมนคล้ายกับแป้ง และน้ำตาล

1.1 เซลลูโลส เป็นโมเลกุลที่พบเป็นจำนวนมากในธรรมชาติ ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวด้วย β-1, 4 linked glucopyranosyl โดยไม่มีการแตกแขนง เซลลูโลสหนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสประมาณ 10,000 โมเลกุล เซลลูโลสตามธรรมชาติจะอยู่ในรูปผลึกเป็นส่วนใหญ่ และอัดแน่นล้อมรอบโดยผนังเซลล์ส่วนอื่น เซลลูโลสในกระเพาะรูเมนถูกย่อยด้วยเอนไซม์ cellulase ซึ่งผลิตโดยแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายเซลลูโลส ย่อยเป็น oligosaccharide ⟶ cellobiose ⟶ glucose หรือ glucose-1-phosphate กลูโคสที่เกิดในกระเพาะรูเมนจะสลายตัวอย่างรวดเร็วจึงไม่สามารถตรวจวัดได้ (บุญล้อม, 2527)

โครงสร้างการจับตัวกันของกลูโคสภายในเซลลูโลสในผนังเซลล์เป็นผลึก (crystalline) น้ำย่อยในร่างกายไม่สามารถเข้าย่อยสลายได้ต้องอาศัยน้ำย่อยจากจุลินทรีย์ การจับตัวเป็นผลึกทำให้เซลลูโลสไม่ละลายในกรด (Theander and Aman, 1984) ระดับการตกผลึก (degree of crystalline) จะมีส่วนสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับการย่อยได้ของเซลลูโลส (เมธา, 2533)

1.2 เฮไมเซลลูโลส มีความหลากหลายในโครงสร้าง เป็นพอลิเมอร์ที่มีสาขาของน้ำตาลกลุ่ม เฮกโซส (hexose), เพนโตส (pentose) และกรดยูโรนิค (uronic acid) อยู่ด้วย เฮไมเซลลูโลส ถูกย่อยได้เป็นไซโลไบโอส (xylobiose) และ ไซโลส (xylose) ตามลำดับ ไซโลสถูกเปลี่ยนโดยเอนไซม์ transketolase และ transaldolase ในวิถีเพนโตสฟอสเฟต (pentose phosphate pathway) ได้เป็น C_7 และ C_3 ซึ่งจะได้เป็น C_6 และ C_4 แล้ว C_4 ทำปฏิกริยากับ C_5 ได้เป็น C_6 (fructose-6-phosphate) และ C_3 (triose phosphate) ตามลำดับ สารตั้งต้นทั้งสองตัวนี้จะเข้าสู่วิถีไกลโคไลซีส (glycolysis pathway) ต่อไป (เมธา, 2533)

1.3 เพคติน มีโครงสร้างหลักเป็นกรดกาแลกทูโรนิก (galacturonic acid) และต่อด้วยแขนง เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลแรมโนส (rhamnose), อะราบิโนส หรือไซโลส สารพวกนี้ละลายน้ำได้ เพคตินถูกย่อยด้วยเอนไซม์ pectinesterase ได้เป็น methanal และกรดเพคติก (pectic acid) ซึ่งกรดเพคติกจะถูกย่อยด้วย polygacturonidase ซึ่งสร้างโดยโปรโตซัว (protozoa) ได้เป็นกรดกาแลกทูโรนิก แล้วเปลี่ยนเป็นไซโลสเข้าสู่วิถีเพนโตสฟอสเฟตได้เป็น fructose phosphate และ triose phosphate สารตั้งต้นทั้งสองตัวนี้จะเข้าสู่วิถีไกลโคไลซีสต่อไป (บุญล้อม, 2527)

1.4 ลิกนิน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอาหารหยาบ โดยเฉพาะในฟางธัญญพืชทั่ว ๆ ไป ลิกนินไม่ได้เป็นสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่แท้จริง แต่เป็นโพลิเมอร์ของฟีนิลโพรเพน (phenyl propane) ลิกนินที่อยู่ในพืชอาหารสัตว์เป็นตัวจำกัดการย่อยของเยื่อใยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน มีผลทำให้การย่อยได้ของสาร

เยื่อใยอื่น ๆ ลดลง โดยเฉพาะเซลลูโลส และเฮไมเซลลูโลส (Chesson, 1988) และมีผลทำให้สัตว์กินอาหารได้ลดลงเนื่องจากกระเพาะรูเมนเต็มเร็วขึ้น (Jung and Allen, 1995) ในรายงานของ Jung and Vogel (1986) กล่าวว่า เมื่อปริมาณของลิกนินในอาหารมากขึ้นจะไปมีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนะลดลง โดยเฉพาะการย่อยได้ของผนังเซลล์

กลไกที่ลิกนินไปยับยั้งการย่อยได้ของเซลลูโลส และเฮไมเซลลูโลสเป็นไปได้ 2 ทางคือ ทางกายภาพ (physical) และทางเคมี (chamical) ในทางกายภาพลิกนินอาจจะเป็นตัวที่ทำหน้าที่หุ้ม (encrust) ที่รอบ ๆ ผิวของเซลลูโลส และเฮไมเซลลูโลส ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าไปย่อยสลายได้ แต่ถ้านำอาหารนั้นมาบดให้ละเอียดจะทำให้การย่อยได้ของเซลลูโลส และเฮไมเซลลูโลสเพิ่มขึ้น สำหรับทางเคมีเชื่อว่าโมเลกุลของลิกนินอาจเชื่อมโยงโดยโครงสร้างทางเคมีกับสารเยื่อใยอื่น ๆ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าย่อยสลายได้ จึงเข้าใจว่าภายหลังจากการปรุงแต่งฟางด้วยด่างชนิดต่าง ๆ ทำให้การย่อยได้ของสารเยื่อใยในฟางข้าวเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากด่างไปทำลายการจับตัวของลิกนินให้แยกออกจากสารเยื่อใยเหล่านั้น (สุจิตรา, 2530 และ เมธา, 2533)

2.6 ระดับของเยื่อใยและคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในอาหารโคนม

คาร์โบไฮเดรตนอกจากเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของสัตว์เคี้ยวเอื้องแล้ว ยังเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนอีกด้วย จุลินทรีย์สามารถย่อยเซลลูโลสและเฮไมเซลลูโลสได้สูงถึง 50-80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแป้งและคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ถูกย่อยได้เกือบหมด (ฉลอง, 2541) ในแง่อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องคาร์โบไฮเดรตแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะโครงสร้าง คือ คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate) กับคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non-structural carbohydrate) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตทั้ง 2 ชนิดมีบทบาทต่อการให้น้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมแตกต่างกัน

2.6.1 ระดับของเยื่อใยในอาหารโคนม

การให้อาหารโคนม นอกจากโคจะได้รับโภชนะชนิดต่าง ๆ ครบตามที่ร่างกายต้องการแล้ว โคต้องได้รับ effective fiber อย่างน้อยจำนวนหนึ่ง เพื่อกระตุ้นให้มีการเคี้ยวเอื้อง และหลั่งน้ำลายเข้าสู่กระเพาะรูเมนมากขึ้น เพราะในน้ำลายที่หลั่งออกมาขณะบดเคี้ยวอาหารมีบัฟเฟอร์ (buffer) ช่วยปรับสภาพ pH ภายในกระเพาะรูเมนให้มีความเหมาะสมต่อการเข้าย่อยสลายเยื่อใยของจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ย่อยสลายเซลลูโลส (cellulolytic microorganism) (Santini et al., 1992) ถ้าโคได้รับเยื่อใยในปริมาณที่ไม่เหมาะสม จะทำให้การเคี้ยวเอื้อง การหลั่งน้ำลาย ความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย ไขมันในน้ำนม และสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิกลดลง (Beauchemin and Rode, 1997) ทำให้เกิด metabolic disoder เช่น acidosis หรือ abomasal displacement (Clark and Armentano, 1993) เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาเหล่านี้ NRC (1988) ได้แนะนำไว้ว่า ในอาหารโคนมควรมีระดับของ neutral-detergent fiber (NDF) 25-28 เปอร์เซ็นต์ และ acid-detergent fiber (ADF) 19-21 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเยื่อใยทั้งหมดที่โคได้รับประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ควรเป็นเยื่อใยที่ได้จากแหล่งของพืชอาหารสัตว์ ระดับของ NDF ในอาหารมีความ

สัมพันธ์กับปริมาณน้ำนม และ 4%FCM (4% fat corrected milk) แบบ quadratic และมีความสัมพันธ์ในเชิงลบแบบเส้นตรง (linear) กับปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (Briceno et al., 1987) การเพิ่มระดับของ NDF ในอาหารให้สูงขึ้นโคจะกินอาหารได้น้อยลง (Ruiz et al., 1995; Beauchemin et al., 1994a) และส่งผลให้ปริมาณน้ำนมลดลงตามไปด้วย (Ruiz et al., 1995, Beauchemin et al., 1994a; Beauchemin and Buchanan-smith, 1989; Beauchemin, 1991) เพราะการคำนวณสูตรอาหารให้มีระดับ NDF สูงขึ้นเป็นการเพิ่มสัดส่วนของการใช้อาหารหยาบต่ออาหารข้นสูงขึ้น ทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งลดลง ดังนั้นโคจึงได้รับพลังงานสุทธิสำหรับนำไปใช้ผลิตเป็นน้ำนม (net energy for lactation, NE_L) น้อยลง ส่งผลให้ปริมาณน้ำนมลดลง (Ruiz et al., 1995; Beauchemin, 1991) ในทางตรงข้ามระดับ NDF ที่สูงขึ้น จะทำให้โคใช้เวลาในการเคี้ยวเอื้อง และเปอร์เซ็นต์ของไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น (Beauchemin et al., 1994a; Beauchemin and Buchanan-Smith, 1989; Beauchemin, 1991) ในกระเพาะรูเมนความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และ pH มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระดับของ NDF ในอาหารสูงขึ้น (Beauchemin, 1991)

ระดับของเยื่อใยที่เหมาะสมในอาหารโคนมขึ้นอยู่กับระดับการให้ผลผลิตของโค และชนิดของอาหารเยื่อใยเป็นสำคัญ โคที่ผลิตน้ำนม 15 กก. 4%FCM และใช้ถั่วอัลฟัลฟ่าเป็นอาหารเยื่อใยหลัก ควรมีระดับ NDF และ ADF เท่ากับ 45 และ 39 เปอร์เซ็นต์ และโคที่ผลิตน้ำนม 40 กก. 4%FCM ควรมีระดับ NDF และ ADF เท่ากับ 25 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (Kawas et al., 1991) โคที่ใช้ข้าวบาร์เลย์เป็นแหล่งอาหารหลักควรมีระดับ NDF อย่างน้อย 32 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทำให้กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนดำเนินไปได้ตามปกติ (Beauchemin et al., 1994a) Woodford et al. (1986) ได้รายงานว่า อาหารที่มี NDF และ ADF เท่ากับ 27 และ 18 เปอร์เซ็นต์ โคจะให้ 4%FCM ได้สูงที่สุด (32.3 กก.) และยังสามารถป้องกันการลดลงของไขมันในน้ำนมได้อีกด้วย การคำนวณสูตรอาหารโดยใช้ระดับของ ADF เป็นหลักเมื่อระดับของ ADF ในอาหารสูงขึ้น (14, 17 และ 20 เปอร์เซ็นต์) โคจะกินอาหาร และให้ปริมาณน้ำนมลดลง (Cummins, 1992)

แหล่งของอาหารเยื่อใยและระดับของ NDF ในอาหารมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับปริมาณน้ำนม, 4%FCM และปริมาณการกินได้ อาหารที่ใช้เปลือกเมล็ดฝ้าย (cotton seed hull) เป็นแหล่งอาหารเยื่อใยจะให้ปริมาณน้ำนมสูงสุดเมื่อมีระดับของ NDF เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ อาหารที่ใช้ข้าวโพดหมัก (corn silage) เป็นแหล่งอาหารเยื่อใยจะให้ปริมาณน้ำนมสูงสุดเมื่อมีระดับของ NDF อย่างน้อยเท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์ (Briceno et al., 1987) และนอกจากนี้ยังสามารถใช้เยื่อใยจากแหล่งอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เยื่อใยจากอาหารหยาบ เช่น เมล็ดฝ้ายทั้งเมล็ด (whole cotton seed) และ สาเหล้าแห้ง (dried distiller grain) เป็นแหล่งของเยื่อใยทดแทนถั่วอัลฟัลฟ่าได้เป็นอย่างดี (Clark and Amentano, 1993) ในรายงานของ Poore et al. (1991) การใช้อาหารหยาบคุณภาพต่ำคือฟางข้าวสาลี (wheat straw) ทดแทนอาหารหยาบคุณภาพดีคืออัลฟัลฟ่าเฮย์ ในสูตรอาหารควรมีสัดส่วนของ NDF จากพืชอาหารสัตว์ (forage neutral detergent fiber; FNDF) ต่อแป้งที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (ruminally degradable starch; RDS) อย่างน้อย 1:1

2.6.2 ระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non-structural carbohydrate, NSC หรือ non-fiber carbohydrate, NFC) ในอาหารโคนม

คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง เป็นส่วนขององค์ประกอบทางเคมีของพืช ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ง่าย ประกอบไปด้วย แป้ง น้ำตาล และเพคติน คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างจะไม่สร้างพันธะกับลิกนินในผนังเซลล์ของพืช และสามารถย่อยได้เกือบสมบูรณ์ (90-100 เปอร์เซ็นต์) ในกระเพาะรูเมน (Nocek and Tamminga, 1991) กาแลกแตน (galactan) พบมากในถั่ว ฟรุกโตแซน (fructosan) พบมากในหญ้าเขตอบอุ่น (Van Soest, 1982) และ β-glucan เป็นองค์ประกอบพิเศษที่พบในผนังเซลล์ของหญ้า รำข้าวโอ๊ต (oat), ข้าวบาร์เล่ย์และข้าวไร (rye) (Aman and Hessleman, 1985)

คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญมากสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และมีความสัมพันธ์กับปริมาณ และคุณภาพของน้ำนม การเพิ่มระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในอาหารให้สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำนม และโปรตีนในน้ำนม ในขณะเดียวกันก็จะไปมีผลต่อการลดลงของไขมันในน้ำนม และก่อให้เกิดความผิดปกติทางสรีระวิทยา เช่น bloat, acidosis หรือ laminitis เป็นต้น (Coomer and Amos, 1992) Stokes et al. (1991a) ได้ศึกษาระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง 3 ระดับคือ 25, 37 และ 54 เปอร์เซ็นต์ ศึกษาโดยวิธีการ continuous culture เมื่อระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในอาหารสูงขึ้น ทำให้การย่อยได้ของ NDF และโปรตีนสูงขึ้น เพิ่มกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด กรดโพรพิโอนิก และ bacteria-N อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง 37 เปอร์เซ็นต์ จะให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนะ, bacterial efficiency และกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดสูงที่สุด

จากการทดลองกับโคนม การเพิ่มระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในอาหารทำให้โคกินอาหารได้เพิ่มขึ้น (เมื่อคิดต่อหน่วยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว) (Sievert and Shaver, 1990; MacGregor et al., 1983), เพิ่มการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (Feng et al., 1993; Coomer et al., 1993; Sievert and Shaver, 1993) อินทรีย์วัตถุ และ โปรตีน (Stokes et al., 1991b) แต่ทำให้การย่อยได้ของ NDF และ ADF (Coomer et al., 1993, Sievert and Shaver, 1993) และเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง (Feng et al., 1993; Coomer et al., 1993; Sievert and Shaver, 1990; Stokes et al., 1991b)

เมื่อระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในอาหารสูงขึ้นจะทำให้เกิดสภาวะความเป็นกรดในกระเพาะรูเมน (pH มีระดับต่ำกว่า 6.1) ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้การย่อยได้ของ NDF ในกระเพาะรูเมนลดลง (Feng et al., 1993) เพราะโดยปกติระดับของ pH ที่มีความเหมาะสมต่อการย่อยได้ของเยื่อใยควรอยู่ในระดับ 6.5-7.0 (Russell et al., 1979) Stokes et al. (1991b) ได้รายงานว่าระดับของ pH ที่ 6 ชั่วโมงหลังจากให้อาหารโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง 38 เปอร์เซ็นต์ มี pH ต่ำที่สุด (5.7) และหลังจากนั้น pH ก็สูงขึ้นเรื่อย ๆ จนมากกว่า 6 ซึ่งเหตุการณ์ที่เกิดในช่วงเวลาสั้น ๆ และเกิดเป็นวงจร (cycle) ไม่น่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลายเซลลูโลสมากนัก และการย่อยได้ของ NDF ก็ไม่ต่างกัน MacGregor et al. (1983) ได้ทดลองเพิ่มคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในอาหารจาก 25 เป็น 33 เปอร์เซ็นต์ ทำให้โคผลิตน้ำนมและเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ปราศจากไขมันเพิ่มขึ้น แต่

เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมจะลดลง ซึ่งขัดแย้งกับรายงานของ Feng et al. (1993) ที่เพิ่มคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง 29 เป็น 39 เปอร์เซ็นต์ โคจะผลิตน้ำนมและ 4%FCM ลดลงเนื่องจากอาหารที่มีระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง 29 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการไหลผ่านของของแข็งและของเหลวออกจากกระเพาะรูเมนได้เร็วขึ้น ทำให้โคได้รับ non-ammonia-N และ bacterial-N มากกว่า จึงให้ปริมาณน้ำนมมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง 39 เปอร์เซ็นต์ ในรายงานของ Sarwar et al. (1992) การลดระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในอาหาร (47, 35 และ 25 เปอร์เซ็นต์) ทำให้ 4%FCM และปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำนมในอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง 35 และ 25 เปอร์เซ็นต์ น่าจะมีผลมาจากการเสริมไขมัน (Ca-soap) เพื่อเป็นแหล่งของพลังงานในอาหารสำหรับนำไปใช้ผลิตเป็นน้ำนมมากว่า Elliott et al. (1995) ได้รายงานว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง 27 และ 37 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลทำให้ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมไม่แตกต่างกัน และมีแนวโน้มว่าเมื่อเสริมไขมันในอาหาร (2.5 เปอร์เซ็นต์) โคจะให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น

การเพิ่มคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในอาหารให้สูงขึ้น ในกระเพาะรูเมนจะมีการผลิตกรดโพรพิโอนิกเพิ่มขึ้น แต่กรดอะซิติก และสัดส่วนระหว่างกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิกจะลดลง ทำให้ปริมาณไขมันในน้ำนมลดลง (Sarwar et al., 1992) Firkins and Eastride (1992) ได้แนะนำว่า ในอาหารควรเติมบัฟเฟอร์ลงไปเพื่อป้องกันไขมันในน้ำนมไม่ให้ลดลง จากรายงานของ Nocek and Russell (1988) ได้แนะนำว่า ในอาหารควรมีความสมดุลระหว่างพลังงานและเยื่อใยเพื่อรักษาความสมดุลภายในกระเพาะรูเมน และทำให้สัตว์มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง ปริมาณน้ำนมและไขมันในน้ำนมสูงสุด ระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในอาหารควรอยู่ในระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ และหรือมีสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างต่อ NDF เท่ากับ 0.9-1.2 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการให้ปริมาณน้ำนมสูงสุด McCullough (1990) ได้แนะว่าในอาหารโคนมไม่ควรมีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างเกิน 35 เปอร์เซ็นต์ และ Stokes et al. (1991b) ได้รายงานว่า ระดับที่เหมาะสมของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างควรอยู่ในช่วง 31-39 เปอร์เซ็นต์

2.7 ความสำคัญของกรดไขมันที่ระเหยได้ในกระเพาะรูเมน

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญทั้งต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนและต่อตัวสัตว์เองประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ย่อยได้ทั้งหมดได้มาจากกรดไขมันที่ระเหยได้ และอีก 30 เปอร์เซ็นต์ มาจากเซลล์ของแบคทีเรีย (bacteria cell constituent) (Preston and Leng, 1987) พลังงานที่อยู่ในรูปต่าง ๆคือ พลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy, DE) 3-42 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่ใช้ในการดำรงชีวิต (net energy for maintenance, NE_m) 70 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานรวม (gross energy, GE) 70-80 เปอร์เซ็นต์ ได้มาจากกรดไขมันที่ระเหยได้ (เมธา, 2533) กรดไขมันที่ระเหยได้ที่สำคัญในกระเพาะรูเมน ได้แก่กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก ส่วนกรดอื่น ๆ ที่พบแต่มีปริมาณน้อยได้แก่ กรดไอโซวาเลอริก กรดวาเลอริก

และ กรด 2-เมทิวบิวทิริก (2-methyl butyric acid) (เมธา, 2533; Dijkstra, 1994; Ørskov, 1994) ชนิดของกรดไขมันที่ระเหยได้ในกระเพาะรูเมนขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของอาหารเป็นสำคัญ อาหารหยาบจะให้กรดอะซิติกในปริมาณมาก และให้กรดโพรพิโอนิกในปริมาณน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาล (Dijkstra, 1994; Ørskov, 1994) อาหารโปรตีนจะให้กรดไขมันที่มีสาขา (branch-chain fatty acid) ในปริมาณมาก (Ørskov, 1994)

สัตว์เคี้ยวเอื้องจะใช้กรดโพรพิโอนิก 80-90 เปอร์เซ็นต์เป็นสารตั้งต้น (precursor) ในการสังเคราะห์น้ำตาลกลูโคส (Preston and Leng, 1987) ในโคนมพบว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของกลูโคสได้มาจากการสังเคราะห์จากกรดโพรพิโอนิก (เมธา, 2533) Dijkstra (1994) รายงานว่า โคที่อยู่ในระยะไม่อดอาหาร (non-fasting) จะใช้กรดโพรพิโอนิกในการสังเคราะห์น้ำตาลกลูโคส 46-73 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันที่ระเหยได้ที่ถูกผลิตขึ้นในกระเพาะรูเมนแต่ละตัวมีบทบาทและความสำคัญต่อการให้น้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมแตกต่างกัน โดยกรดอะซิติกมีบทบาทต่อการเพิ่มปริมาณน้ำนม และไขมันในน้ำนม กรดบิวทิริกมีบทบาทต่อการเพิ่มไขมันในน้ำนม และกรดโพรพิโอนิกมีบทบาทต่อการเพิ่มโปรตีนในน้ำนม ในทางตรงข้ามกรดโพรพิโอนิกจะไปมีผลทำให้ไขมันในน้ำนมลดลง (Thomas and Martin, 1988 อ้างถึงโดย Dijkstra, 1994) สอดคล้องกับ Sutton (1985) ที่รายงานว่า โคนมที่ได้รับอาหาร (ข้าวบาร์เล่ย์ หรือข้าวโพด) ที่หมักในกระเพาะรูเมนแล้วได้กรดโพรพิโอนิกในปริมาณสูง และได้กรดอะซิติกและกรดบิวทิริกในปริมาณต่ำ โคจะผลิตน้ำนมและโปรตีนในน้ำนมสูงขึ้น แต่ให้ปริมาณไขมันในน้ำนมลดลง จากการทดลองฉีดกรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริกเข้าไปในกระเพาะรูเมน เมื่อกรดโพรพิโอนิกเพิ่มขึ้น โคสามารถผลิตน้ำนมได้เพิ่มขึ้น (Blauwiekel et al., 1992; Miettinen and Huhtanen, 1996) ในทางตรงข้ามทำให้ไขมันในน้ำนมลดลง (Hurtaud et al., 1993; Huhtanen et al., 1993; Miettinen and Huhtanen, 1996)

ในรายงานการทดลองส่วนมากมีการกล่าวถึงอัตราส่วนระหว่าง non-glucogenic VFA (กรดอะซิติก และ กรดบิวทิริก) และ glucogenic VFA (กรดโพรพิโอนิก) เพราะเกี่ยวข้องกับการให้น้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม (Dijkstra, 1994) โดยสัดส่วนของ non-glucogenic VFA ต่อ glucogenic VFA จะมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาหารที่ใช้เมล็ดธัญญพืช (grain), อาหารหยาบคุณภาพต่ำ และกากน้ำตาล เป็นอาหารหลัก ควรจะมีสัดส่วนของ non-glucogenic VFA ต่อ glucogenic VFA เท่ากับ 1.3, 6.3 และ 4.8 ตามลำดับ (Preston and Leng, 1987) โดยปกติกรดอะซิติกในพลาสมามีปริมาณมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ถ้ามีระดับต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ จะแสดงถึงสภาวะการขาดน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือด โคจะขับยูเรียออกมาทางปัสสาวะมากขึ้นเนื่องจากโปรตีนบางส่วนถูกนำไปสังเคราะห์เป็นน้ำตาลกลูโคส (Ørskov and McLeod, 1990 อ้างถึงโดย Ørskov, 1994) จากรายงานของ Huhtanen et al. (1993) เมื่อโคได้รับกรดบิวทิริกเพิ่มขึ้น ยูเรียในพลาสมาจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการใช้กรดอะมิโนในการสังเคราะห์น้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้กรดไขมันที่ระเหยได้ยังมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายเซลลูโลส แบคทีเรียกลุ่ม *Bacteriod succinogens* ต้องการกรดวาเลอริกร่วมกับกรดไอโซบิวทิริก หรือกรดวาเลอริกร่วมกับกรด 2-เมทิวบิวทิริก แบคทีเรียกลุ่ม *Ruminococcus albus* ต้องการกรดไอโซ

บิวทิริก หรือกรดวาเลอริกร่วมกับกรด 2-เมทิวบิวทิริก และแบคทีเรียกลุ่ม *Ruminococcus flavefacien* ต้องการ กรดไอโซบิวทิริก ร่วมกับกรด 2-เมทิวบิวทิริก (Dehority et al., 1967)

ในกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมันที่ระเหยได้การเพิ่มสัดส่วนของกรดโพรพิโอนิกให้สูงขึ้นทำให้การผลิตก๊าซมีเทน (methane) ของแบคทีเรียกลุ่มที่สังเคราะห์ก๊าซมีเทน (methanobacteria) ลดลงเนื่องจากการสังเคราะห์กรดโพรพิโอนิก 2 โมล จากน้ำตาลกลูโคส 2 โมล ต้องการใช้ไฮโดรเจน (H_2) 2 โมล ซึ่งไม่มีก๊าซเกิดขึ้นเลย ส่วนการสังเคราะห์กรดอะซิติก 2 โมล จากน้ำตาลกลูโคส 1 โมล ได้ก๊าซไฮโดรเจน เกิดขึ้น 4 โมล และไฮโดรเจนที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน 1 โมล (เมธา, 2533; Ørskov, 1994)

2.8 การดูดซึมกรดไขมันที่ระเหยได้เข้าสู่เซลล์

กรดไขมันที่ระเหยได้ส่วนใหญ่ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ถูกดูดซึมในกระเพาะรูเมน และอีก 25 เปอร์เซ็นต์ ดูดซึมที่กระเพาะส่วนหลัง โดยใช้วิธีการแพร่ธรรมดา (simple diffusion) (Preston and Leng, 1987; Dijkstra, 1994) กรดไขมันในกระเพาะรูเมนส่วนใหญ่อยู่ในรูป VFA^- ซึ่งเป็นอันตรายต่อเซลล์ชั้น epithelium เมื่อเข้าสู่เซลล์ VFA^- จะถูกเปลี่ยนรูปเป็น VFA ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ เนื่องจากค่า pK ของกรดไขมันที่ระเหยได้มีค่าต่ำประมาณ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบกับ pH ของของเหลวในกระเพาะรูเมนประมาณ 7 (Ørskov, 1994; Dijkstra, 1994) การดูดซึมกรดไขมันที่ระเหยได้เข้าสู่เซลล์อาศัยการแลกเปลี่ยน H^+ จาก Na^+/H^+ exchanged ขณะที่ Na^+/H^+ exchanged ทำงานจะกระตุ้นให้ Cl^-/HCO_3^- exchanged ทำงานควบคู่กันไปด้วย (Dijkstra, 1994)

อัตราการดูดซึมกรดไขมันที่ระเหยได้ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน ถ้า pH ลดลง อัตราการดูดซึมจะเร็วขึ้น (Ørskov, 1994; Dijkstra, 1994) กรดไขมันที่ระเหยได้แต่ละตัวมีอัตราการดูดซึมไม่เท่ากัน เมื่อ pH เท่ากับ 6.6 กรดอะซิติกมีอัตราการดูดซึมสูงกว่ากรดโพรพิโอนิกและกรดบิวทิริก (เมธา, 2533) เมื่อ pH มีค่าสูงขึ้น (6.8-8.0) อัตราการดูดซึมของกรดไขมันที่ระเหยได้ไม่แตกต่างกัน (Oshio and Tahata, 1984) Dijkstra et al. (1993) พบว่า กรดอะซิติกมีอัตราการดูดซึมลดลงเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ลดลง ส่วนกรดโพรพิโอนิกและกรดบิวทิริกมีอัตราการดูดซึมเพิ่มขึ้นเมื่อมีกรดไขมันที่ระเหยได้มีความเข้มข้นมากขึ้น การเพิ่ม pH จาก 4.5 เป็น 7.2 อัตราการดูดซึมของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก จะมีค่าลดลง

2.9 การให้อาหารผสมสำเร็จในโคนม

การให้อาหารโคนมในปัจจุบัน นิยมแยกให้ระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น โดยให้อาหารข้นในช่วงที่รีดนม และให้อาหารหยาบกินตลอดเวลาหลังจากรีดนมเสร็จแล้ว การแยกให้ระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบจะทำให้การใช้ประโยชน์ของโภชนะ โดยเฉพาะพลังงานและโปรตีนที่ปลดปล่อยออกมาไม่มีความต่อเนื่อง

เป็นผลให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง รวมทั้งนิเวศวิทยาภายในกระเพาะ รูเมนไม่เหมาะสมต่อการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ (ฉลอง และคณะ, 2540) การให้อาหารผสมสำเร็จ โคจะได้รับโภชนะครบถ้วนอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ทำให้โคสาวมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มที่มีการแยกให้อาหารข้นระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบ (สมคิด และคณะ, 2533) โคนมกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จ จะกินอาหารได้เพิ่มขึ้น และมีไขมันในน้ำนมและของแข็งที่ปราศจากไขมันนมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารแบบแยกให้ระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบ (Owen, 1984)

อาหารผสมสำเร็จเป็นการนำเอาวัตถุดิบอาหารสัตว์ 2 ชนิดคือ อาหารข้นและอาหารหยาบมาผสมกันในสัดส่วนที่พอเหมาะ และมีโภชนะต่าง ๆ ครบตามความต้องการของโค ซึ่งปริมาณอาหารที่ให้และโภชนะที่คาดว่าโคจะได้รับ พิจารณาจากน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำนม และระยะของการให้นม (Spahr et al., 1993; Owen, 1984) ข้อดีของการให้อาหารผสมสำเร็จคือ ช่วยประหยัดแรงงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจัดการเกี่ยวกับอาหารหยาบ และสะดวกในการจัดการการให้อาหาร ซึ่งการให้อาหารผสมสำเร็จในโคฝูงใหญ่ นิยมแยกกลุ่มแล้วแต่ระยะการให้ผลผลิต และปริมาณการให้น้ำนม เพื่อสะดวกในการจัดการ (Everson et al., 1976; Smith et al., 1978) ในโคนมฝูงเล็กการให้อาหารผสมสำเร็จอาจให้ผลตอบแทนเชิงเศรษฐกิจไม่คุ้มกับการลงทุน และในระยะยาวการให้อาหารผสมสำเร็จ อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของโคได้ (เมธา, 2538)

การให้อาหารผสมสำเร็จเป็นกลยุทธ์ในการจัดการทางด้านอาหารอีกอย่างหนึ่งเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการให้อาหารผสมสำเร็จ การคำนวณสูตรอาหาร และการเตรียมอาหารผสมสำเร็จ จะต้องคำนึงถึง

2.9.1. สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น

อาหารผสมสำเร็จ จำเป็นที่จะต้องใช้อาหารรวมระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น แต่สัดส่วนของอาหารทั้งสองชนิดไม่แน่นอนตายตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาผสมในสูตรอาหาร การเพิ่มสัดส่วนของอาหารหยาบในสูตรอาหารผสมสำเร็จ ทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งลดลง (Llamas-Lamas and Combs, 1991; Dhiman et al., 1995; Tessmann et al., 1991; Macleod et al., 1983; Weiss and Shockey, 1991; Macleod et al., 1980; Weiss and Shokey, 1990) ส่งผลให้ปริมาณน้ำนม และน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมลดลง (Llamas-Lamas and Combs, 1991; Macleod et al., 1983) แต่ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมจะเพิ่มขึ้น (Macleod et al., 1983; DePeters and Smith, 1986; Macleod et al., 1980) เมื่อโคได้รับพลังงานน้อยลง ร่างกายจะดึงพลังงานที่สะสมในร่างกายออกมาใช้มากขึ้นทำให้โคมีน้ำหนักตัวในขณะทำการทดลองและมีคะแนนรูปร่าง (body score) ลดลง (Tessmann et al., 1991) การที่โคได้รับพลังงานน้อยลงเนื่องจากปริมาณอาหารที่ได้รับและความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุลดลง โคจึงมีการปรับตัวเพื่อให้ได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นโดยเพิ่มความจุของกระเพาะรูเมนให้มีความจุมากขึ้น และเพิ่มอัตราการไหลผ่านของอาหารออกจากกระเพาะรูเมนให้เร็วขึ้น (Llamas-Lamas and Combs, 1991) Dhiman et al. (1991) ได้ศึกษาสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นต่อเมแทบอไลต์ในเลือด พบว่า เมื่อสัดส่วนของอาหารหยาบเพิ่มขึ้น (38.2, 48.2, 58.2, 68.2 และ 98.2 เปอร์เซ็นต์) β-hydroxybutyrate จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่กลูโคสกลับมีความเข้มข้นลดลง ในรายงานของ Weiss and

Shockey (1991) ที่กระเพาะรูเมนจะมีความเข้มของกรดอะซิติก และสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิคเพิ่มขึ้น แต่กรดบิวทิริกมีความเข้มข้นลดลง เมื่อเพิ่มสัดส่วนของอาหารหยาบในอาหารให้สูงขึ้น (20, 40, 60 เปอร์เซนต์) ซึ่งในสูตรอาหารควรมีสัดส่วนของอาหารหยาบไม่เกิน 60 เปอร์เซ็นต์ (Hernandez et al. 1976; Weiss and Shockey, 1991; Weiss and Shokey, 1990)

2.9.2 แหล่งของอาหารหยาบและอาหารข้น

ในการจัดการทางด้านอาหารเพื่อให้โคนมให้ผลผลิตได้ตรงตามพันธุกรรมแล้ว โคต้องได้รับโภชนะชนิดต่าง ๆ ครบตามที่ร่างกายต้องการ (รายละเอียดดูได้จากคำแนะนำเบื้องต้นของ NRC, 1988 หรือ ARC, 1980) โดยคุณสมบัติของอาหารหยาบและอาหารข้นที่จะนำมาผสมกัน จะต้องมีสัมประสิทธิ์ในการย่อยได้ (สูงกว่า 65 เปอร์เซ็นต์) และมีความน่ากินสูง มีแหล่งของพลังงานที่ย่อยได้ง่าย และแหล่งของพลังงานที่ไหลผ่านได้ในระดับที่เหมาะสม (NFC 30-35 เปอร์เซ็นต์) และมีแหล่งของโปรตีนไหลผ่านที่สูง (ประมาณ 35เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด) (ฉลอง และคณะ, 2540)

2.9.3. ลักษณะและขนาดของอาหารหยาบ

ในอาหารผสมสำเร็จ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดขนาดของอาหารหยาบลง ทั้งนี้เพื่อลดความฟ่ามของอาหาร ช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง และป้องกันการเลือกกินอาหารของโค แต่อย่างไรก็ตามการลดขนาดของอาหารหยาบ โคจะใช้เวลาในการเคี้ยวเอื้องลดลง ทำให้ความเป็นกรดในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น และมีไขมันในน้ำนมลดลง (Grant et al., 1990a; Grant et al., 1990b) และทำให้สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง NDF, ADF และเซลลูโลสลดลง (Belyea et al., 1985) Woodford et al. (1986) ได้ทำการศึกษาขนาดของความยาวของเยื่อใย คือ 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.9 ซม. พบว่า ปริมาณการกินได้ ปริมาณน้ำนม การย่อยได้ และอัตราการไหลผ่านของอาหารออกจากกระเพาะรูเมนไม่แตกต่างกัน อาหารเยื่อใยที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือเท่ากับ 0.6 ซม. สามารถป้องกันการลดลงของไขมันในน้ำนมได้ Fisher et al. (1994) พบว่าหญ้าหมักที่มีขนาด 1 และ 0.5 ซม. ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมน แต่หญ้าหมักขนาด 0.5 ซม. จะทำให้ไขมันในน้ำนมลดลง

การเปรียบเทียบระหว่างการให้อาหารผสมสำเร็จ และการให้อาหารแบบแยกให้ระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบ พบว่าโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จมีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งสูงขึ้น แต่ให้ปริมาณ น้ำนมไม่แตกต่างกัน (Nocek et al., 1986) ในรายงานของ Holter et al. (1977) โคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จที่จัดสัดส่วนระหว่างอาหารหยาบต่ออาหารข้นเท่ากับ 39:61 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มที่จะให้น้ำนมสูงกว่าโคที่ได้รับอาหารแยกระหว่างอาหารหยาบกับอาหารข้น Phipps et al. (1984) ได้ศึกษาวิธีการให้อาหารระหว่างการให้อาหารผสมสำเร็จกับการให้อาหารแบบแยกได้ระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น โดยจัดสัดส่วนระหว่างอาหารหยาบต่ออาหารข้น 40:60 เปอร์เซ็นต์ โดยให้กินอย่างเต็มที่ตลอดเวลา โคกลุ่มที่ได้รับอาหารสำเร็จให้ไขมันในน้ำนม และมีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า แต่ให้ปริมาณน้ำนมไม่ต่างกัน และมีแนวโน้มว่าโคกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปจะสูญเสียน้ำหนักในระยะต้นของการให้นม (early lactation) น้อยกว่า และในระยะกลางของการให้นม (mid lactation) มีอัตราการเพิ่มหนักสูงกว่า

Nelson and Satter (1992) ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการถนอมพืชอาหารสัตว์ (อาหารหมัก และ เฮย์) และวิธีการให้อาหาร พบว่า โคที่ได้รับถั่วอัลฟัลฟ่าที่เก็บถนอมในรูปอาหารหมัก ร่วมกับวิธีการให้อาหารแบบอาหารผสมสำเร็จจะมีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง และให้ปริมาณน้ำนมสูงกว่าการให้อาหารที่เก็บในรูปเฮย์ หรือวิธีการให้อาหารแบบแยกให้ระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น

2.10 ผลของขนาดเยื่อใยต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตของโคนม

2.10.1 ขนาดของอาหารเยื่อใยต่อปริมาณการกินได้

การนำเอาอาหารหยาบมาแปรรูปเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีคุณค่าทางโภชนะต่ำ เช่น ฟางข้าว โดยวิธีการสับ (chopping), บด (grinding) หรือการอัดเม็ดทำให้อัตราการกินได้ (eating rate) ของสัตว์เพิ่มขึ้น (Campling and Freer, 1966; Voskuil and Metz, 1973) เป็นผลทำให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น (Castillo et al., 1982; Jaster and Murphy, 1983; Fernandez and Greenhalgh, 1972; Fisher et al., 1994; Rode and Satter, 1988; Mooney and Allen, 1997)

กระบือปลักที่ได้รับฟางข้าวขนาดต่างกัน คือ 68, 34, 20 และ 11 ซม. พบว่า ฟางข้าวที่มีขนาดต่างกัน ไม่มีผลทำให้กระบือกินอาหารได้แตกต่างกัน (ปรัชญา และเมธา, 2530) จากรายงานของ Winugroho et al. (1983) โคกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวแบบยาว (ยาวมากกว่า 40 ซม.) จะได้รับอินทรีย์วัตถุ (17 กรัม/วัน) สูงกว่าโคกลุ่มอื่น ๆ ที่ได้รับฟางข้าวสับ (ขนาด 4-6 ซม.) หรือบด (25, 6 และ 3 มม.) (13 กรัม/วัน) Mira et al. (1983) ก็รายงานไว้ในทำนองเดียวกันว่า โครุ่นตอนสามารถกินฟางข้าวบาร์เล่ย์แบบยาวได้มากกว่าฟางข้าวที่สับเป็นท่อนผ่านตะแกรง 40 มม. (3.8 กับ 3.2 กก./วัน)

Greenhalgh and Reid (1973) ได้นำหญ้าแห้งไปบดผ่านตะแกรง 1.4 ซม. และนำไปอัดเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 1.6 ซม. ทำให้แกะและโคกินอาหารได้เพิ่มขึ้น 45 และ 11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Campling and Freer (1966) ก็รายงานไว้ในทำนองเดียวกัน โดยแกะที่ได้รับฟางข้าวบดหรือฟางข้าวอัดเม็ดจะกินอาหารได้เพิ่มขึ้น 26 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับแกะที่ได้รับฟางข้าวแบบยาว แต่การอัดก้อนให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (ขนาด 5x3x3 ซม) โคจะกินอาหารได้น้อยลง (Beauchemin et al., 1997) Winugroho et al. (1983) ได้ให้เหตุผลว่า การบดอาหารให้มีขนาดละเอียดจนเกินไปทำให้อาหารเป็นฝุ่น ไม่มีความน่ากินและไม่เป็นที่ยอมรับของสัตว์

เพื่อเพิ่มความน่ากินของอาหาร การนำฟางข้าวสับ หรือบดไปทรีทกับด่าง (NaOH) (Winugroho et al., 1983; Fernandez and Greenhalgh, 1972) หรือนำฟางข้าวอัดเม็ด (ขนาด 1.8x4.5 ซม.) ไปทรีทด้วยด่าง (Chee et al., 1983) จะทำให้การกินได้และการย่อยได้เพิ่มสูงขึ้น Campling and Freer (1966) ได้ฉีดการละลายยูเรีย (ยูเรีย 150 กรัม/น้ำ 9 ลิตร) เข้าไปในกระเพาะรูเมน (intraruminal infusion) ในโคที่ได้รับฟางข้าวบดหรืออัดเม็ด ทำให้โคกินอาหารได้เพิ่มขึ้น 53 เปอร์เซ็นต์

2.10.2 ขนาดของอาหารเยื่อใยต่อการย่อยได้ของโภชนะ

การลดขนาดของเยื่อใยโดยวิธีการต่าง ๆ วัตถุประสงค์เพื่อลดความฟ่ามของอาหารและยังเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหารให้จุลินทรีย์เข้ายึดเกาะ และทำปฏิกริยากับกับน้ำย่อยจากจุลินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น ทำให้อาหารถูกย่อยได้เร็วขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น Belyea et al. (1989) รายงานว่า ถั่วอัลฟัลฟ่าเฮย์ที่สับให้มีขนาดเล็กลง (10, 6 และ 3 ซม.) ทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และ ADF เพิ่มขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับรายงานของ Campling and Freer, (1966); Greenhalgh and Reid, (1973); Beever et al. (1981) และ Rogers et al. (1985) เมื่ออาหารเยื่อใยมีขนาดเล็กลงจะทำให้การย่อยได้ของโภชนะลดลง โดยเฉพาะการย่อยได้ของ ADF (Greenhalgh and Reid, 1973) Jaster and Murphy (1983) ได้ทดลองสับอัลฟัลฟ่าเฮย์อย่างหยาบ ๆ (ขนาดยาว 10.2 ซม.) เป็นอาหารหยาบสำหรับโคนมสาวพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน ทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และ NDF ลดลง และเมื่อสับให้ละเอียดขึ้น (สับผ่านตะแกรงขนาด 10.2 ซม.) ก็ยิ่งทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง, NDF และ ADF ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอัลฟัลฟ่าเฮย์ที่สับอย่างหยาบ ๆ ในรายงานของ Belyea et al. (1985) โคที่ได้รับอัลฟัลฟ่าเฮย์ที่สับผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. ทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง, NDF, ADF และเซลลูโลสลดลง 7-10 เปอร์เซ็นต์

Winugroho et al. (1983) รายงานว่า ฟางข้าวสับที่มีขนาดยาว 4-6 ซม. และฟางข้าวที่บดผ่านตะแกรง ขนาด 25, 6 และ 3 มม. การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวที่มีขนาดยาว (ยาวมากกว่า 40 ซม.) การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุมีค่าลดลง ในรายงานของ Shaver et al. (1986) โคที่ได้รับอาหารเยื่อใยอัดเม็ดมีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเยื่อใยขนาดยาวหรือขนาด 0.8 ซม. ซึ่ง Belyea et al. (1985) ได้สันนิษฐานว่า การย่อยได้ของโภชนะที่ลดลงเมื่อขนาดของอาหารเยื่อใยมีขนาดเล็กลง เพราะอาหารมีอัตราการไหลผ่านออกจากกระเพาะรูเมนได้เร็ว

Wilkins et al. (1972) รายงานว่า การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และเซลลูโลส มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลผ่านของอาหารผ่านทางระบบอาหาร เมื่ออาหารมีขนาดเล็กลงจะมีอัตราการไหลผ่านของอาหารผ่านทางระบบอาหารได้เร็วขึ้น ทำให้การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และเซลลูโลสลดลง จากการรายงานของ Campling and Freer (1966) อาหารที่บดให้มีขนาดเล็กลง ทำให้การย่อยได้ลดลง เนื่องจากที่กระเพาะส่วน reticulo-rumen อาหารจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ต่ำมาก เพราะมีระยะเวลาที่อาหารพักตัวอยู่ในกระเพาะรูเมนน้อยกว่า ซึ่ง Rogers et al. (1985) ได้เสริม $NaHCO_3^-$ ลงไปในอาหาร (1.4 เปอร์เซ็นต์) ทำให้การย่อยได้ของโภชนะเพิ่มขึ้น Woodford et al. (1986) ได้รายงานว่า อาหารเยื่อใยขนาดเล็กกว่า 0.6 ซม. มีแนวโน้มที่จะทำให้การย่อยได้ลดลง

2.10.3 ขนาดของอาหารเยื่อใยต่ออัตราการไหลผ่านของอาหาร

อัตราการไหลผ่านของอาหารผ่านระบบย่อยอาหารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของสัตว์ วิธีการให้อาหาร ขนาดและคุณภาพของอาหาร เป็นต้น จากการทดลองของ Hart and Wanapat (1992) กระบือที่ได้รับฟางหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบ มีอัตราการไหลผ่านของของแข็งเร็วกว่ากระบือที่ได้รับฟางราดด้วยสารละลายยูเรีย ทำให้อัตราการย่อยได้และปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้น Woodford and Murphy (1988) รายงานว่า

โคนมที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นเท่ากับ 60:40 เมื่อเสริมเฮย์อัลฟัลฟ่าอัดเม็ดแทนเฮย์อัลฟัลฟ่า 28 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลผ่านของของแข็งและของเหลวจะลดลงเมื่อเปรียบกับการที่ไม่เสริมเฮย์อัลฟัลฟ่าอัดเม็ด หรือเสริมเพียง 12 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองของ Ndlovu and Buchanan-Smith (1985) แกะที่ได้รับอาหารหยาบคุณภาพต่ำ เมื่อเสริมอัลเฮย์ฟัลฟ่าแทนซังข้าวโพด (corn cob) ในปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของอาหารหยาบ ทำให้อัตราการไหลผ่านเร็วขึ้น ส่วนแกะที่เสริมถั่วเฮย์อัลฟัลฟ่าแทนฟางข้าวบาร์เล่ย์หรือ Bromegrass ไม่มีผลทำให้อัตราการไหลผ่านเพิ่มขึ้น การเพิ่มสัดส่วนของอาหารข้นต่ออาหารหยาบให้สูงขึ้น คือ 50:50, 62:38, 75:25 และ 87:13 จะทำให้อัตราการไหลผ่านของของแข็งและของเหลวเพิ่มขึ้น (Bartocci et al., 1997) โคที่ให้อาหารแบบจำกัดมีอัตราการไหลผ่านช้ากว่าการให้อาหารแบบเต็มที่ และการให้อาหารแบบเต็มที่ร่วมกับอาหารเยื่อใยที่บดให้มีขนาดเล็กจะมีระยะเวลาพักตัวของอาหารนานกว่าการให้อาหารแบบยาว (Campling and Freer, 1966) การให้อาหารเยื่อใยอัดเม็ดจะมีอัตราการไหลผ่านของของเหลว (8 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง) สูงกว่าอาหารเยื่อใยที่บดให้มีขนาด 1.9 ซม. (7 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง) (Beever et al., 1981)

โคมีเวลาที่ของแข็งพักตัวอยู่ในกระเพาะรูเมนสูงกว่าของแกะประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (26 กับ 17 ชั่วโมง) จึงทำให้กระเพาะรูเมนของแกะย่อยอาหารได้ดีกว่าโค (Prigge et al., 1984) Abdullah et al. (1991) รายงานว่า โคมีอัตราการไหลผ่านของของเหลวสูงกว่ากระบือ แต่อัตราการไหลผ่านของของแข็งไม่แตกต่างกัน ในรายงานของ Bartocci et al. (1997) โคและแกะ มีอัตราการไหลผ่านของของแข็งออกจากกระเพาะรูเมน (2.99 และ 2.84 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง) สูงกว่ากระบือ (2.5 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง) แต่อัตราการไหลผ่านของของเหลวไม่แตกต่างกัน

การลดขนาดของอาหารเยื่อใย ทำให้อาหารผ่านออกจากระบบย่อยอาหารได้เร็วขึ้น เพราะมีอัตราการไหลผ่านเร็วขึ้น (Wilkins et al., 1972) แต่จากรายงานของ Shaver et al. (1986); Woodford et al. (1986) ; Rogers et al. (1985) และ Prigge et al. (1993) พบว่าการลดขนาดของอาหารเยื่อใยไม่ทำให้อัตราการไหลผ่านเร็วขึ้น ในรายงานของ Rode and Satter (1988) โคที่ได้รับเฮย์แบบยาวมีอัตราการไหลผ่านของของแข็งเร็วกว่าเฮย์สับที่มีขนาด 1 ซม. (5.3 กับ 3.8 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง) แต่มีอัตราการไหลผ่านของของเหลวช้ากว่า (9.8 กับ 11.2 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง) อัตราการไหลผ่านของอาหารออกจากกระเพาะรูเมนมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน (efficiency of microbial protein synthesis) โดยเฉพาะอัตราการไหลผ่านของแข็ง โดยประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการไหลผ่านที่เพิ่มขึ้น (Feng et al., 1993; Rode and Satter, 1988; Rode et al., 1985)

2.10.4 ขนาดของอาหารเยื่อใยต่อกิจกรรมการเคี้ยวเอื้อง

ผลกระทบอันดับแรกของการลดขนาดอาหารเยื่อใย คือโคจะใช้เวลาในการเคี้ยวเอื้องลดลง ทำให้น้ำลายที่หลั่งออกมามีปริมาณลดลง เพราะปริมาณน้ำลายของโคที่หลั่งออกมามีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในกิจกรรมการเคี้ยวเอื้อง ส่งผลทำให้ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนลดลง (Welch, 1982)

Grant et al. (1990a); Grant et al. (1990b); Beauchemin et al. (1994b); Shaver et al. (1986); Beauchemin et al. (1997) และ Mooney and Allen (1997) ได้รายงานไว้ในทำนองเดียวกันว่า การลดขนาดของอาหารเยื่อใย ทำให้โคมีกิจกรรมในการเคี้ยวเอื้องลดลง และทำให้กระเพาะรูเมนมีความเป็นกรดมากขึ้น โคที่ได้รับเยื่อใยในอาหารผสมสำเร็จที่ไม่เหมาะสมและขาด effective fiber โคจะใช้เวลาในการเคี้ยวเอื้องลดลง แต่ในช่วงเวลาทุก ๆ 4 ชั่วโมง เวลาในการเคี้ยวเอื้องจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เพื่อทดแทนเวลาในช่วง แรก ๆ ของการเคี้ยวเอื้อง ทำให้มีไนโตรเจนและพลังงานหมุนเวียนภายในกระเพาะรูเมนมากขึ้น ส่งผลให้กระเพาะรูเมนจึงมีการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน (microbial protein synthesis) เพิ่มขึ้น (Campbell et al., 1992)

ปริมาณน้ำลายที่หลั่งออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณอาหารที่กิน (Putman et al., 1966) และปริมาณน้ำลายที่หลั่งออกมาแต่ละวันจะมีความแปรปรวนอยู่ในช่วง 110-170 ลิตร (Bailey and Balch, 1961) จากรายงานของ Cassida and Stokes (1986) โคที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีขนาดของอาหารเยื่อใยอย่างหยาบ ๆ จะผลิตน้ำลายออกมาวันละประมาณ 220-232 ลิตร สำหรับเวลาที่เหมาะสมสำหรับโคนมที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารประมาณ 30-32 นาที/วัตถุแห้ง 1 กก. (Martz and Belyea, 1986)

2.10.5 ขนาดของอาหารเยื่อใยต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน

อาหารเมื่อโคกินเข้าไปในกระเพาะรูเมนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้าย โดยเฉพาะ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และกรดไขมันที่ระเหยได้ (เมธา, 2533) การลดขนาดของอาหารเยื่อใยทำให้กระบวนหมักที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนเปลี่ยนแปลงไป โดยความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะลดลง (Grant et al, 1990a; Grant et al, 1990b; Chalupa et al., 1970; Shaver et al., 1984; Shaver et al., 1986) กรดโพรพิโอนิกมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงข้ามกรดอะซิติกจะมีความเข้มข้นลดลง (Chalupa et al., 1970; Santini et al., 1983) ซึ่ง Sudweeks et al. (1979) พบว่า ข้าวโพดหมักที่มีขนาดความยาว 1.3 ซม. จะให้กรดไขมันที่ระเหยได้ (กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก) สูงสุด โคที่ได้รับฟางข้าวที่ทรีทด้วยด่างจะให้ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ และ pH เพิ่มขึ้น (Chee et al., 1983)

ในรายงานของ Rogers et al. (1985); Woodford et al. (1986) และ Fisher et al. (1994) พบว่ากระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนไม่แตกต่างกันเมื่อโคได้รับอาหารเยื่อใยที่มีขนาดขนาดต่างกัน การเพิ่มขึ้นของกรดโพรพิโอนิกจะกระตุ้นให้มีน้ำตาลกลูโคส และฮอร์โมนอินซูลินในพลาสมาเพิ่มขึ้น และฮอร์โมนอินซูลินที่หลั่งออกมาทำให้อัตราการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนมหรือเนื้อเยื่อไขมันเปลี่ยนแปลง เป็นผลทำให้การสังเคราะห์ไขมันในน้ำนมลดลง (Grant et al., 1990a; Grant et al., 1990b; Ørskov, 1994)

2.10.6 ขนาดของอาหารเยื่อใยต่อการให้ผลผลิตของโคนม

การเปลี่ยนแปลงขนาดของอาหารเยื่อใยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมยกเว้นเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม โดยอาหารเยื่อใยที่มีขนาดเล็ก จะทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง (Grant et al., 1990a; Grant et al., 1990b; Fisher et al., 1994; Shaver et al., 1986; Woodford et al., 1984; Chalupa et al., 1970; Grant and Weidner, 1992; O'Dell et al., 1968) เพื่อป้องกันการลดลงของไขมัน

ในน้ำนม (ไม่ให้ต่ำกว่า 3.5 เปอร์เซ็นต์) Woodford et al. (1986) และ O'Dell et al. (1968) ได้แนะนำว่าขนาดของอาหารเยื่อใยควรมีขนาดควายาว 0.6 ซม. ขึ้นไป ส่วน Shaver et al. (1984) และ Shaver et al. (1986) ได้แนะนำไว้ที่ขนาดความยาว 0.8 ซม. ขึ้นไป Grant et al. (1990a) รายงานว่า อาหารเยื่อใยที่มีขนาด 0.3 ซม. ก็เพียงพอที่จะป้องการลดลงของไขมันในน้ำนม แต่จากการทดลองของ Belyea et. (1989); Colenbrander et al. (1991) และ Beauchemin et al. (1994b) การลดขาดของอาหารเยื่อใยไม่มีผลทำให้ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนมต่างกัน ในสูตรอาหารที่มีระดับของ NDF 36 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของอาหารเยื่อใย 0.5 ซม. ก็มี effective fiber อย่างเพียงพอในการป้องกันการลดลงของไขมันในน้ำนม (Beauchemin et al., 1994b) Grant and Weidner (1992) แนะนำว่าอาหารที่มีระดับ NDF 29 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของอาหารเยื่อใย 3.3 มิลลิเมตร ก็เพียงพอที่จะป้องกันการลดลงของไขมันในน้ำนม นอกจากนี้ยังพบว่าในการเลี้ยงโคขุนที่ใช้อาหารเยื่อใยที่มีขนาดต่างกัน ไม่มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต และคุณภาพการให้เนื้อแตกต่างกัน (Huck et al., 1997; Holzer et al., 1976; Mira et al., 1983; Pickard et al., 1969)

2.11 การใช้ผลพลอยได้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ในปีการเพาะปลูก 2529/30 ประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนทั่วประเทศประมาณ 55,522 ไร่ โดยมีแหล่งผลิตมากน้อยตามลำดับคือ ภาคตะวันตกผลิตได้ 20,816 ตัน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือผลิตได้ 17,864 ตัน และภาคเหนือผลิตได้ 11,144 ตัน ให้ผลผลิตรวม 54,249 ตัน/ปี แต่ผลผลิตเหล่านี้เมื่อนำไปแกะแยกฝักออกแล้ว จะได้ฝักซึ่งใช้เป็นอาหารคนเพียง 10-20 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ส่วนอีก 80-90 เปอร์เซ็นต์เป็นเปลือก ไหม และฝักที่ไม่ได้มาตรฐานตลาดและโรงงาน คิดเป็นจำนวน 46,000 ตัน/ปี นอกเหนือจากเปลือกแล้วยังมีผลพลอยได้จากพืชนี้อีกชนิดหนึ่งคือ ส่วนของใบและลำต้นที่สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ประมาณ 108,000 ตัน/ปี (บุญล้อม และทิพย์วรรณ, 2531) การใช้เศษข้าวโพดฝักอ่อนเป็นอาหารโคนมได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในหมู่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม มีหลายรายที่ใช้แทนหญ้าสดทั้งหมด เพราะมีคุณค่าทางโภชนะอยู่ในเกณฑ์ดี มีโปรตีนเฉลี่ย 8 เปอร์เซ็นต์ มี ADF ต่ำ มีธาตุทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) สูงมาก อย่างไรก็ตาม ผลผลิตน้ำนมจากกลุ่มเกษตรกรที่ใช้เศษข้าวโพดเป็นอาหารหยาบหลัก ที่อำเภอโพธาราม จ.ราชบุรี อยู่ในเกณฑ์ต่ำเฉลี่ยประมาณ 8.2 กก.ต่อ/วัน ทั้ง ๆ ที่แม่โคในท้องที่นี้มีเลือดโคนมอยู่ในเกณฑ์สูง และการปฏิบัติดูแลอยู่ในเกณฑ์ดี จึงเป็นเหตุให้สงสัยว่าโคได้รับพลังงานพอเพียงหรือไม่ เพราะใช้อาหารหยาบจากเศษข้าวโพดอยู่ในเกณฑ์สูง (ชาญชัย และคณะ, 2531)

ประเสริฐ และคณะ (2530) ทดลองใช้เปลือกข้าวโพดฝักอ่อนเลี้ยงแกะ เปรียบเทียบกับหญ้าขน โดยแบ่งแกะออกเป็น 4 กลุ่มคือ ปล่อยแปลงหญ้าขนตลอดทั้งวัน ขังเดี่ยวให้กินหญ้าเต็มที่ ขังเดี่ยวให้กินเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนเต็มที่ และขังรวมให้กินเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนเต็มที่ ผลปรากฏว่าทุกแกะกลุ่มมีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน (ประมาณ 40 กรัม/วัน) แต่เนื่องจากเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนมีความชื้นอยู่สูง (82-86 เปอร์เซ็นต์) จึงทำให้ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้น้อยกว่าหญ้าขนมาก

บุญล้อม และทิพย์วรรณ (2531) ได้ทำการทดลองนำเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนและต้นข้าวโพดไปหมักเพื่อนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ โดยนำเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนที่หมักร่วมกับข้าวโพดบดในอัตรา 25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเปลือกสดเลี้ยงโคพื้นเมือง (โคพันธุ์ขาวลำพูน) เปรียบเทียบกับการใช้หญ้าเนเปียร์สด โดยโคทั้ง 2 กลุ่ม ได้รับอาหารข้น (20 %CP) เสริม 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่ากลุ่มที่ได้รับเปลือกข้าวโพดหมักเป็นอาหารมีอัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า เมื่อนำต้นข้าวโพดหมักไปคลุกยูเรีย-กากน้ำตาลในอัตรา 1.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักต้นข้าวโพดฝักอ่อนหมักตามลำดับ นำเลี้ยงแกะในระดับ 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวร่วมกับฟางข้าวจะทำให้การย่อยได้ของโภชนะดีขึ้น โดยเฉพาะการย่อยได้ของโปรตีน

บุญล้อม (2531) ได้นำต้นข้าวโพดหวานหลังจากเก็บฝักแล้ว (อายุประมาณ 80 วัน) หมักร่วมกับข้าวโพดบด ในอัตรา 1:20 โดยก่อนหมักสับข้าวโพดให้มีขนาดประมาณ 1 นิ้ว พบว่า ต้นข้าวโพดที่หมักจะมีองค์ประกอบทางโภชนะใกล้เคียงกับหญ้าขน เนื่องจากข้าวโพดที่เสริมเข้าไป เมื่อนำไปเลี้ยงแกะ พบว่าการกินได้ของวัตถุแห้ง อัตราการเจริญเติบโต การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และโปรตีน ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับหญ้าขน แต่จากการใช้ต้นข้าวโพดหวานหมักร่วมกับรำละเอียดในอัตรา 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักต้นข้าวโพดสดเลี้ยงโคนมรุ่นเพศผู้ร่วมกับการใช้หญ้ารูซี่ และฟางหมักยูเรีย โคกลุ่มที่ได้รับต้นข้าวโพดหมักมีอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารดีกว่า (บุญล้อม และชูศักดิ์, 2533)

Cheva-Isarakul and Cheva-Isarakul (1983) ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้ต้นข้าวโพดหวานกับฟางข้าว ทดลองในโค กระบือ และแกะ โดยฟางข้าวและต้นข้าวโพดหวานจะถูกสับให้เป็นท่อน ยาวประมาณ 2-5 ซม. เมื่อเปรียบเทียบการกินได้ของวัตถุแห้งระหว่างฟางข้าวและต้นข้าวโพด พบว่า โคกินอาหารได้สูงกว่ากระบือและแกะ และโคกับกระบือย่อยวัตถุแห้ง และอินทรีย์วัตถุ ได้ดีกว่าแกะ

Wanapat and Wachirapakorn (1986) ได้ศึกษาการย่อยได้ของผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยใช้เทคนิคถุงในลอน (nylon bag) พบว่าฟางข้าวกับต้นข้าวโพดมีเวลาที่อินทรีย์วัตถุ ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนครึ่งหนึ่ง ($T^{1}/_{2}$, h) (64.7 และ 63.9 ชั่วโมง) มากกว่าฟางหมักยูเรีย (55.6 ชั่วโมง) และโคมีเวลาที่อินทรีย์วัตถุถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนครึ่งหนึ่ง (90.7 ชั่วโมง) มากกว่ากระบือ (78.3 ชั่วโมง)