

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 เมล็ดฝ้าย

2.1.1 ความสำคัญของเมล็ดฝ้าย

ฝ้ายเป็นพืชเส้นใยที่ปลูก และใช้กันมากในโลก จัดอยู่ในตระกูล Malvaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Gossypium spp.* มีทั้งหมด 20 ชนิด แต่ที่สามารถนำมาปลูกเป็นการค้าอยู่ในปัจจุบันนี้มี 4 ชนิด คือ *Gossypium arboreum*, *G. herbaceum*, *G. barbadense* และ *G. hirsutum* ชนิดสุดท้ายนี้เป็นฝ้ายที่ครองตลาดการค้ามากกว่า 90% มีถิ่นกำเนิดในภาคใต้เม็กซิโกและอเมริกากลาง เรียกว่าพันธุ์ฝ้ายดอน (upland cotton) พันธุ์ฝ้ายที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทยจัดอยู่ในชนิด *hirsutum* ทั้งสิ้นพบพันธุ์ฝ้ายชนิดอื่นอยู่บ้างในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สามารถขึ้นได้ในดินหลายชนิด ตั้งแต่ดินที่มีค่า pH 5.2-7.0 แต่จะขึ้นได้ดีในดินที่มีค่า pH ระหว่าง 5.5-6.0 อาจแบ่งเนื่องจากการปลูกฝ้ายได้เป็น 3 เขตด้วยกันคือ ทางภาคเหนือมีจังหวัดสุโขทัยเป็นศูนย์กลาง ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีจังหวัดนครราชสีมา ส่วนแหล่งใหม่ คือทางจังหวัดนครปฐม และกาญจนบุรี (สว้าง, 2516) ฝ้ายมีลำต้นเจริญขึ้นเป็นแกนกลางและมีกิ่งแตกแขนงออกไปมากมาย สมอฝ้ายเจริญขึ้นหลังจากดอกได้รับการผสมพันธุ์ มีลักษณะกลมรี เมื่อแก่เปลือกของสมอจะแตกบานออก หลังจากนั้นจึงนำไปหีบเอาเส้นใยออกจากกัน โดยทั่วไปเมื่อหีบแล้วจะได้บุย 1 ส่วน เมล็ด 2 ส่วน โดยน้ำหนัก บุยฝ้ายนำไปทำเป็นเครื่องนุ่งห่มเครื่องใช้ในบ้าน และอุตสาหกรรมต่าง ๆ สำหรับเมล็ดฝ้ายนั้นเป็นผลพลอยได้จากการหีบ เมล็ดมีลักษณะรูปทรงกลมรี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-6 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 8-10 มิลลิเมตร (กัณหหา, 2522) ประกอบด้วยขนบุย (linter) 4-6% เปลือก 25-30% และเนื้อ 64-71% (กรมวิชาการเกษตร, 2527) ส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดฝ้ายนี้นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย เช่น นำไปสกัดเอาน้ำมันเพื่อใช้ในการบริโภคของมนุษย์ ใช้ในการเป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ เมล็ดฝ้ายให้โภชนาที่มีโปรตีน เยื่อใย และพลังงานสูง ซึ่งมีโภชนาใกล้เคียงกับถั่วลิสงทั้งเปลือก Coppock et al. (1987) ได้รายงานว่ามีผู้นิยมนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องกันมากในอเมริกา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโคนมที่ให้ผลผลิตสูง เหตุผลก็คือประชากรโคนมส่วนใหญ่ในปัจจุบันได้รับการปรับปรุงคุณค่าทางพันธุกรรมในการให้นมสูงขึ้น ต้องการอาหารชั้นพลังงานที่มีเยื่อใยต่ำสุด และประการสำคัญเมล็ดฝ้ายมีผลในทางบวกต่อเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม

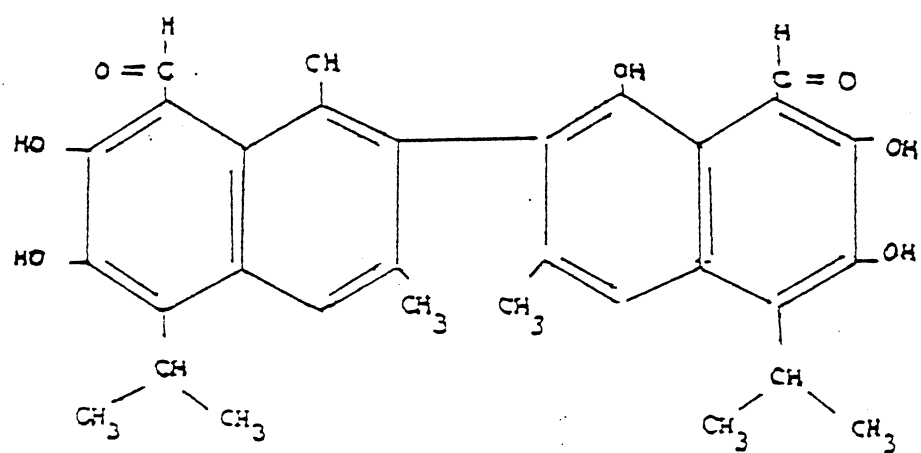
2.1.2 ต่อมสีในเมล็ดฝ้าย (pigment gland of cottonseed)

ต่อมสีในเมล็ดจะพบอยู่ทั่วไปในพืชสกุล *gossypium* ที่สำคัญคือกอสซิพอล (*gossypol*) ไดอะมิโนกอสซิพอล (*diaminogossypol*) พบในต่อมสีเหลือง กอสซิเพอร์พิวรีน

(gossypurpurin) ในต่อมสีม่วง กอสีฟัลวิน (gossyfulvin) ในต่อมสีส้ม กอสีเซอรูลิน (gossycaerulin) ในต่อมสีน้ำเงิน และกอสีเวอร์ดูซิน (gossyverdusin) ในต่อมสีเขียว ภายในต่อมสีส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารกอสีปอล (gossypol, $C_{30}H_{30}O_8$) เป็นสารโพลีฟีนอล (poly phenolic compound) ที่พบมากที่สุดตามธรรมชาติ ลักษณะเป็นต่อมสีเหลือง พบมากในส่วนของเมล็ด รากและใบของฝ้าย (Adam et al., 1960; Willard et al., 1995) ถูกสังเคราะห์ได้ครั้งแรกโดย Edwards (1958, อ้างโดย Randel et al., 1992) มีน้ำหนักโมเลกุล 518.5 สูตรโครงสร้างคือ 1, 1', 6, 6', 7, 7' hexahydroxy-5, 5' diisopropyl 1-3, 3' dimethyl [2, 2'-binaphthalene]-8, 8'-dicarboxaldehyde] (แสดงในภาพที่ 1) Pondy and Thejappa (1975) ได้รายงานปริมาณของกอสีปอล โดยเฉลี่ยในฝ้ายสกุล *G. hirsutum* พบว่า มีปริมาณ 1.5% (ช่วงจาก 0.6 ถึง 2.4%) Pons et al. (1953) ได้ศึกษาเมล็ดฝ้าย 8 พันธุ์จากที่ปลูกแหล่งต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกา 13 แห่ง พบว่า มีปริมาณของกอสีปอลอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 1.7% นอกจากนี้ ยังพบว่า ปริมาณของ กอสีปอลในเมล็ดนั้นมีความสัมพันธ์ไปในเชิงบวกกับปริมาณน้ำฝนและไปในเชิงลบกับอุณหภูมิ ความเข้มข้นของกอสีปอล ที่มีอยู่ในเมล็ดฝ้ายเป็นสิ่งที่จำกัดในการใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง และเป็นพิษต่อสัตว์กระเพาะเคี้ยว ส่วนที่เป็นกอสีปอลอิสระ (free gossypol) เป็นส่วนที่เป็นพิษมากที่สุด (Hale and Lyman, 1957) ขบวนการผ่านความร้อนสามารถลดปริมาณ ของกอสีปอลอิสระลงได้ ปัจจุบันมีวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย 3 วิธี ได้แก่ การอัด การอัดแล้วสกัดด้วยสารละลาย และการสกัดด้วยสารละลายโดยตรง (Goetsh and Owens, 1985) วิธีการเหล่านี้แตกต่างกันในอุณหภูมิ ความดันและระยะเวลาที่ใช้ การใช้ความดันและอุณหภูมิสูงเป็นวิธีการที่จะช่วยลดพิษลงได้ทั้งนี้เนื่องจากกอสีปอล จะไปจับกับโมเลกุลอื่นๆ เกิดพันธะของกอสีปอล (bound gossypol) อยู่ในสภาพเฉื่อย Jones (1981) ได้รายงานว่ามีปริมาณของกอสีปอลอิสระ และกอสีปอลทั้งหมด ในการสกัดน้ำมันแบบอัด เท่ากับ 0.1 และ 1.0% แบบอัดแล้วสกัดด้วยสารละลาย เท่ากับ 0.1 และ 1.1% แบบสกัดด้วยสารละลายโดยตรงเท่ากับ 0.3 และ 1.0% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถึงแม้ปริมาณกอสีปอลอิสระทั้งหมดในเมล็ดฝ้ายจะไม่แตกต่างกันมากนัก แต่วิธีสกัดด้วยสารละลายโดยตรงจะมีปริมาณของกอสีปอลมากกว่าวิธีอื่น

2.1.3 ความเป็นพิษของกอสีปอล (gossypol)

สัตว์กระเพาะเคี้ยวเดียว (monogastric animal) มีความไวในการตอบสนองต่อความเป็นพิษของกอสีปอล ในขณะที่สัตว์เคี้ยวเอื้องค่อนข้างจะทนทานต่อสารพิษนี้ได้มากกว่า Reiser and Fu (1962) รายงานว่า สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถในการจัดพิษที่เกิดจากกอสีปอลอิสระได้ โดยสารนี้จะไปจับกับโปรตีนที่ละลายได้ในรูเมน ทำให้เกิดพันธะถาวรขึ้น ซึ่งพันธะนี้จะคงอยู่ต่อไปจนกว่าโปรตีนจะถูกย่อย อย่างไรก็ตามเมล็ดฝ้ายก็ยังคงมีข้อจำกัดในการใช้ อาหารเป็นพิษที่ได้รับจากสารดังกล่าว มีความคล้ายคลึงกันทั้งในสัตว์เคี้ยวเอื้อง และสัตว์กระเพาะเคี้ยวได้แก่ สัตว์หายใจลำบากและแรง ไม่อยากอาหาร อัตราการเจริญเติบโตลดลง เมื่อศึกษาซาก



ภาพที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของกอสซิปอล (gossypol) ในเมล็ดฝ้าย
ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2527)

พบว่า มีการบวมหน้า และสะสมของเหลวคล้ายสีฟางข้าวบริเวณปอด ตับ ช่องอก และช่องท้อง หัวใจขยายใหญ่ มีการหลุดออกของเส้นใย (Hale and Lyman, 1957; Smalley and Bicknel, 1982) สำหรับในสัตว์เคี้ยวเอื้อง Leighton et al. (1953) ได้ใช้เมล็ดฝ้าย 90% ร่วมกับเวย์ (whey) 10% มีปริมาณกอสซิปอลจาก 0.1 ถึง 0.7% เลี้ยงลูกโรคจากแรกเกิดถึง 6 เดือน พบว่า อาหารดังกล่าวทำให้ลูกโรคโฮสไตน์ตาย ขณะที่ลูกโรคเจอร์ซี่ไม่แสดงอาการเป็นพิษ Rogers et al. (1975) รายงานว่า ลูกโรคที่ได้รับเมล็ดฝ้ายจะแสดงอาการเป็นพิษเมื่อมีระดับของกอสซิปอล ประมาณ 0.1% Lindsey et al. (1980) ได้ทำการศึกษาในโคนมที่ได้รับกอสซิปอลอิสระ จากกากเมล็ดฝ้ายในระดับ 6.6 และ 42.7 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว/วัน พบว่า ความเข้มข้นของกอสซิปอลในเลือดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับกากถั่วเหลืองเป็น 1.7, 1.8 และ 0 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร นอกจากนี้ความเข้มข้นในตับก็เพิ่มขึ้นเช่นกันเป็น 59.0, 94.0 และ 0 ไมโครกรัม/กรัม ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ อาการผิดปกติอย่างอื่นที่พบได้แก่ อัตราการหายใจเร็ว เม็ดเลือดแดงแตกง่าย ปริมาณฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ต่ำ ปริมาณพลาสมาโปรตีน (plasma protein) ทั้งหมดสูงขึ้น ขณะที่ Smith and Collar (1980) รายงานว่า การใช้เมล็ดฝ้ายเลี้ยงแม่โรคโฮสไตน์ในระยะ 15 สัปดาห์แรกของการให้นม ที่ระดับ 15 หรือ 30% ไม่พบอาการเป็นพิษ แม้แต่ที่ระดับการใช้ 6.4 กิโลกรัม/ตัว/วัน (น้ำหนักสด)

สำหรับผลของกอสซิปอล ต่อระบบการสืบพันธุ์ในโคนม Arshami and Ruttle (1988) ศึกษาการใช้เมล็ดฝ้ายร่วมกับเปลือกเมล็ดฝ้าย และอาหารที่ใช้กากเมล็ดฝ้ายในโคนอู่ออกผสม มีปริมาณกอสซิปอลอิสระ ในระดับ 0.8% และ 0.1% พบว่า lumens ใน seminiferous tubules มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ขณะที่ผนังของ seminiferous tubule มีความหนาลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยานี้เป็นสิ่งบ่งชี้ถึง ผลที่เป็นพิษต่อระบบเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับขบวนการสร้างอสุจิ รวมทั้งเซลล์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง สอดคล้องกับรายงานของ Chase et al. (1990) ที่รายงานว่า พ่อโคברהมันที่ได้รับกากเมล็ดฝ้าย 20% ในสูตรอาหารซึ่งมีปริมาณการกินได้ของกอสซิปอล เฉลี่ยจากช่วง 1.6 - 2.1 กรัม/ตัว/วัน และพ่อโรคที่ได้รับเมล็ดฝ้าย 41% ในสูตรอาหาร ซึ่งมีปริมาณการกินได้ของกอสซิปอล เฉลี่ยจากช่วง 22.7 - 32.4 กรัม/ตัว/วัน นั้น ส่งผลให้ lumens มีขนาดใหญ่ขึ้น และผนังของ seminiferous tubule มีขนาดเล็กลงเช่นกันเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม Chase et al., (1994) รายงานว่า พ่อโคברהมันที่ได้รับกอสซิปอล จากเมล็ดฝ้ายในระดับ 60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของน้ำหนักตัว/วัน และจากกากเมล็ดฝ้ายในระดับ 6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของน้ำหนักตัว/วัน จากหย่านมถึงวัยเจริญพันธุ์ พบว่า ในกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเมล็ดฝ้ายถึงวัยเจริญพันธุ์ช้ากว่า และมีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำกว่า

2.1.4 การใช้เมล็ดฝ้ายเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Anderson et al. (1979) ได้ทำการทดลองเสริมเมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารโคนมที่

ระดับ 1.9 กิโลกรัม พบว่า แม่โคให้นมสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่มีเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนต่ำกว่า เปอร์เซ็นต์ของไขมันและของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน ปริมาณการกินได้ของหญ้าแห้ง หญ้าหมัก อาหารข้นไม่แตกต่างกัน Smith et al. (1980) ศึกษาการใช้เมล็ดฝ้ายในอาหารข้นโคแม่ที่ระดับ 0, 5, 15 และ 25% โดยให้กินเต็มที่ พบว่า การย่อยได้ของไนโตรเจน ไขมัน และพลังงาน เพิ่มขึ้นตามระดับการใช้เมล็ดฝ้าย แต่ไม่มีผลต่อการกินได้ของวัตถุดิบและผลผลิตน้ำนม นอกจากนี้ยังพบว่า การสังเคราะห์กรดไขมันภายในเต้านมลดประมาณ 50% ในสูตรอาหารที่ใช้เมล็ดฝ้าย 25% การใช้เมล็ดฝ้ายจนถึงระดับ 2.9 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน (คิดจากวัตถุดิบ) ไม่ส่งผลกระทบต่อช่วงของการตกลูก หรือความผิดปกติของกระเพาะโอบมาซุม คีโรซิส ไขมันนม หรือรูก้าง Sullivan and Richardson (1982) ได้ทดลองใช้เมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารโคแม่เปรียบเทียบกับเมล็ดฝ้ายอัดเม็ดและกากเมล็ดฝ้าย โดยประกอบสูตรให้มีเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนและเยื่อใยเท่ากัน พบว่า ผลผลิตน้ำนม เปอร์เซ็นต์ไขมันและปริมาณการกินได้ของหญ้าแห้ง (กก.ต่อวัน) เท่ากับ 22.4, 3.7, 7.2; 22.9, 3.7, 8.1; 22.2, 3.7 และ 8.6 ตามลำดับ Keel and Roffler (1982) ทำการเปรียบเทียบการใช้เมล็ดฝ้าย และกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันในอาหารโคให้นมพันธุ์โฮลสไตน์ ที่ระดับ 0, 13 หรือ 25% (น้ำหนักแห้ง) สำหรับเมล็ดฝ้ายและที่ระดับ 0, 7 หรือ 13% สำหรับกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน พบว่า การใช้เมล็ดฝ้ายหรือกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มการย่อยได้ของไนโตรเจนทั้งหมดภายในรูเมน แต่การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ มีแนวโน้มลดลง อัตราโปรตีนไหลผ่านเท่ากับ 27% และ 29% ในสูตรอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันและ เมล็ดฝ้ายตามลำดับ

Anderson et al. (1982) ได้ทดลองเสริมเมล็ดฝ้ายต่อปริมาณการกินได้ น้ำหนักตัว และการพัฒนาของรูเมนในลูกโคโฮลสไตน์ฟรีเซียน ที่ระดับ 25% พบว่า ปริมาณการกินได้น้ำหนักตัว ความหนาและจำนวนของแพปิลลี (papillae) ในกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเมล็ดฝ้ายมีมากกว่ากลุ่มควบคุมเมื่อเปรียบเทียบที่อายุ 12 สัปดาห์ ไม่พบความแตกต่างของ pH ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ความยาวของแพปิลลี น้ำหนักกระเพาะ หรือความจุของเรติคูลูรูเมน (reticulorumen) และโอบมาซุม (abomasum) Anderson et al. (1984) ศึกษาเปรียบเทียบการใช้เมล็ดฝ้าย กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน และเมล็ดทานตะวันในอาหารโคแม่ที่ระดับ 10%, 5% และ 12% (น้ำหนักแห้ง) อาหารทุกสูตรมีพลังงานและโปรตีนเท่ากัน พบว่า โคที่เลี้ยงด้วยเมล็ดฝ้ายมีประสิทธิภาพในการผลิตน้ำนมสูงกว่ากลุ่มอื่น ไม่พบความแตกต่างในการย่อยได้ของวัตถุดิบ และน้ำหนักสัตว์ที่เพิ่มขึ้นของแม่โค Coppock et al. (1985a) ศึกษาการใช้เมล็ดฝ้ายต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ และการตอบสนองทางสรีรวิทยาของโคกำลังให้นม ที่ระดับ 0, 15 และ 30% ในสูตรอาหารทั้งหมด พบว่า ปริมาณการกินได้ลดลงเมื่อระดับการใช้เมล็ดฝ้ายเพิ่มขึ้น อัตราการย่อยได้ของไขมัน โปรตีน และแคลเซียมเพิ่มขึ้น ที่ระดับการใช้ 30% ไม่พบอาการเป็นพิษ อีกการทดลองหนึ่งในโคแห้งแม่ ที่ระดับการใช้ 15, 35 และ 55% พบว่าที่ระดับการใช้ 55% ในสูตรอาหารทั้งหมด มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ และพลังงานสุทธิสำหรับการผลิตนมลดลง อัตราการหายใจลดลงตามปริมาณการกินได้ โดยที่ปริมาณการกินได้ของเมล็ดฝ้ายสูงสุดในโคแต่ละตัวเท่ากับ 8.4 กิโลกรัมต่อวัน (เฉลี่ย 1

สับดาห์) ไม่พบอาการเป็นพิษ Cummins and Russell (1985) รายงานว่า การใช้เมล็ดฝ้าย 18.5% ในสูตรอาหารทั้งหมดของโคนมมีผลทำให้การดูดซึมกลูโคส และปาลมิเทต (palmitate) ในเนื้อเยื่อไขมันและเนื้อเยื่อเต้านมลดลง รวมทั้งการ oxidation ของกลูโคสไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในเนื้อเยื่อทั้งสองลดลง DePeter et al. (1985) ศึกษาผลของการใช้เมล็ดฝ้ายต่อส่วนประกอบของน้ำนมที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20% พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมัน และของแข็งทั้งหมดในน้ำนมเพิ่มขึ้น ขณะที่เปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลงในกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเมล็ดฝ้ายเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนของกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acids) (C_6-C_{16}) ในนมลดลง ขณะที่กรดสเตียริก (stearic acid) และกรดโอเลอิก (oleic acid) เพิ่มขึ้น Coppock et al. (1985b) รายงานว่าปริมาณการกินได้ของเมล็ดฝ้ายในโคแห้งนมผันแปรจาก 0.1-5.1 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อให้ร่วมกับหญ้าแห้งสับหรือข้าวโพดหมัก ได้เสนอแนะว่า เมล็ดฝ้ายควรบดรวมกับส่วนประกอบอาหารชนิดอื่นเสียก่อนเพื่อให้การกินได้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

Pena et al. (1986) เปรียบเทียบการใช้เมล็ดฝ้าย เมล็ดฝ้ายสกัดน้ำมัน และเมล็ดฝ้ายอบความร้อนในอาหารโคนมที่ระดับ 42% โดยอาหารทุกสูตรมีโปรตีน 17% พลังงานเท่ากัน พบว่า ในสูตรที่ใช้เมล็ดฝ้ายมีความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เท่ากับ 15.7 mM สูงกว่ากลุ่มอื่นที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 12.7 และ 10.2 mM สำหรับการไหลผ่านของ non-ammonia ไปยังลำไส้เล็ก เท่ากับ 248, 300 และ 350 กรัมต่อวัน ตามลำดับ Horner et al. (1988) ศึกษาการย่อยได้ของโปรตีน และขบวนการหมักของโคนมที่เลี้ยงด้วยเมล็ดฝ้าย 15% ร่วมกับไนอาซิน (niacin) พบว่า ปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของวัตถุดิบ pH ในรูเมน ระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดไขมันที่ระเหยได้และ acid detergent fiber (ADF) ไม่แตกต่างกันในทุกทรีทเมนต์ ในโคที่เลี้ยงด้วยเมล็ดฝ้ายและเสริมด้วยไนอาซินมีปริมาณโปรตีนขั้วลดลงกรดอะซิเตตเพิ่มขึ้น ขณะที่กรดโพรพิโอนีตลดลง และมีการย่อยได้ของไขมันสูงสุด Keele et al. (1989) ศึกษาเปรียบเทียบการใช้เมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน ในโคนม พบว่า กรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVFA) และกรดอะซิติก (acetic acid) ภายในรูเมนมีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ในสูตรอาหารที่มีเมล็ดฝ้าย สัดส่วนของกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) มากกว่า ขณะที่ปริมาณของ กรดบิวทีริก (butyric acid) น้อยกว่า นอกจากนี้ยัง พบว่า การใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 12.7% หรือ เมล็ดฝ้าย 25.3% (คิดจากน้ำหนักแห้ง) ในสูตรอาหาร ไม่ส่งผลให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง

สำหรับการใช้เมล็ดฝ้ายในการเลี้ยงโคเนื้อ และสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดอื่นนั้น Powell et al. (1960) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้เมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารโคเนื้อ ที่ระดับการใช้เมล็ดฝ้าย 2, 3.5 ปอนด์ และกากเมล็ดฝ้าย 1 ปอนด์ เป็นระยะเวลา 125 วัน โดยให้กินหญ้าหมักเต็มที พบว่า อัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตของซากไม่แตกต่างกัน จัตรมงคล (2528) รายงานว่า การเสริมเมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารโคนมเพศผู้ เพื่อผลิตเนื้อนั้น ไม่ควรเสริมในอัตราส่วนเกิน 50% ของปริมาณอาหารข้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมล็ดฝ้ายในปริมาณที่สูงมากเกินไป จะทำให้สัตว์กินอาหารลดลง Preston and Bartle (1989) ทดลอง

ใช้เมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารโคเนื้อที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25% พบว่า ที่ระดับการใช้ 15% หรือต่ำกว่าโคมีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารให้ผลดีเท่ากับกลุ่มควบคุม ระดับการใช้เกิน 20% การเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ในด้านส่วนประกอบซากไม่แตกต่างกัน

Malcom and Kiesling (1990) ศึกษาการใช้เมล็ดฝ้ายในอาหารโคเนื้อที่ระดับ 10%, เมล็ดฝ้าย 10% ร่วมกับเชื้อยีสต์ 1.6% พบว่า pH ภายในรูเมนไม่แตกต่างกัน Huerta-Leidenz et al. (1991) รายงานว่า การใช้เมล็ดฝ้ายในอาหารโคเนื้อที่ระดับ 0, 15 และ 30% เป็นเวลา 54 วัน อัตราการเจริญเติบโต ส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (monounsaturated) หรือกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ของเนื้อเยื่อไขมันไม่แตกต่างกันในทุกทริทเมนต์ แต่โคในกลุ่มควบคุมมีพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อสันอก มากกว่าโคที่เลี้ยงด้วยเมล็ดฝ้าย 30% Karalazos et al. (1992) ทดลองใช้เมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารของแกะเพศผู้ตอน ที่ระดับ 0, 17.5, 35.5 และ 53.0% ของอาหารทั้งหมด โดยทดลองแทนข้าวโพดพบ พบว่า การย่อยได้ของวัตถุดิบ, อินทรีย์วัตถุ, พลังงานทั้งหมดลดลงเมื่อสัดส่วนของการใช้เมล็ดฝ้ายเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมล็ดฝ้ายสามารถใช้อาหารแกะได้ ในระดับสูงโดยไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย

2.2 กระบวนการหมักในรูเมน

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถพิเศษในการใช้อาหารหยาบ กระเพาะทั้งหมดแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ฟ้าจิ๋ว (rumen) รังผึ้ง (reticulum) สามสิบกลีบ (omasum) และกระเพาะจริง (abomasum) (Church, 1983; บุญล้อม, 2527; เมธา, 2533) สามส่วนแรกเป็น proventriculi ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของหลอดอาหาร ส่วนของ reticulum และ rumen เชื่อมติดต่อกันด้วยผนัง rumino-reticular fold ส่วนอาหารในรูปของแข็งและของเหลวจากทั้งสองส่วน จะเคลื่อนเข้าหากันอย่างอิสระในบริเวณส่วนเหล่านี้โดยเฉพาะในรูเมน จะมีประชากรจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยหมักอาหารที่สัตว์กินเข้าไป การใช้ประโยชน์จากอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องแต่ละชนิดนั้น จะมีประสิทธิภาพที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับความจุของระบบทางเดินอาหาร จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ภายในรูเมน อัตราการไหลผ่านของอาหาร และความสามารถในการดูดซึมโภชนา (Devendra, 1989; Leng, 1989; Wanapat, 1989)

2.2.1 จุลินทรีย์วิทยาในรูเมน (rumen microbiology)

ประชากรจุลินทรีย์ในรูเมน จะถูกควบคุมโดยความสมดุลย์ของนิเวศวิทยาภายในรูเมนเอง สภาวะภายในรูเมน มีลักษณะเฉพาะอย่าง แตกต่างไปจากระบบการหมักในสภาพไร้ออกซิเจนอื่นๆ ส่วนที่สำคัญของสภาวะในรูเมน คือ สามารถรักษาระดับของอุณหภูมิได้ การหมัก

อาหารเป็นการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid) คาร์บอนไดออกไซด์ เมทาเนน แอมโมเนีย กรดแลคติก (บุญล้อม, 2527; Orskov and Ryle, 1990) ส่วนความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6-7 และมีอุณหภูมิที่ 39 องศาเซลเซียส ซึ่งค่อนข้างคงที่ (เมธา, 2533; Van Soest, 1982) จุลินทรีย์ในรูเมนส่วนใหญ่เป็นพวก obligate anaerobes อยู่ได้ในสภาพที่มีออกซิเจนอยู่บ้างเพราะอาจถูกนำมาใช้ในขบวนการหมักโดยใช้ออกซิเจนเป็นตัวให้อิเลคตรอน แต่การมีระดับของออกซิเจนมากเกินไป อาจจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์พวกนี้ได้ ระดับของออกซิเจนที่มี จะทำให้ความสมดุลเปลี่ยนแปลงไป (เมธา, 2533) จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในขบวนการหมัก มีกลุ่มใหญ่ๆ คือ แบคทีเรีย พบในของเหลวรูเมน 10^9-10^{10} เซลล์ต่อมิลลิลิตร โปรโตซัว พบในช่วง 10^5-10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และเชื้อรา พบในช่วง 10^3-10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร (Bryant, 1959; William, 1986; France, 1993) โดยที่แต่ละชนิดมีจำนวนแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร สภาพนิเวศวิทยาภายใน และความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มจุลินทรีย์ (Orskov and Ryle, 1990) จากการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าประชากรส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์ จะเกาะยึดอยู่กับอนุภาคอาหารในของเหลวภายในรูเมน (McAllister et al., 1994) แบคทีเรียและโปรโตซัวจะเข้ายึดเกาะอนุภาคอาหารภายใน 5 นาที หลังจากสัตว์กินอาหาร (Bonhonne, 1990) Czerkawski and Cheng (1988) ได้จำแนกจุลินทรีย์ตามตำแหน่งที่อยู่ได้เป็น 3 ส่วนย่อย ได้แก่พวกที่อยู่บนของเหลวรูเมน พวกที่เกาะอย่างหลวมๆ และพวกที่เกาะติดแน่นในอนุภาคอาหาร

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์

2.2.2.1 อัตราการย่อยสลายอาหารหยาบ (rate of fiber degradation)

ความสำคัญของอัตราการย่อยสลายต่อตัวสัตว์ เป็นปัจจัยที่กำหนดความเร็วขององค์ประกอบที่ถูกย่อยได้ จะถูกปลดปล่อยออกจากอาหารได้เร็วเพียงใด มีผลต่อการว่างของระบบทางเดินอาหาร และอัตราการไหลกลับ (turnover rate) ในตัวสัตว์ โดยทั่วไปสัตว์จะมีปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบคุณภาพต่ำ คือ ประมาณ 1-2% ของน้ำหนักตัว อาหารหยาบปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นที่ถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายในทันที และมีช่วงพักสั้นๆ ที่ไม่มีการสลาย หรือมีต่ำมากในช่วงแรกนี้ อาหารที่มีเยื่อใยสูงช่วงพักนี้จะค่อนข้างนานเช่น 8-10 ชั่วโมงในทางข้าว (Chesson and Orskov, 1984) การสลายตัวของอนุภาค ในช่วงนี้อาจเกิดจากสาเหตุอื่น ซึ่งส่วนใหญ่แล้วอนุภาคอาหารที่มีขนาดใหญ่ จะถูกย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ ในระหว่างการบดเคี้ยวมากกว่าที่จะเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยตรง หรือจากการบีบตัวของรูเมน (Kennedy, 1985; McLeod and Minson, 1988)

2.2.2.2 ความจำกัดของปริมาณไนโตรเจน

อาหารหยาบได้จากพืชมีปริมาณเยื่อใยสูง มีความสามารถในการย่อยได้ของอินทรีย์สาร อยู่ในช่วง 25-75% มีปริมาณผนังเซลล์สูงซึ่งโดยธรรมชาติความสามารถในการย่อยได้ของผนัง

เซลจะต่ำ อาจเนื่องมาจาก ส่วนประกอบโพลีเมอร์ (polymer) ของคาร์โบไฮเดรตที่เฉพาะ และมีการ cross-link กับลิกนิน ดังนั้นความเป็นไปได้สำหรับการปรับปรุงในการใช้อาหารหยาบจึงมีข้อจำกัด นอกจากนี้อาหารหยาบยังมีปริมาณเนื้อเซลและโปรตีนต่ำ การขาดไนโตรเจน เป็นข้อจำกัดในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และขบวนการหมัก ดังนั้นความเป็นไปได้สำหรับการปรับปรุงอัตราการย่อยได้ของผนังเซล การเสริมด้วยไนโตรเจนที่ถูกย่อยในรูเมนจึงเป็นแนวทางที่เพิ่มประโยชน์ได้ ถ้าระดับ ของไนโตรเจนในอาหารลดลงต่ำกว่า 1.0-1.2% จะมีผลต่อความสามารถในการย่อยได้ (Waldo, 1968; Conrad et al., 1964) และจะมีผลต่อการใช้ไนโตรเจนและพลังงานของสัตว์ ในอาหารหยาบที่ประกอบด้วยไนโตรเจนต่ำกว่า 20 กรัม/กก. อินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (DOM) นั้น พบว่า การเสริมด้วยไนโตรเจนที่ถูกหมักได้ในรูเมนจะทำให้ระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) เพิ่มขึ้น สำหรับในอาหารหยาบที่มี DOM มากกว่า 0.3 จะเพิ่มการย่อยได้ของเยื่อใยและอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ (Egan, 1984)

2.2.2.3 ผลของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้

อัตราการย่อยสลายของเซลลูโลสจะลดลง ถ้ามีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายหรือไขมันอยู่ในรูเมนเป็นปริมาณมาก พางที่มีการสกัดเอาสัดส่วนของแป้งที่ละลายได้ออกไป จะมีการย่อยได้ดีขึ้น เมื่อให้สัตว์ได้รับธัญพืช การมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่ายในระดับที่สูงมาก จะไม่ช่วยปรับปรุงการย่อยได้อย่างเป็นสัดส่วนเดียวกัน เนื่องมาจากอิทธิพลสัมพันธ์ในทางลบ Miller and Muntifiring (1985) พบว่า การเสริมอาหารชั้นในระดับสูง ความสามารถในการย่อยได้เยื่อใย ศักยภาพการย่อยได้เยื่อใยที่ปรากฏลดลงแต่มีผลเล็กน้อยต่อ อัตราการไหลผ่าน และระยะพักตัว Mould et al. (1983) รายงานว่า เมื่อให้อาหารชั้นในระดับสูง ปริมาณจุลินทรีย์ที่ย่อยเซลลูโลสลดลงจาก 10^6 ไปเป็น 10^4 เซลล์/มล. (ในสภาพ pH คงที่ที่ 6.7) ซึ่งสนับสนุนว่ากลไกแรกที่มีผลลดการย่อยได้ของเยื่อใย (in vivo) คือแป้งในอาหารอันจะไม่มีผลลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ย่อยเซลลูโลส

2.2.2.4 ผลของ pH

Dixon (1986) ได้อธิบายถึงความสำคัญของ pH ในรูเมนต่อการย่อยได้ของสารประกอบเยื่อใยในผนังเซลพืช ทั้งที่ทดสอบ in vitro และ in vivo คือเมื่อ pH ลดลง ทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ในรูเมนลดลงไปด้วย จึงมีการหมักเกิดขึ้นน้อย โดยเฉพาะเมื่อ pH ต่ำกว่า 6 จะมีการหมักเยื่อใยเกิดขึ้นน้อยมาก ระดับของ pH ในรูเมนจะเกี่ยวกับชนิดของอาหารที่กินเข้าไป กล่าวคือ ถ้าสัตว์กินอาหารที่มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตย่อยได้ง่ายสูง จะทำให้ pH ลดลงเป็นกรด เนื่องจากอัตราการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA) สูงกว่าอัตราการดูดซึมออกจากรูเมน ดังนั้นระดับของ pH ในรูเมนมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับ VFA มาก (Briggs et al., 1957) เมื่อเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ ลงในอาหารที่มีกลูโคส หรือเซลูโลส จำกัด และเติม HCl เพื่อรักษาสภาพความเป็นกลาง พบว่า แบคทีเรียมีความไว

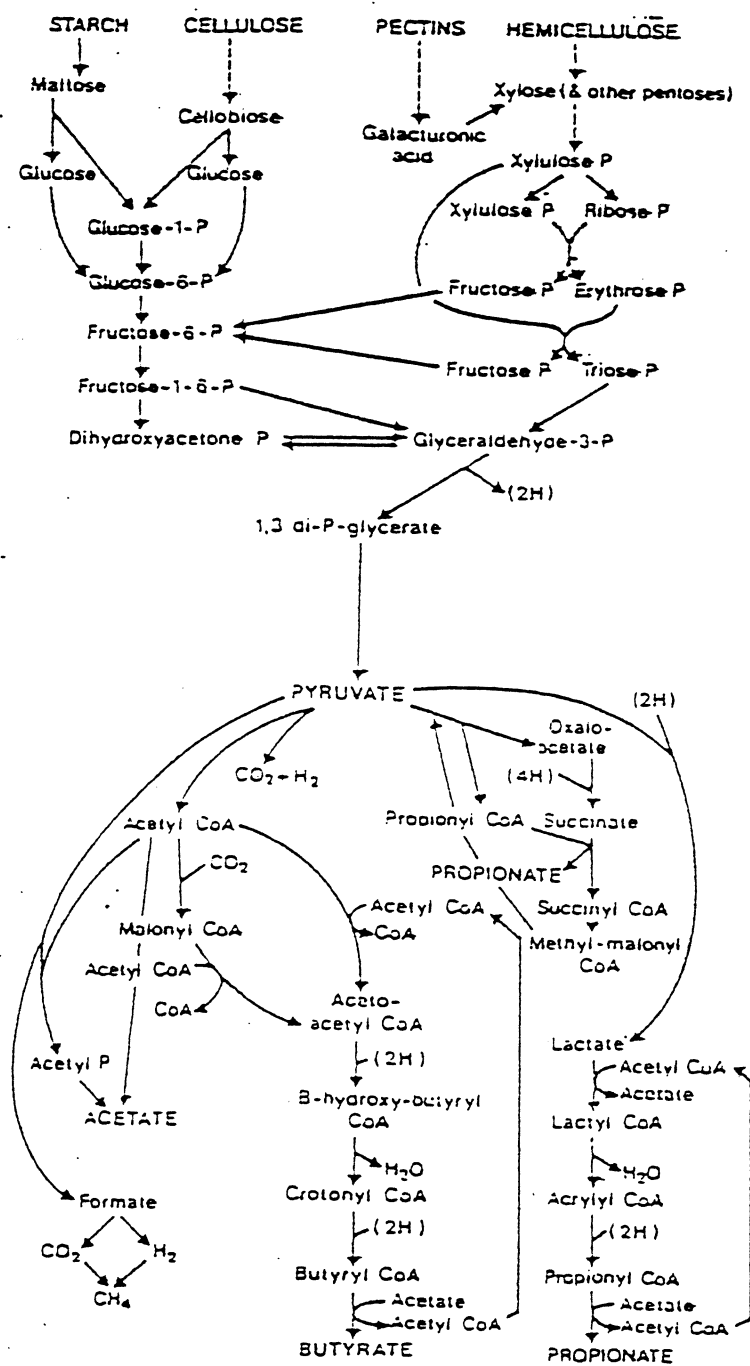
ในการตอบสนองต่อการลดลงของ pH (Russell and Dombrowski, 1980) กลุ่มแบคทีเรียที่ใช้เซลลูโลส (cellulolytic bacteria) ไม่สามารถเจริญได้ เมื่อ pH น้อยกว่า 6 ซึ่งความไวในการตอบสนองนี้สอดคล้องกับผลของ pH ต่อการย่อยได้เซลลูโลส (Stewart, 1977) นอกจากอัตราการดูดซึม VFA ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง pH ในรูเมนแล้ว ยังประกอบด้วย การหมุนเวียนกลับของสารประกอบพวกที่มีประจุลบ ปริมาณน้ำลายที่ขับออกมา ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับชนิดของอาหารสัตว์ที่กินเข้าไป และความสามารถในการควบคุมความเป็นกรดและด่าง เนื่องจากลักษณะของอาหารเอง (Dixon, 1986; เมธา, 2533)

2.2.3 เมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และกรดไขมันที่ระเหยได้ในรูเมน

คาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญมากต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง รวมทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ ในรูเมนด้วย พืชมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 75% ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบน้ำตาล (polysaccharides) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และ เพกติน เป็นต้น น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่พบในเซลพืช ได้แก่ กลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส น้ำตาลเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องถูกย่อยสลายในรูเมน ก่อนที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ประโยชน์ นอกจากนั้นจะมีน้ำตาลเชิงซ้อน ซึ่งสะสมอยู่ในเนื้อเซล น้ำตาลเหล่านี้นับว่าเป็นแหล่งพลังงานสะสม จะมีการเคลื่อนย้ายอย่างรวดเร็วและถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้ พลังงานสะสมเหล่านี้จะอยู่ในรูปแป้ง ซึ่งอาจมีถึงร้อยละ 70 ของวัตถุแห้งในเมล็ดธัญพืช แป้งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แอมไมโลส (amylose) แอมไมโลเพกติน (amylopectin) ซึ่งเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของแป้ง (เมธา, 2533)

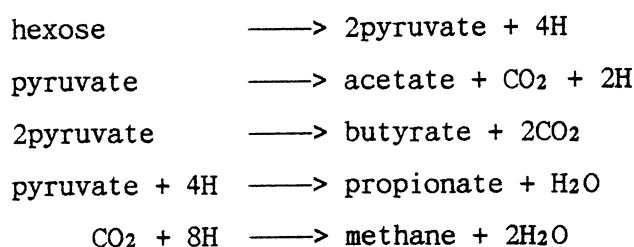
กรดไขมันที่ระเหยได้ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก และมีกรดวาเลอริก คาโพลิก ไอโซวาเลอริก อีกปริมาณเล็กน้อย ถูกผลิตขึ้นจากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ภายในรูเมน (France and Siddons, 1993) ในระหว่างกระบวนการหมักพลังงานถูกเปลี่ยนรูปแบบไปเป็นอะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate) หลังจากนั้นจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ สำหรับการดำรงชีพ และการเจริญเติบโตของประชากรจุลินทรีย์ เท่าที่ทราบกันสำหรับ VFA นั้นเป็นสารที่ไม่ใช้ประโยชน์ ของจุลินทรีย์ แต่เป็นแหล่งสำคัญของพลังงานที่ดูดซึมได้ของตัวสัตว์ อาหารส่วนใหญ่ประมาณ 80% ของพลังงาน จะหายไป ในรูเมน ที่เหลือจะสูญเสียไปในรูปของความร้อนและก๊าซเมทาเนน นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารส่วนใหญ่จะมีปริมาณการกินได้ของพลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy intake) อยู่ระหว่าง 50-70% (Sutton, 1979; Thomas and Clapperton, 1972)

อาหารคาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบที่สำคัญในกระบวนการหมัก ถูกย่อยสลายไปเป็น เฮคโซสและ เพนโตส ก่อนที่จะถูกหมักไปเป็น VFA โดยผ่าน ไพรูเวท (ภาพที่ 2) เพนโตสถูกเปลี่ยนไปเป็นเฮคโซส และ ไตรโอส ฟอสเฟต โดยปฏิกิริยาของเอนไซม์ทรานส์คีโตเลส (transketolase) และทรานส์อัลโดเลส (transaldolase) ใน pentose cycle ขบวนการเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในอาหารส่วนใหญ่จะผ่านเฮคโซสแล้วถูกย่อยไปเป็นไพรูเวท โดยผ่านขบวนการ Embden-Meyerhof glycolytic pathway สำหรับ acetyl CoA



ภาพที่ 2 แสดงวิถีของกระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรตในรูเมน
ที่มา : Leng (1970, อ้างถึงใน เมธา, 2533)

เป็นตัวกลางในการสังเคราะห์กรดอะมิโนและนิวคลีโอไทด์จากไพรูเวต ในขณะที่การสังเคราะห์กรดไพรูวอีนิก ส่วนมากแล้วจะผ่านทางกรดซิตริก และส่วนน้อยจะผ่านทางกรดอะโครลิก ปริมาณของ reducing power ที่สังเคราะห์ได้ในระหว่างการเปลี่ยนเฮคโซสไปเป็นอะซิเตท หรือนิวคลีโอไทด์ นั้น ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ไพรูวอีนิก แต่ส่วนใหญ่แล้วจะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซเมเทน ปฏิกริยาทั้งหมดสรุปได้ดังนี้



นอกเหนือไปจากอาหารคาร์โบไฮเดรตแล้ว ไขมันและโปรตีนจากอาหารที่สัตว์ได้รับเป็นแหล่งผลิต VFA ได้ด้วย การใช้ไขมันนับว่ามีปริมาณน้อยมากในอาหาร จากการย่อยไขมันจะได้กลีเซอรอลและกรดไขมันแต่ไม่ได้กรดไขมันสายยาว ในขณะที่โปรตีนจากอาหาร อาจจะเป็นแหล่งผลิต VFA ที่สำคัญ เมื่ออาหารนั้นมีการสลายของโปรตีนในรูเมนอยู่สูง โปรตีนถูกย่อยไปเป็นกรดอะมิโน และถูก deaminate ก่อนจะเปลี่ยนไปเป็น VFA ความสำคัญในส่วนนี้ก็คือจะมีการสังเคราะห์ ไอโซบิวทิริก, ไอโซวาเลอริก และ 2-เมทิลบิวทิริก จาก วาลีน, ลูซีน และ ไอโซลูซีน ตามลำดับ ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ใช้ในการเจริญเติบโต ที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียบางชนิด (Cotta and Hespell, 1986)

VFA ส่วนใหญ่ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในรูเมน จะถูกดูดซึมผ่านผนังรูเมน และมีบางส่วนประมาณ 10-20% จะผ่านไปยังโอดมาซัม, อีโอดมาซัม และมีการดูดซึมเกิดขึ้นโดยกระเพาะเหล่านี้ (Weston and Hogan, 1968) การสังเคราะห์ พบว่า สูงสุดในระหว่างช่วงที่ 2-4 หลังการกินอาหาร ความเข้มข้นของ VFA ในรูเมนที่ระยะเวลาใด ๆ นั้น สะท้อนให้ทราบถึงความสมดุลระหว่างอัตราการสังเคราะห์และอัตราการสูญเสีย หลังจากการกินอาหาร การสังเคราะห์มีมากกว่าการสูญเสียทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นสภาวะเปลี่ยนไปความเข้มข้นจะลดลง ความเข้มข้นของ VFA ทั้งหมดอาจลดต่ำลงถึง 30 mM หรือ สูงถึง 200 mM แต่โดยปกติจะอยู่ในช่วงระหว่าง 70-130 mM ความเข้มข้นสัมพันธ์ของกรดไขมันแต่ละตัวจะบ่งบอกถึงรูปแบบของกระบวนการหมัก ซึ่งดัชนีของกระบวนการหมักจากอาหารหยาบจะมีความเชื่อถือได้มากกว่าจากอาหารข้น (Leng and Brett, 1966; Esdale et al., 1968) อาหารที่ประกอบด้วยอาหารหยาบในปริมาณสูงเป็นสิ่งกระตุ้นให้มีการเจริญเติบโต ของแบคทีเรียที่ผลิตกรดอะซิติกสัดส่วนเป็น molar ของกรดอะซิติก: ไพรูวอีนิก: บิวทิริกโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 70:20:10 ในทางตรงข้าม อาหารที่ประกอบด้วยอาหารข้นในปริมาณสูง จะเป็นสิ่งกระตุ้นให้มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มที่ผลิตกรดไพรูวอีนิก ทำให้มีสัดส่วนของกรดไพรูวอีนิกเพิ่มขึ้น นอกเหนือไปจากอาหารคาร์โบไฮเดรตแล้ว ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ลักษณะทางกายภาพของอาหาร ปริมาณการกินได้ ความถี่ของการให้อาหารและการใช้สารเสริมอาหาร อาจเป็นสิ่งที่สะท้อนถึงรูปแบบของกระบวนการหมัก (Thomas and Rook, 1981; Orskov, 1981; Van

Nerel and Demeyer, 1988)

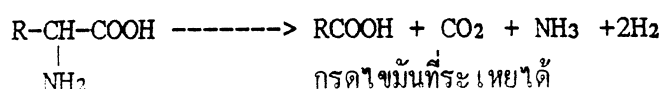
กรดอะซิติกและบิวทีริก หลังจากที่ถูกดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อของสัตว์แล้ว จะถูกใช้เป็นแหล่งของพลังงานโดยขบวนการ oxidation ผ่าน citric acid cycle ซึ่งกรดอะซิติกเป็นสารประกอบหลักในการสังเคราะห์ไขมันในขณะที่กรดไพรูวอิกจะถูกใช้ส่วนใหญ่ในขบวนการสังเคราะห์กลูโคส ในโคเคนพบว่า 60% ของกลูโคสผลิตจากไพรูวอิกเนท ปริมาณของไพรูวอิกเนทที่ถูกดูดซึมเข้าไปจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกลูโคสได้ตั้งแต่ 19-60% (เมธา, 2533)

2.2.4 เมทาบอลิซึมของสารประกอบไนโตรเจนในรูเมน

ไนโตรเจนในอาหารอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ โปรตีนแท้ (true protein) และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) ตัวอย่างของ NPN เช่น กรดอะมิโนอิสระ, เปปไทด์, เอไมด์ (amides), เอมีน (amines), เกลือแอมโมเนียม (ammonium salt), ไนเตรต, ไนไตรท์, ยูเรีย และไบยูเรท เป็นต้น ในอาหารธรรมชาติจะมีสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกันไป เช่น ในเมล็ดพืช มีประมาณ 4-5% ในหญ้าสด และหญ้าอ่อนมีประมาณ 30-40% แต่พอหญ้าแก่จะลดลงเหลือ 4-5% ส่วนในอาหารหมักอาจจะมีสูงถึง 60-75% และยังพบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูเมนได้แก่ ชนิดของอาหาร ความสามารถในการละลายได้ ช่วงเวลาหลังจากสัตว์กินอาหารแล้ว รวมทั้งวิธีการตรวจหาสารประกอบไนโตรเจนด้วย (เมธา, 2533)

2.2.4.1 การย่อยสลายของโปรตีนในรูเมน

เมื่อสัตว์ได้รับโปรตีนในอาหารเข้าไปในรูเมน จุลินทรีย์โดยเฉพาะพวกแบคทีเรียจะไฮโดรไลซ์ (hydrolyzed) โปรตีนให้มีโมเลกุลเล็กลง เปลี่ยนเป็นเปปไทด์ และกรดอะมิโน กิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม pH ในรูเมนอาจมีอิทธิพลมากกว่า pH ที่เหมาะสมของการเข้าย่อยสลายโปรตีนจะอยู่ระหว่าง 6-7 หลังจากนั้นจะมีการ deamination กรดอะมิโนได้เป็น แอมโมเนีย และ keto acid ซึ่งอาจถูกสลายต่อไปเพื่อใช้ในการสร้างสารประกอบอื่น หรือเป็นแหล่งพลังงาน หรือถูกนำกลับมาสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนใหม่ สรุปได้ว่าส่วนหนึ่งของกรดอะมิโนจะถูกย่อยสลายต่อไปได้ แอมโมเนีย, คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดไขมันที่ระเหยได้ ดังสมการ (บุญล้อม, 2527)

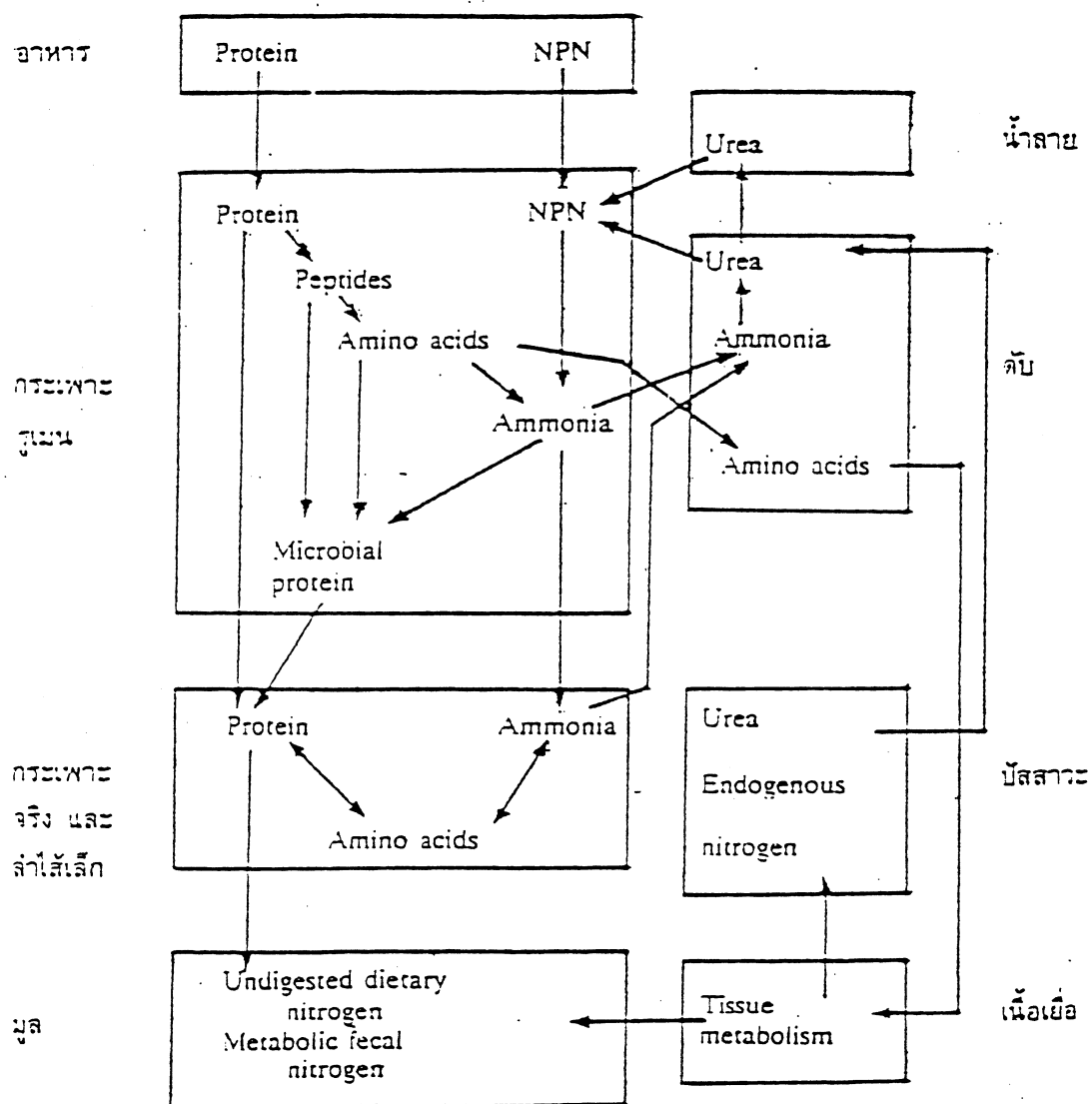


เป็นการจำกัดการผลิต keto acids ซึ่งจะนำมาใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโน จะมีผลทำให้มีการสูญเสียแอมโมเนียผ่านรูเมน และทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน ในอาหารเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าอัตราของการได้รับยูเรียของสัตว์เหมาะสมกับ อัตราการย่อยสลายของเซลลูโลส จะทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนดีขึ้น การเมทาบอลิซึมของไนโตรเจน ในสัตว์เคี้ยวเอื้องแสดงในภาพที่ 3

ความเข้มข้นที่เหมาะสมของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในรูเมน เพื่อทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตสูงสุดนั้นยังไม่ทราบแน่นอน ทั้งนี้เป็นที่เข้าใจว่าความเข้มข้นนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับของการให้อาหาร ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่มี และแหล่งของแร่ธาตุ ความถี่ของการให้อาหาร เป็นต้น ระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสมนั้นเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ในการเพิ่มกระบวนการย่อยในรูเมนโดยจุลินทรีย์ ทั้งนี้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 2-22 mg% (Church, 1983) Satter and Slyter (1974) รายงานว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่มากกว่า 50 mg/ลิตร ไม่มีผลต่อการผลิตโปรตีนในตัวจุลินทรีย์ สอดคล้องกับ Roffler and Satter (1975) ซึ่งรายงานว่ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เกิน 5 mg% ไม่มีผลทำให้การสังเคราะห์โปรตีนในตัวจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น แต่การผลิตแอมโมเนียในรูเมน มีความสัมพันธ์ทางบวกกับเอนไซม์ทรานสอะมิเนส (transaminase) จากจุลินทรีย์ จากรายงานของผลการศึกษาวิจัยในประเทศเขตร้อน เช่นจากรายงานของ Boniface et al. (1986) พบว่า ระดับ $\text{NH}_3 - \text{N}$ ที่เหมาะสมในสัตว์เคี้ยวเอื้องในเขตร้อนนั้นมีค่าสูงกว่า 20 mg $\text{NH}_3 - \text{N}$ /ลิตร ซึ่งจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปริมาณการกินได้สูงสุด Grummer and Clark (1982) รายงานว่า การให้อาหารที่มีไนโตรเจนที่ละลายง่าย (soluble nitrogen) สูง มีผลทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูเมนสูงขึ้นในช่วงที่ 1-2 หลังการให้อาหาร จากนั้นความเข้มข้นของแอมโมเนียจะค่อยๆ ลดลง แต่ในช่วงที่ 8-12 หลังให้อาหาร ความเข้มข้นของแอมโมเนียกลับสูงขึ้นเนื่องจากมียูเรียที่ร่างกายสร้างขึ้น (endogenous urea) ถูกส่งเข้ามาในรูเมน Krebs and Leng (1986) พบว่า การย่อยได้ของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเมื่อระดับ $\text{NH}_3 - \text{N}$ เพิ่มขึ้นถึง 21mg% Schaeffer et al. (1980) รายงานว่า ในอาหารเลี้ยงเชื้อบริสุทธิ์จะต้องการ $\text{NH}_3 - \text{N}$ 1.4mg% สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงสุด

2.2.4.3 การหมุนเวียนกลับของไนโตรเจนเข้าสู่รูเมน (rumen N-recycling)

ไนโตรเจนสามารถกลับเข้าสู่รูเมนในรูปของยูเรีย โดยผ่านทางน้ำลายและโดยการแพร่ (diffusion) ของยูเรียในเลือดผ่านผนังรูเมน ซึ่งอาจสูงกว่าที่ผ่านมาทางน้ำลายถึง 16 เท่า ในน้ำลายชนิดผสม และน้ำลายชนิดใสที่ผลิตจากต่อมพารอดิด (parotid) มียูเรียเป็นองค์ประกอบอยู่สูงถึง 60-70% ของไนโตรเจนทั้งหมด และ พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์กิน และปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกมาทางน้ำลาย และระหว่างยูเรียในเลือดกับยูเรียในน้ำลาย มีค่าสัมประสิทธิ์ (correlation coefficient) สูงมาก $r = 0.99$ และ 0.96 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการเมแทบอลิซึมของไนโตรเจนในระบบของสัตว์เคี้ยวเอื้อง
ที่มา : Mecer and Annison (1976, อ้างถึงใน เมธา, 2533)

(บุญล้อม, 2527) อย่างไรก็ตาม การขนส่งของยูเรียจากเลือดเข้าสู่รูเมนมากกว่าผ่านทางน้ำลาย และพบด้วยว่า ยูเรียที่ผ่านผนังรูเมนเข้ามานั้นส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย เนื่องจากมีน้ำย่อยยูรีเอส (urease) จากแบคทีเรียในรูเมนเข้าไปในepithelium และแอมโมเนียที่เกิดขึ้น มีการแพร่เร็วกว่ายูเรีย

การนำกลับของยูเรียเข้าสู่รูเมน จะช่วยทำให้การใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในสัตว์ที่ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำ หรือในระยะอดอาหารประมาณว่า 14% ของไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ได้รับ จะถูกนำกลับเข้าสู่รูเมนโดยผ่าน 2 ทาง (เมธา, 2533) ในภาวะที่สัตว์ได้รับไนโตรเจน ตามปกติ 40% ของยูเรียที่ถูกกรองใน glomeruli ของไตจะขับออกทางปัสสาวะ แต่ในระยะที่สัตว์ขาดไนโตรเจน ไตจะลดการขับยูเรียทางปัสสาวะเหลือเพียง 1-2% เท่านั้น จึงทำให้มียูเรียเก็บกักไว้ในเลือดมาก และนำกลับเข้าสู่รูเมนได้อีกเพื่อเพิ่มการผลิตจุลินทรีย์โปรตีน (Fontenot, 1979) Van Soest (1982) อธิบายว่า การนำกลับของไนโตรเจนขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนที่กินแต่การเพิ่มไนโตรเจน ในอาหารบางครั้งไม่จำเป็นต้องเพิ่มการนำกลับไนโตรเจน เข้าสู่รูเมนเสมอไป ทั้งนี้เพราะว่า urea pool ในร่างกายอยู่ภายใต้การควบคุมให้คงที่โดยทางสรีระของสัตว์ และไนโตรเจน ที่กลับเข้าสู่รูเมนมีจำนวนไม่เพียงพอต่อความต้องการทั้งหมดของจุลินทรีย์ ดังนั้นไนโตรเจนส่วนที่เหลือจำเป็นต้องได้มาจากอาหาร ด้วยเหตุที่ไนโตรเจนจากอาหารและไนโตรเจน จากการนำกลับเข้าสู่รูเมนมีการแข่งขันกันจึงทำให้ประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (re - utilization) ของยูเรียลดลง เมื่อสัตว์ได้รับไนโตรเจนในอาหารเพิ่มขึ้น

2.2.4.4 ยูเรียในเลือด (blood urea nitrogen, BUN)

จากการศึกษาเมทาบลิซึมของไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) ถูกย่อยสลายครั้งแรกในรูเมนโดยการทำงานของจุลินทรีย์ ผลการย่อยอาหารโปรตีนโดยจุลินทรีย์ในรูเมนทำให้ได้แอมโมเนีย กรดอินทรีย์ ฯลฯ เกิดขึ้น นอกจากนั้นยังมีโปรตีนบางส่วนถูกนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนในตัวจุลินทรีย์ด้วย สำหรับแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซึมผ่านผนังรูเมนทางเส้นเลือดฝอย และถูกนำเข้าสู่ ruminal vein แล้วส่งไปสู่ตับทาง portal vein จากนั้นตับจะเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นยูเรีย ยูเรียที่สังเคราะห์ในตับนี้จะส่งออกมายังเลือด ส่วนหนึ่งของยูเรียจะถูกนำกลับเข้าสู่รูเมนทางน้ำลาย ส่วนหนึ่งจะถูกขับถ่ายออกมาด้วยปัสสาวะ ดังนั้นประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์โปรตีนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของแอมโมเนียที่ผลิตขึ้นในรูเมน (เมธา, 2533) Lewis (1957) พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูเมนมีค่าสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแอมโมเนียใน portal vein ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียใน portal vein สูงขึ้น ความเข้มข้นของแอมโมเนียในเลือดจะมีค่าสหสัมพันธ์โดยตรงกับอาหารที่สัตว์กิน หากอาหารมีระดับไนโตรเจนสูง ความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูเมนสูง ความเข้มข้น

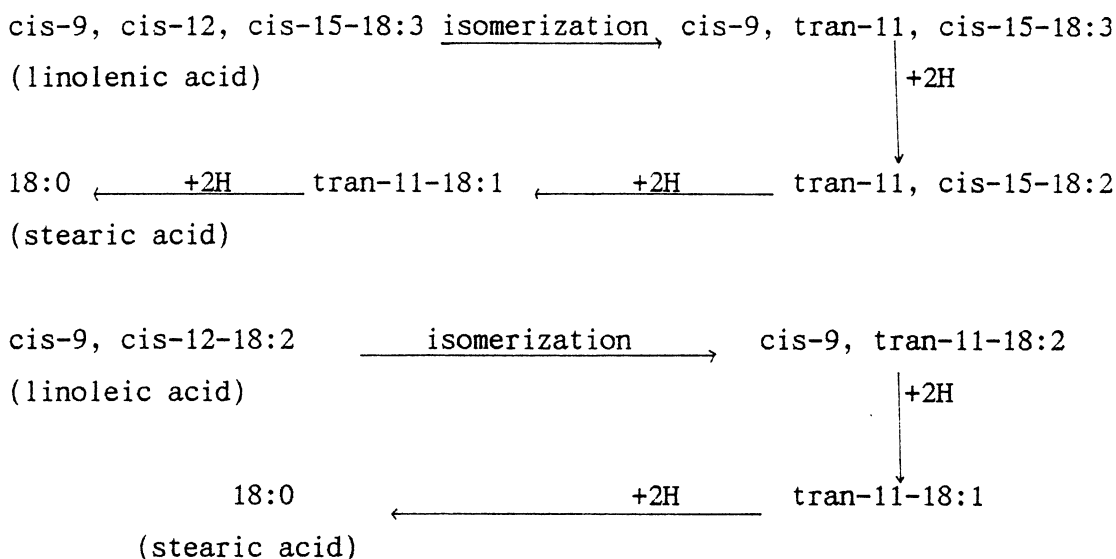
ของยูเรียในเลือดก็จะสูงตามไปด้วย Torell et al. (1974) เสนอว่า ค่ายูเรียในเลือด เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงสถานภาพทางโภชนาของสัตว์ Akkada and Osman (1967) รายงานว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูเมนและความเข้มข้นของยูเรียในเลือดจะมีค่าสูง ในช่วงวันที่ 3 หลังให้พืชอาหารตระกูลถั่ว โดยมีค่าสูงกว่าพวกหญ้าและจากการคำนวณ พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูเมนมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของยูเรียในเลือด และสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงการสะสมไนโตรเจนในร่างกาย Wanapat et al. (1982) รายงานว่า ระดับยูเรียในเลือดที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการที่สัตว์กินอาหารที่มีโปรตีน หรือไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนในระดับสูง นอกจากนั้นระดับของยูเรียในเลือดยังอาจสูงได้ เพราะสภาวะที่มีการสลายโปรตีนที่สะสมไว้ในร่างกายออกมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากการที่สัตว์อดอาหาร สัตว์กินอาหารที่ขาดไนโตรเจน สัตว์อยู่ในช่วงที่ท้องร่วงอย่างรุนแรง (เมธา, 2533; Torell et al., 1974) รวมทั้งการที่สัตว์มีระบบการทำงานของไตผิดปกติ (Brown, 1983)

2.2.5 เมทาบอลิซึมของไขมันในรูเมน

แบคทีเรียที่ใช้ไขมัน (lipolytic bacteria) มีบทบาทสำคัญ ต่อการย่อยไขมันโดยหลังเอ็นไซม์ไลเปส ย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ ได้กลีเซอรอล และกรดไขมัน ไม่ปรากฏว่าพบเอนไซม์กลีเซอไรด์ และโคกลีเซอไรด์ขณะที่ไขมันถูกย่อย เนื่องจากในน้ำลายไม่มีเอ็นไซม์ย่อยไขมัน และเมื่ออาหารที่สัตว์กินเข้าไปในส่วนของรูเมนมาดَّمَ การย่อยไขมันจะไม่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นข้อสรุปว่าไขมันถูกย่อยโดยแบคทีเรียในรูเมน กลีเซอรอลที่ได้จากการย่อยไขมันจะถูกหมักต่อไปได้กรดไขมันที่ระเหยได้ เช่น กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) เป็นส่วนใหญ่ และอาจมีกรดซักซินิก (succinic acid) และกรดแลคติก (lactic acid) เกิดขึ้นชั่วคราว Wieseaman (1984) ได้สรุปขบวนการใช้ไขมันในรูเมนไว้ดังนี้

triglyceride	<u>hydrolysed</u>	fatty acids
		glycerols
glycerol	<u>fermentation</u>	propionic acid
		succinic acid
		lactic acid

สำหรับกรดไขมันที่อยู่ในรูปของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) จะถูก hydrogenate ในรูเมนเปลี่ยนเป็นกรดสเตียริก (stearic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) โดยการเติมไฮโดรเจนเข้าไป หรือเปลี่ยนตำแหน่งบอนด์คู่จากที่หนึ่งไปเป็นอีกที่หนึ่ง หรือเปลี่ยนบอนด์คู่ แบบ cis ให้เป็นแบบ trans (บุญล้อม, 2527) ตามขบวนการดังนี้



ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความต้องการปริมาณของกรดไขมันที่จำเป็นในระดับต่ำมาก ทั้งนี้อาจจะได้รับจากกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวที่ไม่ถูก hydrogenate ในรูเมน การหลบเลี่ยงเกิดขึ้นได้โดยการป้องกันจากโปรโตซัว โดยโปรโตซัวดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตของตัวเอง ซึ่งจะได้เห็นว่าในเนื้อเยื่อของโปรโตซัวมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูงถึง 20% การดูดซึมของกรดไขมันในรูเมนเกิดขึ้นน้อยมาก ถึงแม้ว่าจะเกิด hydrogenation อย่างมากก็ตาม เนื้อเยื่อผนังรูเมนจะสามารถเมตาบอลิซึมกรดสเตียริกอย่างช้า ๆ โดยจะให้ผลผลิตเป็นคีโตนบอดี แต่ส่วนใหญ่แล้วกรดสเตียริกถูกส่งไปยังกระเพาะส่วนท้าย (เมธา, 2533) สำหรับในสัตว์แรกเกิดมีความต้องการกรดไขมันที่จำเป็น เมื่อรูเมนเริ่มทำหน้าที่ได้แล้ว ก็จะสามารถผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ ความต้องการกรดไขมันที่จำเป็นในอาหารจึงหมดไป ถึงแม้ว่าการเติมไขมันในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่สำคัญในแง่โภชนาการมากนัก แต่ก็มีผู้ใช้อยู่เป็นประจำ เมื่อราคาของสารอาหารอย่างอื่นแพงขึ้น การเติมไขมันในปริมาณ 2-5% ในสูตรอาหาร จะเป็นการช่วยลดความเป็นพิษ เพิ่มความอืดอร่อย และอาจช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงขึ้น ทั้งนี้อาจจะช่วยลดปริมาณแก๊สเมทาเนนที่สูญเสียออกจากรูเมน แต่การเติมไขมันมากกว่า 5% ของสูตรอาหารอาจจะเป็นการลดประสิทธิภาพการย่อยของเซลลูโลสในรูเมน และทำให้มีการสะสมกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในเนื้อเยื่อไขมัน นอกจากนั้นยังอาจทำให้เกิดการท้องอืด และเกิดความผิดปกติในรูเมน (Church, 1983)

Moor et al. (1986) รายงานว่า การใช้ไขมันในอาหารที่ระดับมากกว่า 6.3% ทั้งไขมันในรูปอิสระ หรือเมลิคฟ้าย (30% ของสูตรอาหาร) ในโคเนื้อที่ได้รับพลังงานระดับสูงนั้น มีผลทำให้การย่อยได้ของ acid detergent fiber ลดลงจาก 40% ถึง 28% ระดับที่เหมาะสมเท่ากับ 2.4% ส่งผลให้การกินได้ของพลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy intake) เพิ่มขึ้น Brosh et al. (1989) ศึกษาการใช้เมลิคฟ้ายในสูตรอาหารโคเนื้อที่ระดับ 0, 60, 120, 180 และ 240 กรัมต่อกิโลกรัมของวัตถุดิบ โดยให้พลังงานเป็นอาหารหลัก ในระดับ 760 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ที่ระดับการใช้ 120 กรัมต่อกิโลกรัมของ

วัตถุแห้ง (โดยมีไขมันคิดจากปริมาณเมล็ดฝ้ายที่ใช้เท่ากับ 2.5%) เป็นระดับที่เหมาะสมและสูงสุด ถ้าเกินระดับนี้ส่งผลในการจำกัดปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ของวัตถุแห้ง Zinn and Placencia (1993) รายงานว่า การใช้เมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารโคเนื้อ 20% ร่วมกับไขมันจาก yellow grease 5% ทำให้การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุลดลง 24% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

เมธา (2533) เสนอว่า การใช้ไขมันเสริมในอาหารในระดับที่สูงนั้น จะทำให้ระดับไขมันในมูลลดลง ทั้งนี้เพราะมีผลทำให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง โดยทำให้อัตราส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดไพรูวอีนลดลง โดยมีข้อสมมุติฐานที่อาจเป็นไปได้ คือ ไขมันอาจไปเกาะติดตามผิวของอาหารเยื่อใยไขมันอาจทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ในรูเมนเปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งไปขัดขวางการเข้าย่อยสลายของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าเกาะจับบนเซลลูโลสและไขมันอาจจับตัวกับกรดไขมันสายยาว ทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่ละลายในรูเมน เป็นการลดปริมาณของสารประกอบที่มีประจุบวก

2.3 โคน

การเลี้ยงโคนในประเทศไทย แต่ก่อนนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการใช้งาน ส่วนใหญ่ใช้เป็นสัตว์พาหนะ เช่น ลากเกวียน ลากเลื่อน และนิยมใช้ปฏิบัติงานเพื่อการเพาะปลูกในบางพื้นที่ เช่นการเตรียมดิน คายร้อน เป็นต้น และเมื่อใช้งานจนมีอายุ จึงปลดออกจากการปฏิบัติงาน

ปัจจุบันการเลี้ยงโคนเพื่อใช้งานมีความสำคัญลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการเข้าทดแทนด้วยเครื่องจักร ซึ่งได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามจำนวนโคที่เลี้ยงในประเทศไทย มีความแตกต่างกันไม่มากนัก ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน กล่าวคือ จำนวนโคต้นปี 2521 มีประมาณ 4.4 ล้านตัว เพิ่มขึ้น 4.9 ล้านตัว ในปี 2530 และเพิ่มขึ้น 5.8 ล้านตัว ในปี 2535 โดยมีอัตราเพิ่มเฉลี่ยประมาณ 3 % ต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2538) แม้จำนวนโคที่เลี้ยงในวัตถุประสงค์ เพื่อใช้งานมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว แต่การเลี้ยงโคนในวัตถุประสงค์เพื่อเป็นโคเนื้อ สำหรับบริโภคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากประชากรไทยที่เพิ่มขึ้น ความต้องการบริโภคอาหารประเภทเนื้อสัตว์จึงสูงขึ้น ส่งผลให้การขยายการเลี้ยงโคเนื้อเพิ่มขึ้นทดแทนในส่วนที่ลดลงของโคงานประกอบกับปัจจุบันการบริโภคเนื้อโคคุณภาพดีมีการขยายตัวมากขึ้น จากการขยายตัวของธุรกิจการท่องเที่ยวและกลุ่มผู้มีรายได้สูง ทำให้มีการขยายการเลี้ยงโคพันธุ์ดีเพื่อขุนให้ได้เนื้อโคมีคุณภาพเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคในระดับสูงเพิ่มขึ้นเพื่อทดแทนการนำเข้าเนื้อโคชั้นดีจากต่างประเทศ จึงมีการขยายจำนวนธุรกิจฟาร์มเลี้ยงโคเนื้อมากขึ้น โดยหวังว่าจะเป็นผลิตผลเกษตรอีกชนิดหนึ่งที่สามารถทดแทนการนำเข้าและเพิ่มรายได้จากการส่งออกได้ทัดเทียมผลิตผลเกษตรอื่น ๆ

ชัยณรงค์ (2529) กล่าวว่า การผลิตเนื้อโคที่มีคุณภาพบริโภคในระดับที่สามารถจะสร้างความนิยมและแข่งขันกับเนื้อจากปศุสัตว์ชนิดอื่นๆ ได้นั้น จะต้องมีความสมบัติสำคัญประการหนึ่งนั่นก็คือเนื้อจะต้องไม่เหม็นยัดง เช่นที่เป็นอยู่โดยทั่วไปในปัจจุบัน เนื่องจากสัตว์ที่เข้าขุนแต่ละมีอายุมาก และส่วนใหญ่ปลดจากการใช้งานมาแล้ว เนื้อโคที่มีคุณภาพยอมรับได้ ควรจะต้องเป็น

เนื้อที่ได้มาจากสัตว์ที่ยังอยู่ในวัยหนุ่มสาว หรือก่อนวัยหนุ่มสาว คือประมาณ 2-3 ปี หรือไม่เกิน 3 ปีครึ่ง ดังนั้นการขุนโค จึงมีความหมายว่า เป็นการนำเอาโควัยหนุ่มสาวซึ่งร่างกายมีการเจริญเปลี่ยนแปลงในด้านโครงร่าง และปริมาณกล้ามเนื้อที่เกือบจะถึงหรือกำลังถึงจุดสุดยอดของชีวิตมาแล้วมาทำการขุน โดยให้อาหารข้นที่มีพลังงานสูงเพิ่มเติมเข้าไปนอกเหนือที่ได้รับจากอาหารหยาบแล้ว เป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็น 6-8 เดือน หรือมากกว่า อาหารที่กินเข้าไปตลอดระยะเวลาการขุน ถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานสะสม ซึ่งอยู่ในรูปของไขมันแฝงอยู่ในที่ต่างๆ ของร่างกาย มีอีกส่วนหนึ่งที่จะไปสะสมอยู่ภายในเนื้อแดง เรียกว่า marbling ทำให้เนื้อมีรสชาติดีเลิศ มีความชุ่มฉ่ำ เนื้อมีกลิ่นหอมชวนรับประทาน

2.3.1 พันธุ์โคที่เลี้ยงเพื่อบริโภคเนื้อ

พันธุ์โคที่เลี้ยงเพื่อบริโภคเนื้อในประเทศไทยส่วนใหญ่ โดยทั่วไปยังคงเป็นพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งเลี้ยงกันมานานแล้ว อย่างปราศจากการคัดพันธุ์ ทำให้โคพื้นเมืองมีขนาดเล็กกล และการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า คุณสมบัติในการเลี้ยงขยายเพื่อใช้บริโภคไม่ค่อยดีนัก จึงได้มีการนำโคพันธุ์ต่างประเทศเข้ามาปรับปรุงพันธุ์โคพื้นเมือง ให้มีลักษณะเป็นโคเนื้อที่เหมาะสมในการใช้บริโภคมากขึ้น หน่วยงานของรัฐโดยเฉพาะกรมปศุสัตว์ได้ใช้โคอเมริกันบราห์มันเป็นหลักในการปรับปรุงพันธุ์โคเนื้อภายในประเทศ เนื่องจากมีแหล่งดั้งเดิมอยู่ในเขตร้อน จึงสามารถทนต่อสภาพอากาศร้อนได้ดี มีภูมิต้านทานต่อโรค ไข้เห็บ กินอาหารคุณภาพต่ำได้ การเจริญเติบโตดี โดยเริ่มนำเข้ามาครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2497 จนถึงปี พ.ศ. 2521 รวม 13 ครั้ง (สุพจน์, 2534) โดยแบ่งเป็นบราห์มันขาว 11 ครั้ง บราห์มันแดง 2 ครั้ง โคเหล่านั้นได้นำมาผสม เพื่อยกระดับพันธุ์โคพื้นเมือง จนกลายเป็นโคบราห์มันไปเกือบทั่วประเทศ โดยบางส่วนได้มีการปรับปรุงพันธุ์เพื่อใช้เป็นโคขุนที่ผลิตเป็นเนื้อโคชั้นดีด้วยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2532) ได้จำแนกการเลี้ยงโคขุนออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

โคเนื้อขุน เป็นการนำโคซึ่งมีสายพันธุ์เป็นโคเนื้อโดยตรงได้แก่พันธุ์สายเลือดโคเนื้อต่างประเทศ อาจจะเป็นพันธุ์แท้ หรือพันธุ์ผสม ซึ่งมีสายเลือดโคเนื้อพันธุ์ต่างประเทศค่อนข้างสูง โดยอาจจะเป็นโคลูกผสม 2 สายเลือด หรือ 3 สายเลือด โดยมีสายเลือดพันธุ์พื้นเมืองไม่เกิน 25% เป็นต้น ระยะเวลาที่ใช้ขุนโคเนื้อมีหลายระยะเวลา คือ โคหย่านมาใช้เวลาขุนประมาณ 10 เดือน โคอายุ 1 ปี ใช้เวลาขุนประมาณ 8 เดือน โคอายุ 1.5 ปี ใช้เวลาขุนประมาณ 6 เดือน และโคอายุ 2 ปี ใช้เวลาขุนประมาณ 4 เดือน การผลิตจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกจะต้องผลิตลูกโคเนื้อเพื่อใช้สำหรับขุน โดยเกษตรกรจะต้องเลี้ยงลูกโคจนได้น้ำหนักประมาณ 250 กิโลกรัม ซึ่งจะใช้เวลาการเลี้ยงประมาณ 1 ปี 6 เดือน ถึง 2 ปี หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนที่สอง คือเกษตรกรจะดำเนินการขุนเอง หรือขายให้เกษตรกรที่สนใจไปขุนเพื่อให้ได้น้ำหนัก 450-500 กิโลกรัม แล้วจึงส่งเข้าตลาด

โคมัน เป็นการขุนโคจากโคทั่วๆ ไป โดยส่วนใหญ่จะเป็นโคที่มีขนาดใหญ่แล้วได้แก่ ะโคปลดงาน โคมีสภาพพอม นามานุน เร่งด้วยอาหารหยาบและอาหารข้น เช่นเดียวกับโคเนื้อขุน โดยใช้เวลาขุนประมาณ 3-4 เดือน เพื่อให้โคมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และสภาพเนื้อจะ

มีไขมันหุ้มซากเป็นสีเหลืองหนาประมาณ 2 เซนติเมตรขึ้นไป โดยไม่สนใจไขมันแทรกในเนื้อ (marbling) เช่นเดียวกับโคเนื้อขุน การขุนในลักษณะนี้ถ้าเป็นเกษตรกรรายใหญ่อาจมีคอกขุนโดยเฉพาะ ถ้าเป็นเกษตรกรรายย่อยอาจจะผูกไว้รอบๆ บริเวณบ้าน ลักษณะอาหารเป็นเช่นเดียวกับโคเนื้อขุน

2.3.2 ความต้องการโภชนาของโคเนื้อขุน

ในการขุนโคจำเป็นต้องให้อาหารที่มีอาหารเข้มข้นของโภชนาอยู่สูง โดยเฉพาะโปรตีนและพลังงานให้พอเพียงกับความต้องการในการให้ผลผลิตของสัตว์ การให้อาหารหยาบไม่ว่าจะเป็นหญ้าสด หญ้าแห้ง พางข้าว มากเพียงใดก็ตาม จะไม่สามารถทำให้โคขุนมีอัตราการเจริญเติบโตอัตราที่สูงได้ เนื่องจากข้อจำกัดในด้านปริมาณการกินได้ ของอาหารหยาบเอง รวมไปถึงโภชนาที่สำคัญที่สัตว์จะได้รับจากอาหารหยาบไม่เพียงพอ ที่จะทำให้อัตราโตได้ตามความต้องการ ดังนั้นการขุนโคจำเป็นต้องให้อาหารข้นที่ประกอบด้วยแหล่งของพลังงาน และแหล่งของโปรตีนเพื่อให้สัตว์ได้รับโภชนาเพียงพอต่อการเจริญเติบโตที่สูง (เมธา, 2533)

การขุนโคที่มีน้ำหนักต่างกันจำเป็นต้องทราบถึงความต้องการพลังงาน และโปรตีนของโคในช่วงน้ำหนักนั้น ๆ ในการให้อาหารแก่โคขุน จะต้องให้ทั้งอาหารหยาบและอาหารข้นควบคู่กันไป และเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ซึ่งอัตราส่วนการให้อาหารหยาบต่ออาหารข้น ที่จะก่อให้เกิดประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโต ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนการให้อาหารหยาบกับอาหารข้นต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

พลังงานในอาหาร (TDN, %)	อัตราส่วน อาหารหยาบ:อาหารข้น	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน, %	
		การดำรงชีพ	การเจริญเติบโต
55.3	100:00	57.6	29.6
60.8	83:17	60.8	34.6
66.4	67:33 หรือ 70:30	63.3	38.5
71.9	50:50	65.1	41.5
77.4	33:67หรือ 30:70	66.6	43.9
82.9	17:83	67.7	45.8
88.5	00:100	68.6	47.3

ที่มา : Kearn (1982, อ้างถึงใน เมธา, 2533)



สำหรับการใช้ผลพลอยได้เยื่อใยทางการเกษตร เช่น พางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ สำหรับโคขุนนั้น เมธา (2533) เสนอว่า ระดับการใช้อาหารขั้ร่วมกับอาหารหยาบควรอยู่ใน อัตรา 70:30 ถึง 80:20 โดยทั่วไปโคจะกินพางได้เพียง 1.5-2.0% ของน้ำหนักตัวเท่านั้น การใช้อาหารขั้เกิน 20% ของปริมาณการกินได้ทั้งหมด มีผลทำให้การกินได้ของอาหารหยาบลดลง 20-40% รวมทั้งการย่อยได้ของเยื่อใยลดลง 10-20% การใช้อาหารขั้ในระดับ 20% ของ ปริมาณการกินได้ทั้งหมดจะช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบและการย่อยได้ของเยื่อใย อย่างไรก็ดีตามอาหารขั้ที่เข้าร่วมกับผลพลอยได้เยื่อใยในการขุนโคอาจจะใช้ระดับอาหารขั้ที่สูง กว่านี้ ถึงแม้ว่าปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบแต่ละวันลดลงก็ตาม แต่ผลตอบแทนทาง เศรษฐกิจจากอัตราการเจริญเติบโตที่สูงจะให้ผลตอบแทนที่ดีกว่า

Kearl (1982) แนะนำว่า โคเพศผู้ตอนโตเลี้ยงขุนมีน้ำหนักตัว 200, 250, 300, 350 และ 400 กิโลกรัม นั้น เมื่อต้องการให้มีอัตราการเจริญเติบโตวันละ 0.8-1.0 กิโลกรัม ต้องการอาหารคิดเป็นน้ำหนักแห้งวันละ 5.6, 6.6, 7.6, 8.5 และ 9.4 กิโลกรัม โปรตีน 12.3, 11.5, 11.0, 10.1 และ 9.9% และต้องการพลังงานในรูปของปริมาณโภชนะ ที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient, TDN) เท่ากับ 66.1, 65.2, 66.7, 65.9 และ 66.7% ตามลำดับ

NRC (1984) แนะนำว่า โคเพศผู้ตอนระยะเติบโตและระยะขุนที่มีโครงร่างปานกลาง น้ำหนักตัว 200, 250, 300, 350 และ 400 กิโลกรัม เมื่อต้องการจะให้มีความอัตราการเจริญเติบโต วันละ 1.0 กิโลกรัม ต้องการพลังงานสุทธิ 2.9, 3.5, 4.0, 4.5 และ 4.9 Mcal ต่อวัน และต้องการโปรตีนวันละ 682.0, 720.0, 755.0, 789.0 และ 821.0 กรัม ตามลำดับ

2.3.3 อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร และปริมาณการกินได้ของโคขุน

ในการขุนโค ระดับพลังงานมีอิทธิพลต่อสมรรถภาพในการขุนเป็นอย่างมากกล่าวคือ เมื่อเพิ่มระดับพลังงานให้สูงขึ้นโดยการเพิ่มอาหารขั้ทำให้อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารสูงขึ้นตามระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งระยะเวลาการขุนสั้นลง เมื่อเปรียบเทียบกับพวกที่ได้รับอาหารพลังงานต่ำ หรือพวกที่ได้รับอาหารหยาบในปริมาณสูง (Danner et al., 1980)

ประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของโคขึ้นอยู่กับระบบฮอร์โมน ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมทางพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม และปฏิกริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อมสัตว์เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเมื่ออายุน้อย อัตราการเจริญเติบโตจะเริ่มลดลงเมื่อสัตว์ใกล้ถึงจุด physical maturity และหลังจากนั้นจะถึงจุด chemical maturity คือการสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อจะไม่เพิ่มขึ้นอีก จะมีเฉพาะการสะสมไขมัน เนื่องจากตลาดต้องการเนื้อโคขุนที่มีไขมันน้อย (lean meat) ฉะนั้นผู้ผลิตจะต้องทำให้การเจริญเติบโตในระยะแรกมีประสิทธิภาพสูงสุด ถ้าเป็นระยะ physical และ chemical maturity แล้วการขุนหลังจากนั้นจะไม่คุ้มทุนทาง

เศรษฐกิจ (Preston and Willis, 1974) นอกจากนี้ โรคในระยะต้นของการเจริญเติบโต ควรให้อาหารที่ตึจนอายุ 8 เดือน ถ้าขาดอาหารระยะนี้มีผลทำให้การเจริญเติบโตช้าในช่วงหลัง อีกประการหนึ่งกล้ามเนื้อตรงส่วนที่มีราคาแพง คือสันหลังและขาหลังจะเจริญเติบโตเต็มที่ เมื่อ โรคอายุได้ 15-20 เดือน สำหรับปริมาณการกินได้นั้น Waldo (1967) รายงานว่า เมื่อคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้นจะเพิ่มปริมาณการกินได้ของพลังงานอย่างเป็นเส้นตรง จนกระทั่งเพิ่มสูงสุด เมื่ออัตราการย่อยได้ของอาหารเพิ่มเป็น 70% ซึ่งเมื่ออัตราการย่อยได้เพิ่มสูงขึ้น (โดยการลดอาหารหยาบ) จะทำให้ปริมาณการกินได้ลดลงในขณะที่พลังงานที่กินเข้าไปเท่าเดิม นอกจากนี้ VFA เป็นตัวควบคุมอัตราการกินได้ของสัตว์ เมื่อการขุนดำเนินไปเรื่อยๆ จะลดอัตราการกินได้ของสัตว์ลงเนื่องจากการเพิ่มไขมันจะทำให้ลดความสามารถของสัตว์ ในการดึง VFA ออกจากเลือด การมี VFA ในเลือดสูงจะทำให้ลดอัตราการกินได้ลง Preston and Willis (1974) กล่าวว่า ลูกโคหย่านม น้ำหนักประมาณ 100 กก. นำมาขุนให้อาหารข้นเต็มที่ ระยะแรกจะกินอาหารได้ 2.9% ของน้ำหนักตัว เมื่อการขุนดำเนินไปเรื่อยๆ จะลดลงเหลือ 1.8-2.0% ของน้ำหนักตัวเมื่อน้ำหนักมีชีวิต 400 กก.

เกี่ยวกับการศึกษาภายใต้ขอบเขตนี้ จินตนา และคณะ (2526) ได้ทำการศึกษาขุนโคลูกผสมบราห์มันxพื้นเมืองเพศผู้หลังหย่านม โดยให้โรคกินอาหารข้นต่อฟางข้าวเท่ากับ 60:40 เป็นระยะเวลา 232 วัน ปรากฏว่า โคมีอัตราการเจริญเติบโต 643.0 กรัม/ตัว/วัน และยังได้ทำการขุนโคเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนของฟางข้าว:ใบกระถิน:รำหยาบผสมมันเส้น ในอัตรา 1:1 โดยให้โรคกินอาหารอัตราส่วน 40:30:30; 30:30:40 และ 25:25:50 เป็นระยะเวลา 190 วัน พบว่า โคมีอัตราการเจริญเติบโต 558.0, 755.0 และ 684.0 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ

สันติสุข และคณะ (2529) ได้ทำการศึกษาถึงผลของการกินอาหารข้น 3 ระดับ ในโครุ่นพันธุ์อเมริกันบราห์มันที่เลี้ยงด้วยฟางหมักยูเรีย (5% โดยน้ำหนัก) เป็นระยะเวลา 153 วัน พบว่า การเสริมอาหารข้นในระดับสูงจะมีผลโปลดปริมาณฟางหมักที่กินได้ อัตราการเจริญเติบโตของโค เท่ากับ 468.0, 840.0 และ 928.0 กรัม/ตัว/วัน สำหรับโคที่ได้รับอาหารข้นเสริมในระดับ 1, 2 และ 3 กก./ตัว/วัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตามระดับการเสริมอาหารข้นที่เหมาะสมโดยทำให้ผลตอบแทนสูงสุด คือ ระดับการเสริม 2 กก./ตัว/วัน

สุนทรีพร (2529) ศึกษาการขุนโคลูกผสม 3 สายพันธุ์ ระหว่างชาร์โรเลส์อเมริกันบราห์มันและพื้นเมืองอายุ 1.5-2.0 ปี น้ำหนักเริ่มขุน 200-250 กิโลกรัม โดยใช้เวลาขุนนาน 180 วัน จะมีน้ำหนักตัว 350-400 กิโลกรัม โดยโคลูกผสมเพศผู้ที่มีสายเลือดชาร์โรเลส์ 25% บราห์มัน 50% และพื้นเมือง 25% มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด คือ 1,220 กรัม/ตัว/วัน รองลงมา คือ โคลูกผสมเพศผู้สายเลือดชาร์โรเลส์ 50% บราห์มัน 25% และพื้นเมือง 25% โคลูกผสมเพศเมียสายเลือดชาร์โรเลส์ 50% บราห์มัน 25% และพื้นเมือง 25% และโคลูกผสมเพศเมียสายเลือดชาร์โรเลส์ 25% บราห์มัน 50% และพื้นเมือง 25% ซึ่ง มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 930.0, 740.0 และ 670.0 กรัม/ตัว/วัน มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเท่ากับ 6.9, 9.5, 11.1 และ 11.3 ตามลำดับ

ปรารธนา และคณะ (2533) ได้ศึกษาการขุนโคลูกผสมพันธุ์พื้นเมือง-บราห์มัน ในฟาร์ม เกษตรกรรายย่อย อำเภอกาแพงแสน จังหวัดนครปฐม พบว่า ในช่วงระยะเวลา 6-8 เดือน ของการขุน อัตราการเจริญเติบโตของโครุ่นเล็ก (น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 193.3 กิโลกรัม) และ โครุ่นใหญ่ (น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 270.7 กิโลกรัม) เท่ากับ 675.0 และ 715.0 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ โดยในแต่ละวันโคจะกินอาหารข้น 3.9 กิโลกรัม และกินหญ้าสด 18.7 กิโลกรัม หรือเมื่อคิดเป็นน้ำหนักอาหารรวมทั้งหมดที่โคกินในรูปวัตถุแห้งจะเท่ากับ 7.2 กิโลกรัม/ตัว/วัน หรือ 2.3% ของน้ำหนักตัว โดยมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสัตว์ จากวัตถุแห้งเท่ากับ 10.2 ฉายแสง และคณะ (2533) รายงานว่า โคลูกผสมบราห์มัน-พื้นเมืองเลี้ยงขุนโดย เกษตรกรมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 600.0 กรัม/ตัว/วัน และต้องใช้อาหาร เมื่อคิดจาก วัตถุแห้ง 12.4 กก. ต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กก. มีกำไรจากการลงทุนตัวละ 3,321.7 บาท ในเวลาขุน 210 วัน

สุพจน์ และคณะ (2533) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการขุนของโคลูกผสมชาร์โรเลส์-บราห์มัน เพศผู้ 3 วิธี คือ ขุนโคในคอก ขุนโคในแปลงหญ้าร่วมกับขุนโคในคอก และขุนโคในแปลง หญ้าตลอด จากน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 180 กก. พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของโคในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ไม่แตกต่างกัน แต่จะสูงกว่าในกลุ่มที่ 3 กล่าวคือ 895.0, 799.0 และ 524.0 กรัม/ตัว/วัน ที่น้ำหนักสุดท้าย 400 กก. และ 830.0, 742.0 และ 476.0 กรัม/ตัว/วัน ที่ น้ำหนักสุดท้าย 450 กก. ตามลำดับ ระยะเวลาการขุนถึงน้ำหนักสุดท้าย 400 กก. เท่ากับ 255, 283 และ 415 วัน ที่น้ำหนักสุดท้าย 450 กก. เท่ากับ 308, 343 และ 507 วัน ประสิทธิภาพการใช้อาหารในกลุ่มที่ 1 ดีกว่ากลุ่มที่ 2 คือ 6.7 กับ 7.3 และ 7.5 กับ 8.9 กก. ของอาหาร/กก. น้ำหนักเพิ่ม ที่น้ำหนักสุดท้าย 400 และ 450 กก. ตามลำดับ ซึ่งสรุป ได้ว่าการขุนโคในคอกนั้น จะมีสมรรถภาพในการขุนดีที่สุด

ศักดิ์ และคณะ (2537) ได้ทำการศึกษาถึงผลระดับเลือดแม่โคอเมริกันบราห์มัน ต่อ สมรรถภาพการเจริญเติบโตก่อนหย่านมของโคลูกผสมชาร์โรเลส์-บราห์มัน ระยะเวลา การทดลอง 365 วัน โดยใช้แม่โคที่มีระดับเลือดโคอเมริกัน 50, 75, 87 และ 100% ผสมเทียมด้วยน้ำเชื้อโคชาร์โรเลส์พันธุ์แท้ พบว่า ลูกโคมีน้ำหนักแรกเกิด 27.7, 28.2, 28.7 และ 31.9 กก. มีน้ำหนักหย่านมเมื่ออายุ 205 วัน เฉลี่ย 160.6, 166.2, 167.6 และ 171.7 กก. และมีอัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม/วัน เท่ากับ 648.5, 678.4, 677.7 และ 679.1 กรัม/ตัว/วัน ของลูกโคที่เกิดจากแม่โคในกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ตาม ลำดับ

สำหรับการศึกษาในต่างประเทศนั้น Damon et al. (1959) รายงานว่า ลูกผสม เฮียร์ฟอร์ด-บราห์มัน มีอัตราการเจริญเติบโตในคอกขุน 820.0 กรัม/ตัว/วัน สูงกว่าลูก ผสมชาร์โรเลส์-บราห์มัน ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 690.0 กรัม/ตัว/วัน Huffman et al. (1990) ได้ทำการศึกษาในโคแองกัสพันธุ์แท้ และลูกผสมระหว่างแองกัสกับบราห์มัน โดยมีระดับเลือดของโคบราห์มัน 25, 50 และ 75% จากน้ำหนักเริ่มต้น 296-340 กิโลกรัม จนถึงน้ำหนักสุดท้าย 469-522 กิโลกรัม ระยะเวลาการขุนอยู่ระหว่าง 102-121 วัน พบว่า

โคมีอัตราการเจริญเติบโต 1,580.0, 1,650.0, 1,760.0 และ 1,770.0 กรัม/ตัว/วัน ปริมาณการกินได้ เท่ากับ 8.8, 8.8, 9.8, 9.9 กิโลกรัม และมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเท่ากับ 5.6, 5.4, 5.6 และ 5.6 ตามลำดับ

Brown et al. (1991) รายงานว่าโคพันธุ์แท็ชาร์โรเลส์, เฮียร์ฟอร์ด, แองกัส และซิมเมนทอล ขุนในคอกมีอัตราการเจริญเติบโต 1,670.0, 1,530.0, 1,490.0 และ 1,650.0 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ โคพันธุ์แองกัส, ชาร์เบอรี, ซิมบราห์ และบราห์มัน มีอัตราการเจริญเติบโต 1,370.0, 1,460.0, 1,510.0 และ 1,030.0 กรัม/ตัว/วัน และมีประสิทธิภาพการใช้อาหาร คือ 7.7, 7.5, 7.5 และ 7.6 ตามลำดับ

2.3.4 คุณภาพและส่วนประกอบซากของโคขุน

ส่วนประกอบซากของสัตว์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ กล้ามเนื้อ ไขมัน และกระดูก ทั้ง 3 ส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กัน ในสัตว์ที่มีอายุและขนาดใหญ่กว่า สัดส่วนของกล้ามเนื้อและกระดูกจะลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ของไขมันจะสูงขึ้น สัตว์อายุน้อย จะมีสัดส่วนของกระดูกและกล้ามเนื้อมาก ไขมันน้อย อัตราผันแปรตามชนิด พันธุ์ อาหาร และเพศของสัตว์ อาหารที่มีพลังงานสูง ส่งผลให้มีการสะสมไขมันมากกว่าอาหารที่มีพลังงานต่ำ สัตว์ได้รับอาหารพลังงานสูง นานมากเท่าไร ยิ่งทำให้มีการสะสมไขมันภายนอก และไขมันแทรกเท่านั้น ดังนั้นสัตว์จะต้องได้รับอาหารที่มีพลังงานเพียงพอ ในระยะเวลาที่เหมาะสมจนถึงระดับไขมันแทรกตามความต้องการ (Acker and Cunningham, 1991)

Dinius and Cross (1978) ได้ทำการทดลองขุนโคเนื้อพันธุ์เฮียร์ฟอร์ด โดยให้อาหารชั้นปริมาณสูงในระยะเวลาสั้น เริ่มต้นที่น้ำหนักเฉลี่ย 460 กิโลกรัม โคได้รับอาหารชั้นเป็นระยะเวลา 0, 3, 6 และ 9 สัปดาห์ พบว่า เปอร์เซ็นต์ซากเย็นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการให้อาหาร และมีไขมันแทรกในกล้ามเนื้อมากกว่า ทำให้เกรดคุณภาพมีความแตกต่างกัน

Van Koeving et al. (1995) ได้ทำการศึกษาในโคลูกผสมอังกฤษ-ยุโรป โดยจัดแบ่งโคออกตามกลุ่มการชำแหละ และระยะเวลาในการให้อาหาร น้ำหนักเริ่มต้น 329 กิโลกรัม ให้อาหารเป็นระยะเวลา 105, 119, 133 และ 147 วัน พบว่า น้ำหนักซาก ความหนาไขมัน ใต้ผิวหนัง ใต้ และไขมันหุ้มหัวใจ รวมทั้งลักษณะซากทางด้านต่างๆ และเกรดผลผลิตเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการให้อาหาร ระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (marbling score) เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการให้อาหารเช่นเดียวกัน แต่เป็นการเพิ่มในอัตราที่ลดลง คอเลสเตอรอล (cholesterol) และปริมาณของไขมันทั้งหมด พื้นที่หน้าตัดสันนอก ความนุ่มเพิ่มขึ้นเป็นแบบเส้นตรงตามระยะเวลาการให้อาหารที่เพิ่มขึ้น ในทางตรงข้าม เปอร์เซ็นต์โปรตีน และความชื้น มีแนวโน้มลดลง สมรรถนะการผลิตและซากบ่งชี้ว่าช่วงระยะเวลาของการขุนระหว่าง 119-133 วัน เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการขุนโคลูกผสมอังกฤษ-ยุโรป

เกี่ยวกับการขุนโคโดยใช้โคพันธุ์ต่างๆ ภายใต้สภาพการจัดการ ทางด้านอาหารและระยะเวลาที่ใช้ในการขุนเท่ากันนั้น Luckett et al. (1975) รายงานว่า ซากของโคเนื้อพันธุ์

บราห์มันมีความนุ่มน้อยกว่าพันธุ์แองกัส ชาร์โรเลส์ และเฮียร์ฟอร์ด ความหนาไขมันเท่ากับ 0.2, 0.9, 0.3 และ 0.6 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก เท่ากับ 50.0, 55.2, 75.5 และ 56.3 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยที่พันธุ์บราห์มันมีเกรดคุณภาพต่ำสุด ขณะที่พันธุ์แองกัสมีเกรดคุณภาพสูงสุด สอดคล้องกับ Long and Gregory (1975) ที่รายงานว่า โคพันธุ์แองกัสมีน้ำหนักซากสด น้ำหนักซากเย็นระดับไขมันแทรก เปอร์เซ็นต์ไขมันหุ้มไตมากกว่าพันธุ์เฮียร์ฟอร์ด นอกจากนี้ยังรายงานว่าโคเพศผู้ตอนมีเปอร์เซ็นต์ซากเย็น คะแนนรูปร่าง พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันมากกว่าเพศเมีย ในทางตรงข้ามโคสาวจะอ้วนเร็วกว่า และเกรดสูงกว่า

สุทธิพงษ์ (2526) ได้ศึกษาลักษณะซากของโคลูกผสมชาร์โรเลส์ - พื้นเมือง อายุ 1 ปี 10 เดือน จะได้น้ำหนักเฉลี่ย 202.6 กิโลกรัม และได้ซาก 50.2% ใกล้เคียงกับรายงานของ สารกิจและคณะ (2533) ที่ได้เปรียบเทียบคุณภาพซากของโคเนื้อ ที่เกิดจากแม่ลูกผสมบราห์มันผสมกับพ่อพันธุ์ชาร์โรเลส์ ลิมูซัน เฮียร์ฟอร์ด และอเบอร์ดีนแองกัส พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ซากเย็น เท่ากับ 48.9, 50.6, 51.4 และ 48.4 พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันเท่ากับ 54.8, 62.8, 63.9, และ 55.4 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ ธวัชชัย และคณะ (2534) รายงานว่า โคลูกผสมเดราห์มาสเตอร์-บราห์มัน มีเปอร์เซ็นต์ซาก 58.9% มีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน 76.4 ตารางเซนติเมตร ความหนาของไขมันหุ้มซาก 0.9 เซนติเมตร

Crouse et al. (1989) ได้ศึกษาเปรียบเทียบซากโคเนื้อระหว่างโคเมืองหนาว กับโคเมืองร้อน และลูกผสมที่เกิดจากการผสมกลับ พบว่า ซากโคที่มีเลือดโคเมืองร้อน เช่นบราห์มัน ชาฮิวาลมากขึ้น จะมีน้ำหนักซากลดลง ลูกผสมเฮียร์ฟอร์ด แองกัส มีความหนาไขมันสูงสำหรับลูกผสมบราห์มันและชาฮิวาล มีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันใกล้เคียงกัน โดยทั่วไปแล้วระดับไขมันแทรก ตามกล้ามเนื้อลดลง เมื่อระดับเลือดโคเมืองร้อนเพิ่มขึ้น และมีความนุ่มน้อยกว่าลูกผสมโคเมืองหนาว

Shackelford et al. (1991) ได้ทำการศึกษาประเมินผล จากซากโคสาวลูกผสมแองกัส-เฮียร์ฟอร์ด กับลูกผสมบราห์มัน 62.5% พบว่า โคสาวลูกผสมแองกัส-เฮียร์ฟอร์ด มีการสะสมไขมันระดับไขมันแทรก และเกรดผลผลิตดีกว่าโคสาวลูกผสมบราห์มัน 62.5% นอกจากนี้เนื้อยังมีความเข้มของสีน้อยกว่า