บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

อาชีพการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยถูกจัดให้เป็นยุทธศาสตร์ที่สำคัญในการพัฒนาประเทศ โดยได้มีการกำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 4 และ 5 ซึ่งนอกจากจะกำหนดเป็นยุทธศาสตร์สำหรับเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรแล้ว อีกด้านหนึ่งถือเป็นยุทธศาสตร์ในการสร้างสุขภาพอนามัยของประชาชนให้ดียิ่งขึ้น โดยรัฐให้การสนับสนุนและให้ความสำคัญต่อการบริโภคน้ำนม มีการจัดโครงการรณรงค์ดื่มนม รวมทั้งสนับสนุนในด้านการวิจัยและพัฒนาในด้านต่างๆ อย่างต่อเนื่องในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับต่อๆ มา และจากการสนับสนุนของรัฐ ทำให้อาชีพการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยมีการขยายตัว และเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมมีจำนวนมากขึ้นเป็นลำดับ (ศิริมา และโสตถิธร , 2547)

2.1 สถานการณ์การเลี้ยงโคนมในประเทศไทย

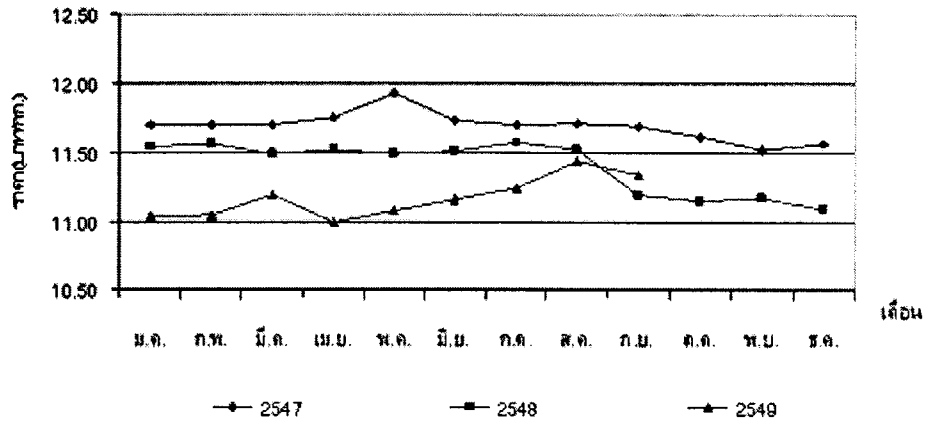
การเลี้ยงโคนมเป็นอาชีพเริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2507 หลังจากที่มีการตั้งองค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อสค.) จำนวนเกษตรกรที่เลี้ยงโคนมมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องจนถึงปี พ.ศ. 2547 มีการเพิ่มขึ้นปีละ 6.5 เปอร์เซ็นต์ (ฉลอง, 2549) จากข้อมูลสถิติปศุสัตว์เกี่ยวกับโคนมในปี พ.ศ. 2548 ปรากฏว่ามีจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมในประเทศไทยประมาณ 23,374 ครัวเรือน มีจำนวนโคนมทั้งหมดจำนวน 403,629 ตัว เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2546 ที่มีจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม 20,101 ครัวเรือน ซึ่งมีจำนวนโคนมทั้งหมด 380,203 ตัว โดยกระจายอยู่ตามเขตพื้นที่การเลี้ยงสัตว์ต่างๆ ทั่วประเทศ เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมส่วนใหญ่จะอยู่ในเขต 7 (ภาคตะวันตก) และเขต 1 (กรุงเทพฯ และปริมณฑล) คิดเป็นประมาณร้อยละ 51.2 ของจำนวนครัวเรือน (กรมปศุสัตว์, 2549ก)

2.1.1 ปริมาณการผลิตน้ำนมดิบ

กรมปศุสัตว์เก็บข้อมูลการรวบรวมน้ำนมดิบจากสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมจำนวน 96 แห่งและศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบของภาคเอกชนจำนวน 62 แห่ง พบว่า ปริมาณน้ำนมดิบในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2549 รวมทั้งหมด 1,985.9 ตันต่อวัน เป็นของสหกรณ์โคนม ร้อยละ 71 และเป็นของศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบภาคเอกชนร้อยละ 29 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด กระจายไปยังแหล่งแปรรูปน้ำนมดิบสองแห่ง ได้แก่ ผู้ประกอบการรายใหญ่ 16 ราย จำนวน 1,588.2 ตันต่อวัน (ร้อยละ 80) และผู้ประกอบการนมพาสเจอร์ไรส์ 397.8 ตันต่อวัน (ร้อยละ 20) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการผลิตน้ำนมดิบในช่วงเวลาเดียวกันของปี พ.ศ. 2548 พบว่า ปริมาณการผลิตในปี พ.ศ. 2549 ลดลงจากปี พ.ศ. 2548 ที่เคยมีปริมาณการผลิตเป็นวันละ 2,077.0 ตัน หรือลดลงร้อยละ 4 (กรมปศุสัตว์, 2549ข)

2.1.2 ภาวะราคาน้ำนมดิบที่เกษตรกรขายได้

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรรายงานภาวะราคาน้ำนมดิบที่เกษตรกรขายได้โดยเฉลี่ยทั่วประเทศ ในช่วงเดือนมกราคม-กันยายน เป็นกิโลกรัมละ 11.17 บาท ลดลงจากช่วงเวลาเดียวกันของปีที่ผ่านมาร้อยละ 2 สาเหตุที่ทำให้ราคาที่เกษตรกรขายได้ลดลง น่าจะเกิดจากราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้ค่าขนส่งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ราคาหน้าโรงงานถูกตรึงไว้ที่กิโลกรัมละ 12.50 บาท ทำให้เกษตรกรอาจต้องแบกรับราคาค่าขนส่งที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าต้นทุนค่าอาหารที่เพิ่มขึ้นทำให้การให้อาหารแม่โคนมไม่เต็มที่ จึงส่งผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำนมดิบ ราคาน้ำนมดิบที่ขายได้ต่ำลง ทั้งนี้ในเดือนกันยายนราคาน้ำนมดิบเริ่มกระเตื้องขึ้นตามภาวะความต้องการของตลาดผลิตภัณฑ์นมที่ขยายเพิ่มขึ้น (กรมปศุสัตว์, 2549ข)



ภาพที่ 2.1 เปรียบเทียบราคาน้ำนมดิบที่เกษตรกรขายได้ พ.ศ. 2547-2549
ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2549ข)

2.2 ระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีวิวัฒนาการและพัฒนาการที่มีความเฉพาะตัว โดยมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใย (dietary fiber) ซึ่งสัตว์ทั่วไปโดยเฉพาะสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน ซึ่งได้แก่ แบคทีเรีย (bacteria) โปรโตซัว (protozoa) และเชื้อรา (fungi) โดยทั่วไปแล้วกระบวนการใช้อาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญหลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนมีความสำคัญต่อการผลิตเอนไซม์ เพื่อทำการย่อยสลายสารอาหารประเภทพลังงาน ทั้งที่เป็นคาร์โบไฮเดรทที่เป็นโครงสร้าง (structurtal carbohydrate, SC) และคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non-structural carbohydrate, NSC) (เมธา, 2533) เพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญและมีประโยชน์ต่อตัวสัตว์ คือ กรดไขมันระเหยได้ง่าย (volatile fatty acid, VFA) ซึ่งกรดไขมันระเหยได้ง่ายเหล่านี้จะเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ที่จะนำไปใช้ในการดำรงชีวิต และการให้ผลผลิตเนื้อและนมต่อไป (ฉลอง, 2541) นอกจากนี้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนยังสามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งโปรตีนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถใช้ไนโตรเจนที่ไม่ใช้โปรตีนแท้ (non-protein nitrogen , NPN) โดยจุลินทรีย์จะทำงานได้ดีถ้าสภาพภายในกระเพาะรูเมนมีความเป็นกรด-ด่าง (rumen pH) ที่เหมาะสม คือ อยู่ในช่วง 6.5-7.0 และมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 39-40 องศาเซลเซียส ทำให้ทั้งแบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อรา สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสมต่อการย่อยอาหาร (Czerkawski, 1986; เมธา, 2533) จากการรายงานของ Satter and Slyter (1974) พบว่า นอกจากความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสมแล้ว ระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนก็มีความสำคัญต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งระดับที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4-5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ส่วน Boniface et al., (1986); Song and Kennelly (1990); Wanapat and Pimpa (1999) พบว่าระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 15-20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ที่จะก่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายและกระบวนการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนที่เหมาะสมด้วย และนอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความสมดุลระหว่างพลังงานกับโปรตีนอีกด้วย จุลินทรีย์ที่พบในกระเพาะรูเมนมีมากมายหลายชนิด แต่จุลินทรีย์เหล่านี้มีคุณสมบัติสำคัญ คือ ต้องมีชีวิตอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนและมีการสร้างผลผลิตสุดท้าย (end products) ชนิดใดชนิดหนึ่งซึ่งพบในกระเพาะรูเมนเท่านั้น และต้องมีปริมาณไม่ต่ำกว่า 1 ล้านเซลล์/กรัมของ rumen contents จุลินทรีย์ที่พบในกระเพาะรูเมนแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อรา โดยแบคทีเรียมีจำนวนประชากรประมาณ 10^{9}-10^{11} เซลล์ต่อมิลลิลิตร โปรโตซัวมีจำนวนประชากรประมาณ 10^{5}-10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร และเชื้อรามีจำนวนประชากรประมาณ 10^{3}-10^{4} เซลล์ต่อมิลลิลิตร (Hungate, 1966) จุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทที่สำคัญในการทำหน้าที่ย่อยสลายอาหารที่สัตว์กินเข้าไปและสังเคราะห์เป็นผลผลิตที่สำคัญสำหรับสัตว์นำไปใช้ในการสร้างผลผลิต

2.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน

กระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีบทบาทและหน้าที่ที่สำคัญในการเกิดกระบวนการหมักอาหารเพื่อสังเคราะห์ผลผลิตสุดท้ายให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน เพื่อให้สัตว์นำผลผลิตที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการเมทธาบอลิซึมในร่างกายและการให้ผลผลิตต่างๆ ดังนั้น สภาพภายในกระเพาะรูเมนจะต้องมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมไม่ว่าจะเป็นค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Wanapat, 2000) เพื่อให้เกิดความสมดุลและสภาพภายในกระเพาะรูเมนมีความเหมาะสม ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของสัตว์ ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ และกระบวนการดูดซึมสารประกอบหรือผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนเพื่อไปใช้ประโยชน์ เช่น ชนิดของอาหาร ตลอดจนสัดส่วนระหว่างอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่สัตว์ได้รับ ซึ่งพบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบกระบวนการ

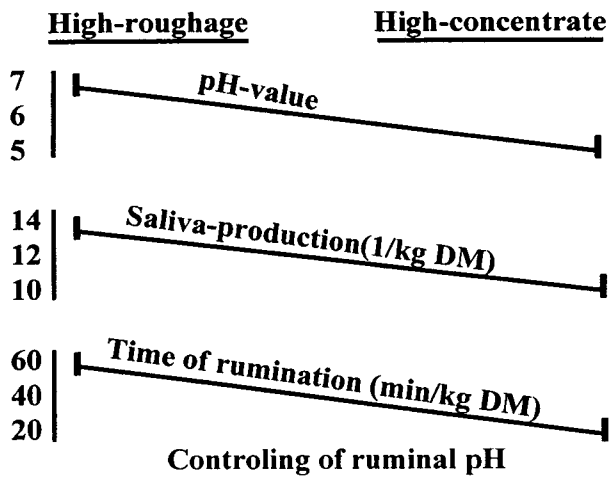
หมักในกระเพาะรูเมน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารสัตว์ในเขตร้อนและเขตอบอุ่นมีความแตกต่างกันมากในเรื่องของคุณภาพ ส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนและกระบวนการหมักโภชนะต่างๆ ด้วย นอกจากนี้ระบบการจัดการในด้านอาหารและการให้อาหารสัตว์ที่แตกต่างกันนั้นมีผลต่อการพัฒนาการของนิเวศวิทยาภายในกระเพาะรูเมนด้วย (เมธา, 2533)

2.3.1 ชนิดและแหล่งของอาหาร

อาหารหยาบ หรืออาหารเยื่อใย (roughage or dietary fiber) จัดเป็นอาหารหลักหรืออาหารพื้นฐานที่สัตว์เคี้ยวเอื้องจะต้องได้รับในปริมาณที่เหมาะสม และเพียงพอต่อความต้องการ โดยทั่วไปอาหารเยื่อใยมีลักษณะทางกายภาพที่มีความฟ่ามสูง (bulk density) ช่วยในการกระตุ้นและส่งเสริมการบดเคี้ยวอาหาร การหลั่งน้ำลาย การเคี้ยวเอื้อง การพัฒนากระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการดูดซึมผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดความสมดุลและนิเวศวิทยาที่เหมาะสมในกระเพาะรูเมน เมื่อสัตว์กินอาหารเยื่อใยเข้าไป จุลินทรีย์กลุ่มที่สลายย่อยเยื่อใยในกระเพาะรูเมน ได้แก่ *Fibrobacter (Bacteriodes) succinogenes, Ruminococcus albus* และ *R. flavefaciens* จะเข้าเกาะยึดและทำหน้าที่ในการสังเคราะห์เอนไซม์ในการย่อยสลายอาหารเยื่อใย ได้แก่ endo-glucanase และ exo-glucanase (cellobiohydrolases) exo-xylanases และ hemicellulases ซึ่งสังเคราะห์จากส่วนของ intracellular ของเซลล์แบคทีเรีย (เมธา, 2533) ดังนั้นอาหารหยาบที่ดีต้องมีคุณสมบัติเป็น effective fiber (EF) คือ เป็นส่วนของเยื่อใยที่ทำให้เกิดการสานตัวกันเป็นโครงข่าย เพื่อให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยได้สะดวก โดยอาหารไม่จับกันเป็นก้อน และยังช่วยในการบีบรัดตัวของรูเมนให้อาหารและจุลินทรีย์คลุกเคล้ากันได้มากขึ้น ซึ่งถือได้ว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนอย่างยิ่ง โดย NRC (1988) รายงานว่า ถ้าโคนมได้รับเยื่อใยในอาหารไม่เพียงพอ จะมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในรูเมนต่ำ (มีการเสริมอาหารข้นในระดับสูง) ประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนต่ำ ส่งผลกระทบต่อการสังเคราะห์กรดอะซิติก และทำให้ไขมันในน้ำนมต่ำตามไปด้วย (เมธา และฉลอง, 2533) จากคุณสมบัติอาหารหยาบที่เป็น EF และยังสามารถทำให้เกิดการสานตัวในกระเพาะรูเมนได้เป็นอย่างดี (matrix foming in rumen) ทำให้สภาพภายในกระเพาะรูเมนมีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในระดับที่เหมาะสม (6.5-7.0) เอื้ออำนวยต่อการทำงานของแบคทีเรียที่ย่อยสลายเยื่อใยได้ดีและกลุ่มแบคทีเรียอื่นๆ ส่งผลต่อกระบวนการหมักเกิดขึ้นอย่างเหมาะสม โดย ไชยวรรณ (2532) ทำการศึกษาผลของแหล่งอาหารหยาบ ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลายเซลยูโลสในโคและกระบือปลัก โดยใช้ฟางข้าวหมักยูเรียและหญ้าซิกแนลเป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่าในกระบือมีแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลยูโลสเฉลี่ย 9.77×10^9 CFU/ml และในโคมี 7.50×10^9 CFU/ml และพบว่าประชากรแบคทีเรียในกลุ่มที่ได้รับฟางข้าว ฟางหมักยูเรีย และหญ้าซิกแนล มีค่าเฉลี่ย 11.97, 9.94 และ 6.58×10^9 CFU/ml ตามลำดับ

2.3.2 การจัดสัดส่วนระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น

การจัดส่วนระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะก่อให้เกิดประสิทธิภาพของกระบวนการหมัก โดยอาหารหยาบจะช่วยกระตุ้นในเรื่องของการบีบตัวให้สัตว์ขยอกอาหารออกมาเคี้ยวเอื้อง กระตุ้นการขับน้ำลาย ซึ่งมีหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ช่วยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะรูเมน (ภาพที่ 2.2) ทำให้สภาพภายในกระเพาะรูเมนไม่เป็นกรดจนเกินไป (เมธา และฉลอง, 2533) อาจจะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนได้ ส่วนอาหารข้นเป็นแหล่งพลังงาน และแอมโมเนียซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์เซลล์ของจุลินทรีย์ หรือที่เรียกว่า จุลินทรีย์โปรตีน ศิวพร และคณะ (2544) ได้ทำการศึกษาถึงผลของระดับอาหารหยาบและอาหารข้นต่อปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อยได้ กระบวนการหมัก จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน โดยใช้ฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ และใช้รำสกัดน้ำมันเป็นแหล่งอาหารข้น ทำการทดลองในโคเนื้อและกระบือปลัก พบว่าการใช้ฟางหมักยูเรียร่วมกับรำสกัดน้ำมันในสัดส่วน 40:60 มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ง่ายเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้มีผลทำให้ประชากรแบคทีเรียกลุ่ม proteolytic bacteria และ amylolytic bacteria เพิ่มสูงขึ้น และมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนที่เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ Baik et al. (1997) ได้ทำการศึกษาสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นในสัดส่วน 65:35, 50:50, 35:65 และ 20:80 พบว่า ระดับความเป็นกรด-ด่างจะลดลงเมื่อระดับอาหารข้นเพิ่มขึ้น แต่ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิก และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ง่ายทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับของอาหารข้นที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ Robinson et al. (1986) ให้เหตุผลว่าเป็นผลเนื่องมาจากการทำงานของ cellulolytic bactcria ลดลง Matsui et al. (1997) ได้ทำการศึกษาสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่มีผลต่อการสร้างซูโอสปอร์ โดยใช้ถั่วอัลฟัลฟ่าเป็นแหล่งอาหารข้นโปรตีนและ timothy hay เป็นแหล่งอาหารหยาบ ในสัดส่วน 3:0, 2:1 และ 1:2 พบว่าจำนวนซูโอสปอร์ในแกะที่ได้รับถั่วอัลฟัลฟ่าเพียงอย่างเดียวจะลดลงหลังจากได้รับอาหารไปแล้ว 9 ชั่วโมง ลดลงจาก 1.3x10 ต่อตารางเซนติเมตร เป็น 2.0x10 ต่อตารางเซนติเมตร และในกลุ่มที่ได้รับถั่วอัลฟัลฟ่าร่วมกับ timothy hay จะมีจำนวนซูโอสปอร์ในกระเพาะรูเมนเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับการให้อาหารหยาบร่วมกับอาหารข้นนั้น จะมีสัดส่วนที่ไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาผสมในสูตรอาหาร โดยสัดส่วนของอาหารหยาบและอาหารข้นนี้ จะมีผลทำให้เกิดความสมดุลของนิเวศวิทยาภายในกระเพาะรูเมนก่อให้เกิดการย่อยได้ของวัตถุแห้งมากขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนของสัตว์ และมีผลต่อประชากรของจุลินทรีย์ด้วยเช่นกัน เมื่อระดับอาหารข้นสูงขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาในการเคี้ยวเอื้อง และประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนลดลง (Rode et al.; 1985)

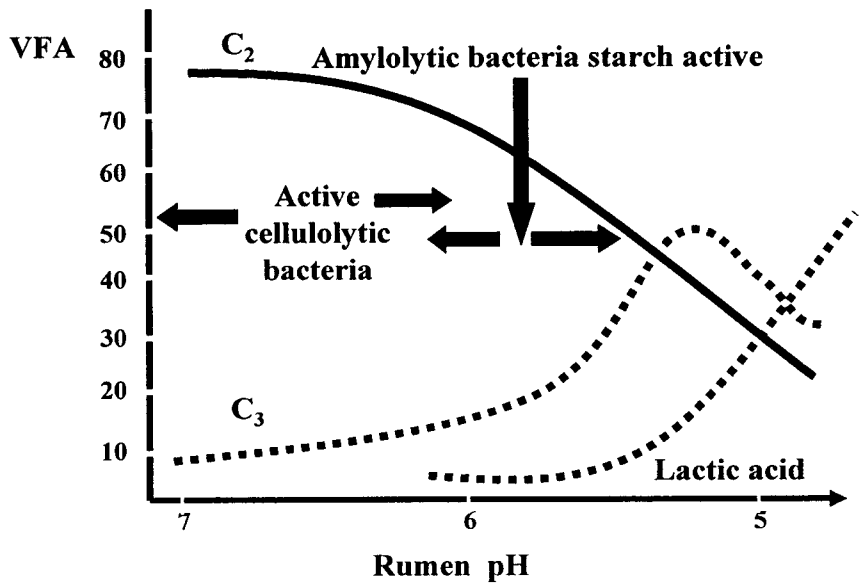


ภาพที่ 2.2 ลักษณะการให้อาหารหยาบ และการให้อาหารข้นที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง การหลั่งน้ำลาย และกระบวนการเคี้ยวเอื้อง

ที่มา: เมธา (2533)

2.3.3 สภาวะความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมน

สภาวะความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะรูเมนควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.0 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายเยื่อใย โปรตีน และกลุ่มที่ใช้ประโยชน์จากแอมโมเนีย จะมีจำนวนประชากรอย่างเหมาะสมเมื่อความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.0-7.0 และแบคทีเรียกลุ่มย่อยแป้งอยู่ในช่วง 6.0-6.5 (เมธา, 2533) แต่ถ้าสัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับสัดส่วนอาหารข้นในระดับสูงขึ้น จะมีผลทำให้สภาวะความเป็นกรดของของเหลวในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น และส่งผลให้จุลินทรีย์แกรมลบส่วนใหญ่ไม่สามารถดำรงชีวิตได้ ทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็ว (Hungate, 1966) ขณะเดียวกันจุลินทรีย์แกรมบวกที่ทำหน้าที่สังเคราะห์กรดแลคติกที่สำคัญ ได้แก่ *Steptococcus bovis* และ *Lactobacillu* spp. สังเคราะห์กรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ภายในกระเพาะรูเมนมีความเป็นกรดมากยิ่งขึ้นและอาจส่งผลให้เกิดภาวะอะซิโดซีสได้ ระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ง่ายภายในกระเพาะรูเมน โดยถ้าระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนต่ำกว่า 6 จำนวนของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (lactic producing species) มีจำนวนเพิ่มขึ้น และทำให้ระดับของกรดแลคติกในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันกรดอะซิติกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ส่วนกรดโพรพิโอนิกจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรด-ด่างลดลงถึง 5 และเมื่อความเป็นกรด-ด่างลดลงต่ำกว่า 5 ระดับของกรดโพรพิโอนิกจะลดลงอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 2.3) (เมธา, 2533)



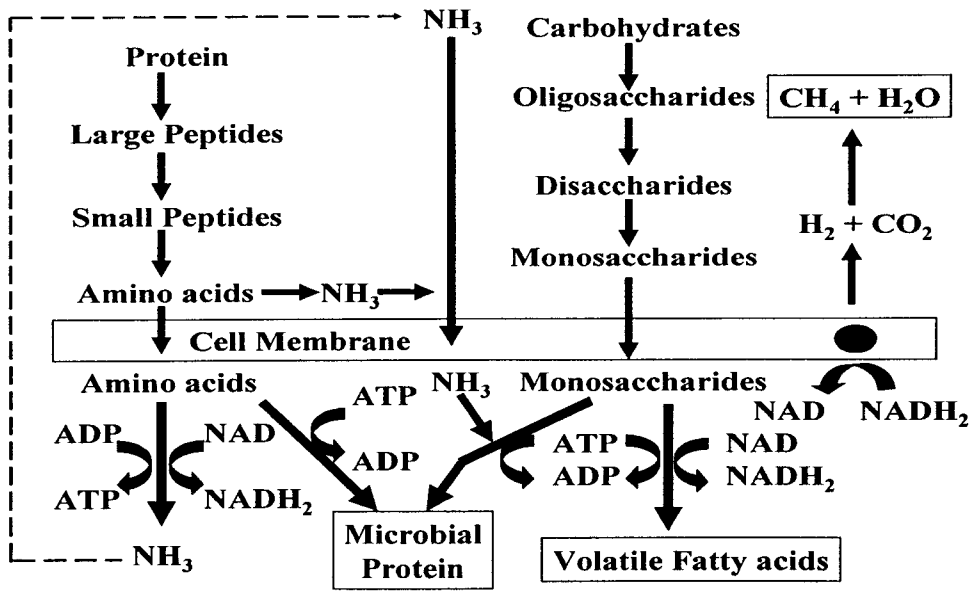
ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ง่าย

ที่มา: เมธา (2533)

2.3.4 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน

จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้ประโยชน์จากแอมโมเนีย เพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์เป็นโปรตีนภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียที่ย่อยสลายเยื่อใย ได้แก่ *Fibrobacter succinogenes, Ruminococcus albus* และ *R. flavefuciens* สามารถใช้แอมโมเนียในการสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนได้สูงถึง 89 เปอร์เซ็นต์ (Wallace et al., 2001) ดังนั้น ระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen, NH_3-N) ก็มีความสำคัญต่อจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน โดย Satter and Slyter (1974) รายงานว่า จุลินทรีย์มีความต้องการแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตที่ระดับ 4-5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Erdman et al. (1986) พบว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสมนั้น จะมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหารหยาบมากกว่าการย่อยอาหารพวกธัญพืช โดยความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนส่งผลถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนที่ลดลง หากแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนลดต่ำลงมีผลทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในเซลล์สูงกว่าภายนอกเซลล์อย่างน้อย 1.6 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Russell and Strobe, 1987) และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน โดย Noeck and Russell (1988) รายงานว่า เมื่ออัตราการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมนมีมากกว่าอัตราการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรท จะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนออกมาในรูป

แอมโมเนีย แต่ในทางตรงกันข้ามหากอัตราการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรทมีมากกว่าจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์โปรตีนลดลง (ภาพที่ 2.4) ซึ่งระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประชากรจุลินทรีย์ ตลอดจนปริมาณการกินได้ ประสิทธิภาพการย่อยได้ และประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน โดย Perdok and Leng (1990) พบว่า เมื่อระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 15-30 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ทำให้ปริมาณการกินได้ และประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารเพิ่มขึ้น และหากมีการเพิ่มขึ้นของระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงถึง 30 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการลดลงของสัดส่วนระหว่างกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิกและกรดบิวทีริก จำนวนประชากรซูโอสปอร์เพิ่มขึ้น และยังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน จาก 17 เป็น 47 เปอร์เซ็นต์ (Kanjanapruthipong and Leng, 1998) นอกจากนี้ Wanapat and Pimpa (1999) ทำการศึกษาระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระบือปลักที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหยาบหลัก พบว่า เมื่อระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในช่วง 13.6-17.6 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรแบคทีเรียทั้งหมด ประชากรโปรโตซัว และปริมาณของอนุพันธ์พิวรีนที่ขับออกมากับปัสสาวะ ตลอดจนปริมาณการกินได้ทั้งหมดและประสิทธิภาพการย่อยได้ และ Nguyen and Preston (1999) พบว่า ในกระบือปลักที่ได้รับฟางข้าว และหญ้าสดเป็นอาหารหยาบมีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนประมาณ 5-6 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นประมาณ 8-18 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการเสริมด้วยฟางหมักยูเรีย, urea-molasses cake และ Sesbania leaf และส่งผลต่อจำนวนประชากรแบคทีเรียและโปรโตซัวและปริมาณการกินได้ที่เพิ่มขึ้นด้วย



ภาพที่ 2.4 แสดงการย่อยสลายอาหารโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน
ที่มา: Nocek and Russell (1988)

2.4 ชนิดและประเภทของอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

อาหารและการให้อาหารเป็นสิ่งสำคัญต่อการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากต้นทุนการผลิตประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้นทุนในด้านอาหารสัตว์ ปัจจัยด้านอาหารถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการผลิตสัตว์ ดังนั้นในการให้อาหารสัตว์จำเป็นต้องมีการจัดการที่ถูกต้องและเหมาะสมตรงกับความต้องการสัตว์ โดยอาหารสัตว์แบ่งออกได้ 2 ชนิด ดังนี้ (ฉลอง, 2541)

2.4.1 อาหารหยาบ

อาหารหยาบหมายถึงอาหารที่มีเยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF) มากกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ หรือมีเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) มากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ มีการย่อยได้ต่ำ (Kearl, 1982) สัตว์เคี้ยวเอื้องต้องได้รับอย่างน้อย 15 ส่วนใน 100 ส่วน และถือได้ว่าเป็นอาหารหลักหรืออาหารพื้นฐานสำหรับโคนม ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ ต้นและใบพืชที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ เช่น พืชตระกูลหญ้าและถั่วต่างๆ รวมถึงผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยอาหารหยาบแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.1.1 พืชอาหารสัตว์ (forages) ได้แก่ หญ้ารูซี่ หญ้ากินนี หญ้าขน หญ้าซิกแนล ถั่วอาหารสัตว์ และพืชยืนต้น เป็นต้น

2.4.1.2 ผลพลอยได้ทางการเกษตร (crop residues) ได้แก่ ฟางข้าว ยอดอ้อย ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด และใบมันสำปะหลัง เป็นต้น

2.4.2 อาหารข้น

อาหารข้นหรืออาหารผสม (ทั้งอัดเม็ดและไม่อัดเม็ด) ได้แก่ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใยหยาบน้อยกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ หรือมีเยื่อใย NDF ต่ำกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ และมีจำนวนโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient; TDN) สูง อาหารข้นถือเป็นอาหารเสริมสำหรับเป็นแหล่งพลังงาน โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามิน เพื่อให้สัตว์ได้รับสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต อย่างไรก็ตามในการให้อาหารข้นจำเป็นต้องมีการจัดการที่ถูกต้องและเหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ เพราะถ้ามีการให้อาหารข้นไม่เหมาะสมจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น (Kearl, 1982; ฉลอง, 2541) ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.4.2.1 อาหารข้นพลังงาน ได้แก่ ข้าวโพด รำข้าว มันสำปะหลัง และกากน้ำตาล เป็นต้น มีองค์ประกอบเป็นคาร์โบไฮเดรทเป็นส่วนมาก มีโปรตีนหยาบน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์

2.4.2.2 อาหารข้นโปรตีน มีองค์ประกอบเป็นโปรตีนแท้ (true protein) และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen; NPN) มีโปรตีนหยาบมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ตามแหล่งที่มา ดังนี้

ก. อาหารโปรตีนที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ ปลาป่น เนื้อและกระดูกป่น หางนมผง เป็นต้น วัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทนี้มีคุณภาพและราคาแพง

ข. อาหารโปรตีนที่ได้จากพืช ได้แก่ กากถั่วเหลือง กากเมล็ดฝ้าย กากนุ่น กากเมล็ดปาล์ม และกากเมล็ดยางพารา เป็นต้น

ค. สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน โดยในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ระบบกระเพาะอาหารพัฒนาเต็มที่แล้วสามารถใช้ประโยชน์จากสารประกอบไนโตรเจนโดยการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนให้เป็นโปรตีนได้ สารประกอบที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ ยูเรีย ซึ่งหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูกเมื่อเปรียบกับโปรตีนจากแหล่งอื่น

2.4.2.3 อาหารเสริมแร่ธาตุและวิตามิน เป็นอาหารที่มีปริมาณแร่ธาตุบางชนิดมากกว่าอาหารทั่วไป เช่น เกลือ กระดูกป่น เป็นต้น และวิตามินที่ผลิตจากโรงงานเภสัชที่ใช้เป็นตัวยาซึ่งมีวิตามินบางชนิดอย่างเข้มข้น

2.5 การใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

เนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นได้ โดยใช้แอมโมเนีย (NH_3) เป็นแหล่งของไนโตรเจน จึงทำให้สัตว์เคี้ยวเอื้องไม่จำเป็นต้องพึ่งพาโปรตีนจากอาหารมากนัก จุลินทรีย์จะได้รับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจากการย่อยสลายโปรตีนที่มีอยู่ในอาหารทั้งที่เป็นโปรตีนแท้ และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้ NPN จากแหล่งอื่นที่ไม่ใช่จากธรรมชาติที่มีอยู่ในอาหาร เช่น ยูเรีย ไบยูเรท เกลือแอมโมเนีย และมูลสัตว์ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ยูเรียเนื่องจากมีราคาถูก สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต (บุญล้อม, 2541; เทอดชัย, 2542)

ยูเรีย (NH_2CONH_2) เป็นผลึกสีขาวละลายน้ำได้ดี มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ 46 เปอร์เซ็นต์ (46x6.25=289%CP) เมื่อยูเรียเข้าไปในกระเพาะรูเมนจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ยูรีเอสจากแบคทีเรียอย่างรวดเร็ว ได้เป็นแอมโมเนีย ซึ่งจุลินทรีย์จะนำแอมโมเนียไปใช้ในการสร้างโปรตีนของตัวมันเอง (microbial protein) แอมโมเนียจะถูกจับไปสร้างโปรตีนได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ (บุญล้อม, 2541) Huber (อ้างถึงโดย เมธา, 2533) กล่าวถึง การใช้ยูเรียในสูตรอาหารโคนม สามารถใช้ได้สูงถึง 27 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมด พบว่าให้ผลดีเท่าเทียมกับการใช้แหล่งโปรตีนแท้ การใช้ในระดับต่ำกว่านี้ไม่ปรากฏว่ามีผลต่อสมรรถภาพการสืบพันธุ์ องค์ประกอบของน้ำนมหรือสุขภาพของโคนม นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ยูเรียไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ ซึ่งการใช้ยูเรียในสูตรอาหารควรมีระดับโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด 70 เปอร์เซ็นต์ของสิ่งแห้งหรือสูงกว่า ถ้าพลังงานที่ย่อยได้ของอาหารลดลงจาก 70 เปอร์เซ็นต์ เป็น 40-45 เปอร์เซ็นต์ เช่น การเลี้ยงโคนมด้วยหญ้าแห้งหรือเฮย์ ระดับของการใช้ยูเรียจะต้องลดลงตามไปด้วย ถ้าในอาหารมีโปรตีนอยู่ระหว่าง 14-15 เปอร์เซ็นต์ของสิ่งแห้งการใช้ประโยชน์ของยูเรียจะลดลง แต่หากระดับของโปรตีนเป็น 10-11 เปอร์เซ็นต์ การใช้ประโยชน์ของยูเรียจะสูงขึ้น (เมธา, 2533) โดยปกติยูเรียจะถูกใช้ได้ดีที่สุดในกระเพาะรูเมนเมื่อมีอัตราการสลายตัวเป็นแอมโมเนียอย่างช้าๆ และมีอาหารคาร์โบไฮเดรทที่สลายตัวได้ง่ายสูง เช่น อาหารจำพวกธัญพืช มันเส้น หรือกากน้ำตาล เป็นต้น (บุญล้อม, 2541) ซึ่ง Chanjula et al. (2004) รายงานว่า สามารถใช้ยูเรียในสูตรอาหารได้มากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง (3.3-4.5

เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) โดยใช้ร่วมกับมันเส้นในระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง สามารถช่วยปรับปรุงกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนและเพิ่มสมรรถนะการผลิตของโคนมได้ สอดคล้องกับ Khampa et al. (2006) รายงานว่าสามารถใช้ยูเรียในสูตรอาหารโคนมได้สูงถึง 4 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการเสริมโซเดียมดีแอล-มาเลทในระดับ 20 กรัมต่อตัวต่อวัน ในสูตรอาหารข้นที่มีมันเส้น 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักและการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะรูเมน ตลอดจนส่งผลต่อการตอบแทนเปรียบเทียบเชิงเศรษฐกิจเมื่อปรับไขมันที่ 3.5 เปอร์เซ็นต์มีค่าสูงที่สุดด้วย นอกจากนี้ การเสริมยูเรียในสัตว์ที่กินอาหารที่มีคุณภาพต่ำ (มีโปรตีนและการย่อยได้ต่ำ) เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน เพิ่มการย่อยได้ของอาหารหยาบและเพิ่มปริมาณการกินได้ (Boniface et al., 1986)

2.6 การปรับปรุงคุณค่างทางโภชนะของฟางข้าวเพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ฟางข้าวเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรจากการผลิตข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของไทย หลังจากฤดูกาลเก็บเกี่ยวข้าวเสร็จสิ้น เกษตรกรจะนำฟางข้าวมาเก็บไว้ใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์เลี้ยงตามบ้าน เช่น โค กระบือ แต่การใช้ฟางข้าวเป็นอาหารสัตว์มีข้อจำกัด เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนะค่อนข้างต่ำ มีโปรตีนหยาบประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรทประเภทโครงสร้างในปริมาณที่สูงและยังมีปริมาณของฟอสฟอรัสและแร่ธาตุที่จำเป็นอยู่ต่ำมาก นอกจากนี้ยังมีโภชนะที่ย่อยได้รวม ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดปัญหาในการกินได้ของสัตว์ ทำให้สัตว์กินฟางข้าวได้น้อยและได้รับโภชนะไม่เพียงพอกับความต้องการ (เมธา, 2528) ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวให้มีคุณค่าทางโภชนะที่สูงขึ้น ทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากฟางข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และการทำฟางหมักด้วยยูเรียเป็นวิธีทางเคมีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าว โดยฟางข้าวเมื่อนำมาหมักด้วยยูเรียจะทำให้โปรตีนในฟางข้าวเพิ่มจาก 3-4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 7-9 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง เปอร์เซ็นต์การย่อยได้เพิ่มจาก 46 เปอร์เซ็นต์ เป็น 50-55 เปอร์เซ็นต์ และสัตว์ยังสามารถกินฟางได้เพิ่มอีกประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ เป็นการเพิ่มพลังงานสุทธิสำหรับสัตว์ที่จะนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิต (เมธา, 2533) ทำให้การใช้ประโยชน์จากฟางข้าวมีสูงขึ้น เนื่องจากยูเรียเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ได้แอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอาศัยเอนไซม์ยูรีเอสจากจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะตามพื้นผิวฟางซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ย่อยสลายยูเรีย (ureolytic bacteria) จากนั้นแอมโมเนียจะรวมกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) ได้เป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง ส่งผลทำให้การเกาะยึดกันแน่นของพันธะในองค์ประกอบของฟางคลายตัวลง เมื่อสัตว์ได้รับฟางหมัก จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนจะสามารถย่อยสลายฟางข้าวได้เพิ่มมากขึ้น Promma et al. (1985) เปรียบเทียบการใช้หญ้าสดและฟางหมักยูเรีย 6 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงโคนมพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ในด้านปริมาณอาหารที่สัตว์กิน เปอร์เซ็นต์ไขมันนม

เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม และปริมาณน้ำนมปรับไขมันที่ 4 เปอร์เซ็นต์ Wanapat (1985) ทำการศึกษาการใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณการกินได้ต่อหน่วยกิโลกรัมต่อวันและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวไม่แตกต่างทางสถิติ ทั้งในกลุ่ม 3 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ แต่การกินได้ต่อน้ำหนักเมทธาบอลิก ($g/kgW^{0.75}$) ในกลุ่มที่ใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การย่อยได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของอินทรียวัตถุและการย่อยได้ของผนังเซลล์ในกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับฟางข้าวหมักยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การใช้ฟางข้าวหมักยูเรียอาจใช้เป็นอาหารหยาบหลักอย่างเดียวในฤดูแล้ง หรือใช้ร่วมกับอาหารหยาบชนิดอื่น เช่น อ้อยสด ยอดอ้อย ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณการกินได้และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ดีที่สุด ลักษณะของฟางข้าวหมักยูรียหลังการหมักควรมีลักษณะอ่อนนุ่ม สีน้ำตาลเข้มกว่าปกติ มีกลิ่นหอมแอมโมเนีย มีความชื้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีเชื้อรา

2.7 แหล่งพลังงานและการใช้อาหารพลังงานในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการอาหารพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิต รวมถึงพลังงานสำหรับการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะรูเมนด้วย แหล่งอาหารพลังงานมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากในสูตรอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นมีอาหารพลังงานเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่า 70-80 เปอร์เซ็นต์ (Nocek and Rusell, 1988) วัตถุดิบอาหารพลังงานที่ใช้ในฟาร์มเกษตรกรทั่วไป ได้แก่ มันสำปะหลัง ปลายข้าว รำข้าว ข้าวโพด เมล็ดธัญพืช และกากน้ำตาล เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในสูตรอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องและแหล่งพลังงานหลักในสูตรอาหารสัตว์นั้น มาจากคาร์โบไฮเดรทที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทั้งคาร์โบไฮเดรทที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate, SC) และคาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non structural carbohydrate, NSC) โดยปกติแล้วในสูตรอาหารสำหรับสัตว์จะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรทอยู่ประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคาร์โบไฮเดรททั้งสองประเภทนี้ถือเป็นแหล่งพลังงานของทั้งจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมนและตัวสัตว์เอง (Herrera-Saldana et al., 1990; NRC, 2001) สำหรับคาร์โบไฮเดรทที่เป็นโครงสร้างเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์พืช ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีความสามารถในการย่อยได้สูงกว่าคาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่โครงสร้าง มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ คือ แป้ง และน้ำตาล ส่วนคาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่โครงสร้างเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช ได้แก่ เซลยูโลส เฮไมเซลยูโลส และเพคติน (บุญล้อม, 2541) ซึ่งจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะทำหน้าที่ย่อยสลายอาหารคาร์โบไฮเดรทเพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญและมีประโยชน์ต่อตัวสัตว์ คือ กรดไขมันระเหยได้ง่าย (volatile fatty acid, VFA) และกรดไขมันระเหยได้ง่ายเหล่านี้จะเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องที่จะนำไปใช้ในการดำรงชีวิต และการให้ผลผลิตเนื้อและนมต่อไป (ฉลอง, 2541) อย่างไรก็ตาม อัตราการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรทนั้นจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดและ

แหล่งของอาหารคาร์โบไฮเดรท ซึ่งจะมีผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และอัตราการผลิตกรดไขมันระเหยได้ง่าย จากการประเมินคุณค่าทางโภชนะของแหล่งอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส ของวัตถุดิบอาหารพลังงาน 5 ชนิด คือ ข้าวโพดบด มันเส้น ปลายข้าว รำละเอียด และรำหยาบ พบว่า มันเส้นมีค่าศักยภาพการผลิตแก๊ส ปริมาตรผลผลิตแก๊ส และค่าประเมินพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่า มันเส้นเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับโคเนื้อและโคนม (ทรงศักดิ์และคณะ, 2548) นอกจากนี้ Sommart et al. (1996) ทำการศึกษาผลของระดับ คาร์โบไฮเดรทที่ย่อยสลายได้ง่าย คือ 30, 35 และ 40 เปอร์เซ็นต์ และระดับโปรตีน 15.6 และ 18.4 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปสำหรับโครีดนม พบว่า ปริมาณการกินได้ ปริมาณความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ง่าย และปริมาณผลผลิตน้ำนมจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของ NSC เพิ่มขึ้น และจากการศึกษาเปรียบเทียบการใช้แหล่งพลังงาน 4 ชนิด คือ มันเส้น กากน้ำตาล ข้าวโพด และปลายข้าว พบว่าการใช้ประโยชน์ของแหล่งพลังงานทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งในด้านปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบและรูปแบบกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน (Wanapat et al., 1995)

2.8 การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

มันสำปะหลัง *(Manihot esculenta Cranctz)* เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถเจริญได้ดีในดินร่วนปนทราย ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและยังเป็นพืชที่ทนทานต่อความแห้งแล้งได้เป็นอย่างดี มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีการสะสมอาหารในส่วนรากหรือส่วนหัว โดยส่วนใหญ่แล้วจะประกอบด้วยแป้งที่เป็นคาร์โบไฮเดรทเป็นส่วนประกอบมากที่สุด โดยมีแป้งอยู่ประมาณ 64-72 เปอร์เซ็นต์ แป้งในมันสำปะหลังมี 2 ชนิด ได้แก่ อไมโลส (amylose) 16-18 เปอร์เซ็นต์ และอไมโลเพคติน (amylopectin) 82-84 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น ซูโคส มอลโตส และฟรุคโตส (Johnson and Raymond, 1965) ซึ่ง Gomez and Valdivieso (1983) รายงานผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของมันสำปะหลัง (มันเส้น) พบว่ามีความชื้น 10-12 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรทที่ย่อยง่าย 76-81 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 2.3-2.5 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับ Chanjula et al. (2003) รายงานว่า มันเส้นมีความชื้น 11.4 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 2.0 เปอร์เซ็นต์ ผนังเซลล์ 11.3 เปอร์เซ็นต์และเซลยูโล-ลิกนิน 5.0 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแป้งที่เป็นองค์ประกอบในมันสำปะหลัง (มันเส้น) เป็นคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ง่าย มีการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนสูง เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง จากการทดลองของ กฤตพลและคณะ (2534) พบว่าอัตราการย่อยได้ของอินทรียวัตถุในกระเพาะรูเมนของมันเส้นมีค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปลายข้าว ข้าวโพดป่น และข้าวเปลือกบด แสดงให้เห็นว่าแป้งซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในมันเส้นใช้ประโยชน์ได้ดีในกระเพาะรูเมน ในขณะที่ปลายข้าว ข้าวโพดป่น และข้าวเปลือกบดนั้นอาจจะ

ถูกย่อยได้ดีในระบบทางเดินอาหารส่วนล่างโดยเฉพาะที่ลำไส้เล็ก สอดคล้องกับ Chanjula et al. (2003) พบว่าค่าอัตราการย่อยสลายได้และประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุในกระเพาะรูเมนของมันเส้นมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งพลังงานอื่น ได้แก่ มันเทศสีเหลือง มันเทศสีขาว มันเทศสีม่วง รำละเอียด กากมันสำปะหลัง และข้าวโพด นอกจากนี้ เกรียงศักดิ์และคณะ (2533) รายงานว่า ความสามารถในการย่อยสลายได้ของมันสำปะหลังตลอดระบบทางเดินอาหารสูงถึงประมาณ 98-100 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อคิดเป็นพลังงานแล้วมีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพดที่นิยมใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในสูตรอาหารข้น Tudor and Inkerman (1987) ได้ทดลองใช้มันเส้นทดแทนข้าวฟ่างทั้งหมดในสูตรอาหารข้น (80 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหาร) สำหรับโคขุน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของโคขุนที่ได้รับอาหารข้นสูตรมันเส้นต่ำกว่าโคขุนที่ได้รับอาหารสูตรข้าวฟ่าง แต่เมื่อคิดจากน้ำหนักตัวที่เพิ่มไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การใช้มันเส้นเป็นแหล่งพลังงานจะต้องมีการปรับระดับโปรตีนและเลือกใช้แหล่งโปรตีนที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่แตกต่างกัน โดยเฉพาะการใช้เนื้อและกระดูกป่นเป็นแหล่งโปรตีนร่วมกับยูเรีย ทำให้มีการผลิตกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมนเพิ่มสูงขึ้นด้วย จากการศึกษาการทดแทนมันเส้นในสูตรอาหารที่มีข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานในระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยให้อาหารข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์ของอาหารในกระบือปลักที่ได้รับฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นอาหารหยาบหลัก พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้นตามระดับการทดแทนมันเส้นในสูตรอาหาร แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเยื่อใยโดยเฉพาะผนังเซลล์จะลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน ตลอดจนกรดไขมันระเหยได้ง่ายทั้งหมดไม่แตกต่างกัน (เมธาและคณะ, 2534) นอกจากนี้ Khampa and Wanapat (2006) ได้ทำการศึกษาการเสริมแหล่งพลังงาน 2 แหล่ง ในโคนมเพศผู้ ได้แก่ มันเส้นและข้าวโพดบดที่ระดับ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว พบว่าการเสริมมันเส้นที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนและเพิ่มการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนได้สูงสุด และจากการทดลองเสริมอาหารข้นที่มีมันเส้นเป็นองค์ประกอบในระดับสูง (80 เปอร์เซ็นต์) ในโคเนื้อ พบว่าที่ระดับการเสริม 2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว ให้ผลในทำนองเดียวกัน (Khampa and Wanapat, 2004)

2.9 กล้วยและการใช้กล้วยเป็นอาหารสัตว์

กล้วย (banana) เป็นพรรณไม้ล้มลุกในสกุล *Musa* มีหลายชนิด เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยหอม กล้วยไข่ กล้วยตานี กล้วยหักมุก เป็นไม้ผลเขตร้อนที่มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เนื่องจากกล้วยเป็นพืชที่ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำอีกทั้งปลูกแล้วดูแลรักษาง่ายให้ผลผลิตเร็วและเจริญเติบโตได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย ปัจจุบันจึงมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทุกภูมิภาคและจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง

อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรท แคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินเอ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน และให้ผลผลิตตลอดทั้งปี จากรายงานสถิติการปลูกไม้ผล-ไม้ยืนต้นของกรมส่งเสริมการเกษตรในปี พ.ศ. 2546 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยประมาณ 890,745 ไร่ มีผลผลิตทั้งหมดประมาณ 1,962,252 ตัน ซึ่งพันธ์กล้วยที่มีการปลูกมากที่สุด คือ กล้วยน้ำว้า รองลงมาคือ กล้วยหอมและกล้วยไข่ตามลำดับ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เนื่องจากกล้วยน้ำว้า (*Musa* ABB group (triploid) cv. "Namwaa") สามารถทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดีกว่ากล้วยพันธุ์อื่น ๆ การดูแลรักษาง่าย การใช้ประโยชน์จาก ผล ต้น ใบ ดอก มากกว่ากล้วยชนิดอื่น ๆ จึงเป็นกล้วยที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศไทย แหล่งปลูกกล้วยน้ำว้าที่สำคัญ ได้แก่ เลย นครพนม หนองคาย ชุมพร ระนอง และนครราชสีมา

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลสถิติการปลูกกล้วยในประเทศไทย

รายการ	พื้นที่ปลูก (ไร่)	ผลผลเฉลี่ย (กก./ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ราคาเฉลี่ย (บาท/กก.)
กล้วยน้ำว้า	725,728	2,549	1,607,584	3.53
กล้วยหอม	89,840	2,968	217,072	5.77
กล้วยไข่	75,177	2,799	137,596	5.10
รวม	890,745	8,334	1,962,252	

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2546)

2.9.1 การใช้ส่วนต่าง ๆ ของกล้วยเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

กล้วยเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำส่วนต่าง ๆ มาเป็นอาหารสัตว์ได้ เช่น ใบ ผล ลำต้น หรือส่วนที่เป็นเศษเหลือจากการแปรรูป เช่น เปลือกกล้วย ซึ่งเป็นเศษเหลือทิ้งที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และผลกล้วยสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี Gohl (1981 อ้างถึงใน Babatunde et al., 1991) รายงานว่าใบกล้วยสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ แต่อาจทำให้การย่อยได้ลดลงเมื่อเพิ่มระดับใช้ นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถใช้ลำต้นเทียม (pseudo stems) เป็นอาหารสัตว์ในรูปสดได้เช่นกัน Ffoulkes and Preston (1978) รายงานว่าวัตถุแห้งของใบกล้วยและลำต้นเทียมมีความสัมพันธ์กับการย่อยได้ในตัวสัตว์ ซึ่งพบว่าการย่อยได้ของใบกล้วยและลำต้นเทียมมีค่า 65 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าการย่อยได้ปรากฏของวัตถุแห้งจะมีค่าสูง แต่การใช้ใบและลำต้นเทียมเป็นอาหารสัตว์เพียงอย่างเดียวอาจทำให้สัตว์ได้รับโภชนะไม่เพียงพอกับความต้องการสำหรับการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงควรมีการสริมยูเรียหรือพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่นที่มีการย่อยได้สูงร่วมด้วย นอกจากนี้ Viswanathan et al. (1989) ทดลองเสริมใบกล้วยแห้งทดแทนหญ้าขนแห้งในแกะที่ระดับ 0, 20, 40 และ 50

เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไม่มีผลกระทบต่อตัวสัตว์ แต่ที่ระดับการเสริมมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงในช่วงสุดท้ายของการทดลอง ส่วนปริมาณการกินได้ไม่มีความแตกต่างกัน และยังพบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนมีค่าต่ำที่สุด ขณะที่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเยื่อใยมีค่าสูงสุด จากการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนจากส่วนต่าง ๆ ของกล้วย พบว่าลำต้นเทียมที่เกิดจากกาบใบที่แผ่ออกมารวมตัวกันแน่น และเปลือกกล้วยมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องมากกว่าใบกล้วย (Kimambo and Muya, 1991) โดยพิจารณาจากค่าความสามารถในการย่อยได้ในกระเพาะรูเมน (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุของส่วนต่าง ๆของกล้วยที่เวลา 48 ชั่วโมง หลังการจุ่มในกระเพาะรูเมน

Banana parts	DM disappearance (%)	OM disappearance (%)
Leaf lamina	27.7	25.6
Leaf mid-rib	37.4	35.4
Pseudo-stem sheath	45.4	43.5
Pseudo-stem core	59.2	56.7
Fruit peelings	60.5	58.6

ที่มา: Kimambo and Muya (1991)

นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งจากกล้วยสามารถใช้เป็นแหล่งของแป้งในสูตรอาหารสำหรับลูกโคในการผลิตอาหารแทนนมได้ (milk replacers) ซึ่ง Rihs et al. (1975 อ้างถึงใน Babatunde et al., 1991) ได้ทดลองใช้แป้งกล้วยระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหารสำหรับลูกโค พบว่าสามารถใช้แป้งกล้วยทดแทนธัญพืชในสูตรอาหารลูกโคในช่วงกำลังเจริญเติบโตและระยะขุนได้สูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Fyock and Knodt (1949) รายงานว่าสามารถนำกล้วยป่นมาเลี้ยงโคนมเพศผู้ได้สูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารข้น โดยไม่มีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง สำหรับการใช้ผลกล้วยดิบเป็นอาหารสัตว์นั้น พบว่าสามารถใช้ได้เช่นกัน โดย Pieltain et al. (1998) รายงานว่าผลกล้วยดิบสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากมีรสชาติดีและมีองค์ประกอบของแป้งที่เป็นแหล่งพลังงานอยู่สูง จากการทดลองใช้กล้วยดิบเป็นอาหารแพะโดยศึกษาถึงการย่อยได้และปริมาณการกินได้อิสระ พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุมีค่า 78.3 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานสุทธิเพื่อการให้ผลผลิต (NE_l) มีค่า 7.55 เมกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ส่วนปริมาณการกินได้ พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้น 1.0 กิโลกรัมของวัตถุแห้ง เมื่อให้ผลกล้วยดิบ 5 กิโลกรัมน้ำหนักสดต่อวัน ซึ่งพบว่าปริมาณการกินได้มีค่ามากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของผลกล้วยดิบที่ได้รับต่อวัน และจากการศึกษาความสามารถในการย่อยได้ในกระเพาะรูเมนของผลกล้วยดิบ ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.3 (Pieltain et al., 1998)

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการย่อยได้ในกระเพาะรูเมนของผลกล้วยดิบ

รายการ	a (%)	b (%)	c (h^{-1})	SEM	Effective degradability (%)	Degradable (%DM)
อินทรียวัตถุ	47.4	41.5	0.06	0.10	68.2	62.8
โปรตีนหยาบ	69.3	19.3	0.02	0.84	74.1	4.4
เยื่อใย NDF	0.0	58.3	0.04	0.06	23.3	3.5
Gross energy	61.4	32.3	0.08	0.14	79.9	12.14 MJ/kg DM

ที่มา: Pieltain et al. (1998)

2.9.2 องค์ประกอบทางโภชนะที่สำคัญในผลกล้วยดิบ

กล้วยดิบเมื่อนำมาทำแห้งแล้วป่นเป็นแป้งจะได้เป็นวัตถุดิบที่มีคุณภาพดี Bello-Perez et al. (2000 อ้างถึงใน ประจวบ, 2547) รายงานว่า แป้งกล้วยดิบมีเปอร์เซ็นต์เถ้า โปรตีน หยาบและไขมัน มากกว่าแป้งข้าวโพด และผลกล้วยดิบมีส่วนที่เป็นเนื้อ 82 เปอร์เซ็นต์ และส่วน เปลือก 18 เปอร์เซ็นต์ (Dividich et al., 1976) Suntharaligam and Revindram (1993) ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของแป้งกล้วยดิบ พบว่า กล้วยมีผลผลิตแป้งกล้วย ประมาณ 25.5-31.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีระดับโปรตีน 3.2 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 1.3 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 3.7 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง 8.9 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด 3.8 เปอร์เซ็นต์ เซลยูโลส 3.1 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 1.0 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลยูโลส 5.5 เปอร์เซ็นต์ และส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรท ประกอบด้วย แป้ง 70 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 2.8 เปอร์เซ็นต์ และโพลีแซคคาร์ไรด์ที่เป็นโครงสร้าง (non-starch polysaccharide) 12.0 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุและไวตามิน ซึ่ง ใกล้เคียงกับรายงานของ Pieltain et al. (1998) ที่ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผล กล้วยดิบ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.9.3 สารสำคัญในกล้วยดิบ

สารที่พบในกล้วยดิบมีมากมาย ซึ่งเป็นสารพวกสารสี วิตามิน เอนไซม์ เช่น แอลกอฮอล์, อัลดีไฮด์, กรดนิโคตินิก, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรท, เพคติน, แร่ธาตุ, ไขมัน และ กรดไขมัน, delphinine, cyaniding, pelargonidin-3,5-diglucoside, ไฮโดรคาร์บอน, คีโตน, คอนเดนซ์แทนนิน, แคโรทีน, คลอโรฟิลล์ A และ B, วิตามิน A, B และ C, riboflavin, thiamine, essential oil, proteolytic enzyme, 3,4-benzopyrane, dopamine, nor-epinephrine, 5-hydroxy-tryptamine (ศูนย์ข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหิดล, 2530 อ้างถึงใน ประจวบ, 2547) ซึ่งสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในกล้วยดิบ ได้แก่ เพคติน, แทนนิน, ซิโตอินโดไซด์

และลิวโคไซอะนิดีน สารแทนนินที่พบในกล้วยดิบมีคุณสมบัติฝาดสมานห้ามเลือด เคลือบแผลในกระเพาะอาหารและลำไส้ป้องกันการระคายเคืองและยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดและเชื้อรา นอกจากนี้ยังพบว่ายางจากกล้วยมีสารแทนนินอยู่สูง ทั้งจากต้น ใบ เปลือกของผลดิบและเหง้า ใช้หยดใส่แผลสดห้ามเลือดได้ โดยในกล้วยดิบมีแทนนินอยู่ประมาณ 1.52-1.66 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (วีณาและอ้อมน้อย, 2533) นอกจากนี้ ประจวบ (2547) ศึกษาปริมาณสารแทนนินในเปลือกล้วยตากแดด เปลือกกล้วยอบ เนื้อกล้วยตากแดดและเนื้อกล้วยอบ พบว่ามีค่า 1.21, 0.84, 0.26 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของผลกล้วยดิบ

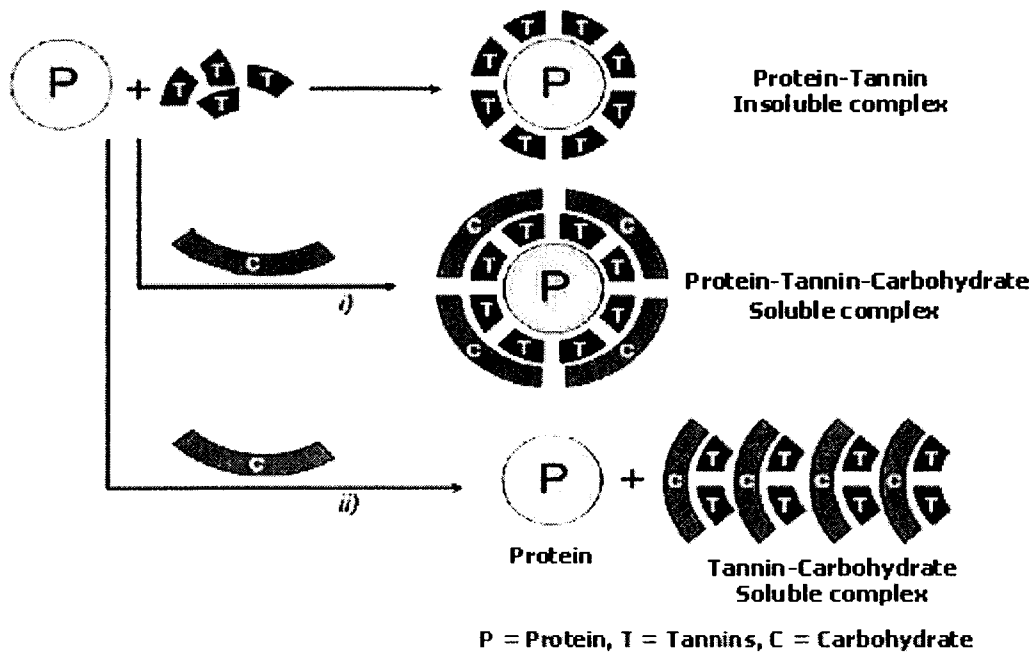
รายการ	องค์ประกอบ (%วัตถุแห้ง)
วัตถุแห้ง (%)	20.9
เถ้า	7.8
อินทรียวัตถุ	92.2
ไขมัน	2.1
โปรตีนหยาบ	6.0
เยื่อใย NDF	15.2
เยื่อใย ADF	7.6
ลิกนิน	3.0
คาร์โบไฮเดรทที่เป็นโครงสร้าง	12.2
คาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่โครงสร้าง	68.9
แคลเซียม	0.09
ฟอสฟอรัส	0.15
แมกนีเซียม	0.12
Gross energy (MJ/kg DM)	15.2

ที่มา: Pieltain et al. (1998)

แทนนิน (tannins) คือ กลุ่มสารที่พบได้ทั่วไปในพืชเกือบทุกชนิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนพวกฟีนอลิก (phenolic compound) มีโครงสร้างสลับซับซ้อน แยกให้บริสุทธิ์ได้ยาก เนื่องจากไม่ตกผลึก ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ (glycoside) และมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี และสามารถตกตะกอนโปรตีนได้ โดยแทนนินมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (1,000-20,000) พบอยู่กระจายตามส่วนต่างๆ ของพืช ผักและผลไม้ทั้งเปลือก เมล็ดและใบ (Norton, 1999) สามารถแบ่งแทนนินได้ 2 กลุ่ม คือ ไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน (hydrolyzable tannins) และคอนเดนซ์แทนนิน (condensed tannin) ซึ่งไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินในธรรมชาติมีน้ำหนัก

โมเลกุลต่ำ (500-3,000) ประกอบไปด้วยกรดแกลลิก (gallic acid) และกรดแอลลาจิก (elagic acid) เป็นโมเลกุลกลาง จับด้วยโมเลกุลของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและสารฟีนอล (Reed, 1995) ส่วนคอนเดนซ์แทนนินมีโมเลกุลขนาดใหญ่ น้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 1,900-28,000 (Barry and Manley, 1986) เป็นสารประกอบที่ไม่มีคาร์โบไฮเดรทเป็นโมเลกุลกลาง แต่ประกอบด้วยโพลิเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ของ flavonoics unit (polyhydroxy flavan-3-ol-unit) โดย flavonoid-3-ols ประกอบไปด้วย epicatechin และ catechin ที่เชื่อมต่อกันหลายตำแหน่ง โดยทั่วไปในพืชอาหารสัตว์เขตร้อนจะพบคอนเดนซ์แทนนินเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่

บทบาทของคอนเดนซ์แทนนินในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง พบว่าสารประกอบคอนเดนซ์แทนนินในพืชอาหารสัตว์ มีบทบาทสำคัญในการลดอัตราการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (McNabb et al., 1998; Min et al., 2002, 2003) เนื่องจากแทนนินมีคุณสมบัติในการเกิดพันธะไฮโดรเจน (H-bond) กับสารคาร์โบไฮเดรทและโปรตีน แต่ที่สภาพค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางแทนนินจะจับกับสารโปรตีนได้เหนียวแน่นกว่า เกิดเป็นสารประกอบแทนนินโปรตีนคอมเพล็กซ์ (tannins-protein complex) (ภาพที่ 2.5) (Mateus et al., 2004) ซึ่งคงทนและไม่ละลายที่ระดับความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 3.5-7 ในกระเพาะรูเมน ทำให้โปรตีนไหลผ่าน และสามารถสลายปลดปล่อยโปรตีนออกมาที่ระดับความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 3.5 และมากกว่า 8 ในกระเพาะจริง และถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทำให้มีการย่อยและการดูดซึมโปรตีนไปใช้ประโยชน์ในตัวสัตว์ได้สูงขึ้น (Jones and Mangan, 1977; Martin and Martin, 1983; McNabb et al., 1998) อย่างไรก็ตามการใช้แหล่งอาหารที่มีแทนนินเป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชอาหารสัตว์ควรใช้ในระดับที่เหมาะสม เนื่องจากอาจมีผลกระทบต่อตัวสัตว์ ซึ่งพบว่าในพืชอาหารสัตว์ถ้ามีแทนนินสูงเกินไป (มากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์) จะมีผลทำให้ปริมาณการกินได้และความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทลดลง นอกจากนี้ยังทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตลดลงด้วย (Reed et al., 1982) แต่ถ้ามีแทนนินระดับต่ำถึงปานกลาง (2-4 เปอร์เซ็นต์) จะป้องกันการเกิดท้องอืดในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพิ่มการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน เพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนของไนโตรเจนสู่กระเพาะรูเมน และเพิ่มการหลั่งน้ำลาย ซึ่งเป็นการเพิ่มไกลโคโปรตีนและยูเรีย ส่งผลดีต่อนิเวศวิทยาภายในกระเพาะรูเมน (McNabb et al., 1993; Reed, 1995) นอกจากนี้ Barry (1989) รายงานว่า อาหารที่มีแทนนินเป็นองค์ประกอบในระดับ 20-40 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง มีผลทำให้อัตราการย่อยอาหารโปรตีนในกระเพาะรูเมนโดยจุลินทรีย์ลดลง ซึ่งเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของโปรตีนทั้งด้านการย่อยและการดูดซึมโภชนะโดยตัวสัตว์เอง



ภาพที่ 2.5 กลไกการเกิดแทนนินโปรตีนคอมเพล็กซ์

ที่มา: Mateus et al. (2004)