

สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระดับการประเมินคุณภาพ

☐ ดีเยี่ยม

☐ ดีมาก

☒ ดี

☐ ปานกลาง



การย่อได้ของโขนในเศษข้าวโพดหวานหมักและการเปลี่ยนแปลง
ของผลผลิตที่เกิดจากการหมักในกระเพาะรูเมนของโคนม



มนตรี จำปาดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์
สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์

ชื่อเรื่อง

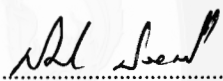
การย่อยได้ของโภชนะในเศษข้าวโพดหวานหมักและการเปลี่ยนแปลง
ของผลผลิตที่เกิดจากการหมักในกระเพาะรูเมนของโคนม

โดย

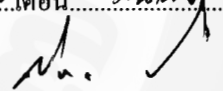
มนตรี จำปาดี

พิจารณาเห็นชอบโดย

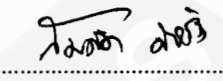
ประธานกรรมการที่ปรึกษา


(รองศาสตราจารย์ ดร.สมปอง สรรวมศิริ)
วันที่ 18 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2552

กรรมการที่ปรึกษา


(รองศาสตราจารย์ ดร.สกต ไขคำ)
วันที่ 18 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2552

กรรมการที่ปรึกษา


(อาจารย์ ดร.สมคิด คีจรง)
วันที่ 18 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2552

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร


(รองศาสตราจารย์ ดร.สมปอง สรรวมศิริ)
วันที่ 18 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2552

สำนักงานบัณฑิตศึกษารับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพ พงษ์พานิช)
ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา
วันที่ 19 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 2552

ชื่อเรื่อง	การย่อยได้ของโภชนะในเศษข้าวโพดหวานหมักและ การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตที่เกิดจากการหมักในกระเพาะรูเมน ของโคนม
ชื่อผู้เขียน	นายมนตรี จำปาดี
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมปอง สรรวมศิริ

บทคัดย่อ

การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในเศษข้าวโพดหวานหมัก และการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตที่เกิดจากการหมักในกระเพาะรูเมนของโคนม แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง โดยใช้แผนการทดลองแบบ 4×4 ลาตินสแควร์ สุ่มโคนมเพศเมียลูกผสม (โฮลสไตน์ฟรีเซียน $\times$ พันเมือง) ที่ผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหารที่กระเพาะรูเมน จำนวน 4 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 350 ± 30 กิโลกรัม ให้ได้รับอาหารแห้งในอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว อาหารทดลองมี 4 สูตร คือ เศษข้าวโพดหวานหมัก (สูตรที่ 1) เศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 10 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 2) เศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) และเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 30 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 4) ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลอง พบว่า เศษข้าวโพดหวานหมักมีค่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งเท่ากับ 18.55 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์โปรตีนเท่ากับ 7.11 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้ง การเสริมกระถินลงในเศษข้าวโพดหวานหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง โปรตีน และเยื่อใย ADF เพิ่มขึ้น แต่ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เยื่อใยหยาบและเยื่อใย NDF ลดต่ำลงตามระดับของกระถินที่เพิ่มขึ้น

การทดลองที่ 1 ศึกษาการสลายตัวของโภชนะในกระเพาะรูเมนด้วยวิธีถุงไนลอน โดยแช่บ่มถุงไนลอนในกระเพาะรูเมนที่ชั่วโม่งต่างๆ คือ 0, 4, 8, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่า ค่าการสลายตัวของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF ในอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าสูงขึ้นเมื่อชั่วโม่งแช่บ่มนานขึ้น โดยกลุ่มทดลองที่ได้รับเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าการสลายตัวของโภชนะทุกชนิด (วัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF) ในชั่วโม่งที่ 96 สูงที่สุด ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 74.33, 78.86, 67.44, 79.70 และ 70.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ค่าเฉลี่ยศักยภาพในการสลายตัวของวัตถุแห้ง โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่ศักยภาพการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุไม่มีความ

แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าศักยภาพการสลายตัวของวัตถุแห้ง โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF สูงที่สุด ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 96.93, 99.85, 83.20, 79.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารทดลองโดยใช้สารบ่งชี้ คือเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (AIA) โดยมีระยะทดลอง 4 ระยะ แต่ละระยะการทดลองใช้เวลา 21 วัน และมีระยะเก็บตัวอย่างอาหารและมูล 7 วัน พบว่า โคทดลองกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีวัตถุ โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF สูงที่สุด ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 69.83 ± 1.39 , 71.43 ± 2.24 , 74.16 ± 0.08 , 75.64 ± 3.60 และ 49.78 ± 1.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือด (Blood Urea Nitrogen ; BUN) พบว่า ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่ากรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือดที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือดสูงที่สุด

การทดลองที่ 4 การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนคือ โปรโตซัว แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส และแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีน พบว่าโคทดลองทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของจำนวนโปรโตซัว แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส และแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยโคทดลองที่ได้รับอาหารผสมเสร็จที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าสูงที่สุด

Title	Nutrient Digestibility of Ensiled Sweet Corn Residue and Changes in Fermented Products in Dairy Cattle Rumen
Author	Mr. Montree Jumpadee
Degree of	Master of Science in Animal Science
Advisory Committee Chairperson	Associate Professor Dr. Sompong Srumsiri

ABSTRACT

This study on nutrient digestibility of ensiled sweet corn residue and the changes of fermented products in rumen, was divided into four experiments in a 4x4 Latin Square Design and randomly using 4 crossbred heifers (Holstein Friesian x Native) with permanent rumen fistulation and weighing an average of 350 ± 30 kg. The animals were given dry feed at 2% of their body weight in 4 different rations: ensiled sweet corn residue (ration 1); ensiled sweet corn residue + 10% Leucaena (ration 2); ensiled sweet corn residue + 20% Leucaena (ration 3); and, ensiled sweet corn residue + 30% Leucaena (ration 4). Results showed that ensiled sweet corn residue contained 18.55% dry matter and 7.11% crude protein in dry matter. Supplementation of Leucaena to ensiled sweet corn residue resulted to an increase in dry matter, crude protein and ADF but average crude fiber and NDF were reduced depending on the level of supplementation of Leucaena.

Experiment 1 was a study on degradation of nutrients in rumen using the nylon bag technique at different hours of incubation (0, 4, 12, 24, 48, 72 and 96 hours). Results showed that degradation of dry matter, organic matter, crude protein, NDF and ADF in various rations increased with the time of incubation. Ensiled sweet corn residue supplemented with 20% Leucaena (ration 3) at 96 hours incubation showed the highest percentages of nutrient degradability (74.33, 78.86, 67.44, 79.70 and 70.38, respectively) at a highly significant difference ($P < 0.01$). Moreover, average degradability of dry matter, crude protein, NDF and ADF was also found to be highly significantly different ($P < 0.01$) but no significant difference was found in the degradability of organic matter ($P > 0.05$) with animals fed with ensiled sweet corn residue supplemented with 20% Leucaena (ration 3) showing the highest average percentages of

nutrient degradability of dry matter, crude protein, NDF and ADF (96.93, 99.85, 83.20 and 79.46, respectively).

In Experiment 2, the study on nutrient digestibility of the various rations through the indicator method using ash insoluble acid (AIA), was conducted in 4 experimental periods at 21 days each and 7-day for each collection period for feed sample and manure, respectively. Results indicated that cattle fed with ensiled sweet corn residue and 20% *Leucaena* (ration 3) showed the highest percentages in nutrient digestibility for dry matter, organic matter, crude protein, NDF and ADF (69.83 ± 1.39 ; 71.43 ± 2.24 ; 74.16 ± 0.08 ; 75.64 ± 3.60 ; and $49.78 \pm 1.23\%$; respectively) with a highly significant difference ($P < 0.01$).

For Experiment 3 which studied the changes in pH, volatile fatty acids (VFA), $\text{NH}_3\text{-N}$ and blood urea nitrogen (BUN), results showed that average values for pH, VFA and $\text{NH}_3\text{-N}$ and BUN increased with length of incubation from 0 to 6 hours after feeding, and were not statistically different ($P > 0.05$). Diet consisting of ensiled sweet corn residue and 20% *Leucaena* (ration 3) showed the highest volatile fatty acids (VFA), $\text{NH}_3\text{-N}$ and BUN.

Further results in Experiment 4 which studied the changes in rumen microbial population consisting of protozoa, cellulolytic bacteria and proteolytic bacteria, showed that all treatments had microbial population of protozoa, cellulolytic bacteria and proteolytic bacteria increased with length of incubation period, from 0 to 6 hours after feeding at no significant difference ($P > 0.05$). Diet containing ensiled sweet corn residue and 20% *Leucaena* (ration 3) showed the highest in rumen microbial population .

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดจากความกรุณาและความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมปอง สรวมศิริ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สกล ไข่คำ และอาจารย์ ดร. สมคิด ดิจริง กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ให้ความรู้ คำแนะนำ วิธีการทำงาน และแนวทางในการวิจัย ตลอดจนให้ความสนใจใส่ แก่ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ไพโรจน์ ศิลม้น ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษางานวิจัย และให้ความช่วยเหลือในการผ่าตัดโคทดลอง อาจารย์เผ่าพงษ์ ปุณพงษ์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท สาขาสัตวศาสตร์ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาโคนมและโคเนื้อทุกคนที่ทำงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อที่ และคุณแม่สาคร จำปาคี ที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด

มนตรี จำปาคี

มีนาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(14)
สารบัญตารางภาคผนวก	(16)
สารบัญภาพภาคผนวก	(22)
อักษรย่อ	(23)
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
ข้าวโพด	3
คุณค่าทางอาหารของเปลือกและซังข้าวโพด	8
การใช้ต้นข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์	12
การใช้ซังข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์	15
กระถิน	20
องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยได้ของใบกระถิน	21
อาหารหยาบหมัก	26
หญ้าหมักคุณภาพดี	27
กระบวนการหมักของพืชหมัก	28
การใช้หญ้าหมักเลี้ยงสัตว์	30
การย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	30
การย่อยโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	32
การย่อยคาร์โบไฮเดรตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	34

ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน	36
กรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน	36
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน	38
ระบบนิเวศในกระเพาะรูเมน	39
จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน	40
ความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนและพลังงานจากกรดไขมัน-ระเหยง่าย	42
สัดส่วนของอาหารหยาบและอาหารข้นต่อการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน	43
การหาการย่อยได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	44
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	51
ระยะเวลาที่ทำการวิจัย	51
สถานที่ทำการวิจัย	51
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการงาน	51
วิธีการดำเนินงานวิจัย	52
การเตรียมอาหารทดลอง	53
การทดลองที่ 1 การศึกษาการสลายตัวของโภชนะภายในกระเพาะรูเมนโดยวิธีใช้ถุงไนลอน	53
การทดลองที่ 2 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะด้วยวิธีใช้สารบ่งชี้	56
การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของอาหารทดลองต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือด	57
การทดลองที่ 4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน	58
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	60
ผลการทดลอง	
องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง	60
การศึกษาการสลายตัวของโภชนะในอาหารทดลองโดยวิธีใช้ถุงไนลอน	62
การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารทดลองโดยใช้สารบ่งชี้	72

การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณ	
แอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือด	76
การเปลี่ยนแปลงจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน	84
วิจารณ์ผลการทดลอง	88
องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง	88
การศึกษาการสลายตัวของโภชนะในอาหารทดลองโดยวิธีใช้ถุงในลอน	89
การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารทดลองโดยวิธีใช้สารบ่งชี้	94
การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณ	
แอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือด	95
การเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน	98
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	100
สรุปผลการทดลอง	100
ข้อเสนอแนะ	102
บรรณานุกรม	103
ภาคผนวก	112
ภาคผนวก ก เทคนิคทางจุลชีววิทยาในการศึกษาจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน	113
ภาคผนวก ก ตารางภาคผนวก	119
ภาคผนวก ข ภาพภาคผนวก	142
ภาคผนวก ค ประวัติผู้วิจัย	146

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก	3
2 เนื้อที่ปลูก ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2544-2549	4
3 เนื้อที่ปลูก ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อนในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2544-2549	5
4 ปริมาณ และมูลค่าการส่งออกจำแนกต่างประเทศข้าวโพดหวานสดปี พ.ศ. 2541-2544	7
5 มูลค่าการส่งออกข้าวโพดหวานของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2548	7
6 องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้จากข้าวโพดฝักอ่อน	8
7 ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเหลือจากการผลิตข้าวโพดหวาน (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)	9
8 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดหวาน ชังข้าวโพดหวาน และเปลือกปนชัง ข้าวโพดหวาน (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)	10
9 องค์ประกอบทางเคมีของเศษเหลือจากข้าวโพดหมัก และเศษเหลือจากข้าวโพดหมัก ร่วมกับแอมโมเนีย 23 เปอร์เซ็นต์	11
10 องค์ประกอบทางเคมีของเศษเหลือข้าวโพดหวานจากโรงงานอาหารกระป๋อง	11
11 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมักและข้าวสาลีหมัก	12
12 ค่าการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะ และปริมาณผลผลิตน้ำนม	12
13 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิต ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบของ- น้ำนม	13
14 ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของเศษเหลือจากข้าวโพด (เปอร์เซ็นต์)	14
15 ค่าการสลายตัวของเศษเหลือจากข้าวโพดหวานสายพันธุ์ N29-F1 และ NX3018 ด้วยวิธีการทดลองในห้องปฏิบัติการ (<i>In vitro</i>) ด้วยเครื่อง ANKOM DAISY"	15
16 ค่าการกินได้ ปริมาณน้ำนม ไขมันนม น้ำตาลแลคโตส และโปรตีนในน้ำนมในโคที่ กินหญ้าแห้งและชังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบ	16
17 ผลของแหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่อผลผลิตน้ำนม และปริมาณกรด ไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน	17

18	ค่าการย่อยได้ของ โภชนะ ใน โค ที่ได้รับข้าวโพดหมัก และชั่งข้าวโพดเป็นอาหาร	18
19	ค่าพลังงาน และค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในต้น และเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อน ที่หมักร่วมกับกระดิน	19
20	ค่าการย่อยได้ของเศษเหลือจากข้าวโพดหวานในกระเพาะรูเมนด้วยวิธี <i>In situ</i>	20
21	องค์ประกอบทางเคมีของกระดิน	22
22	ส่วนประกอบทางเคมีของใบกระดินเทียบกับใบถั่วอัลฟาฟ่า	22
23	องค์ประกอบทางเคมีของกระดินเปรียบเทียบกับหญ้าพื้นเมือง	23
24	เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของวัตถุแห้งในพืชตระกูลชนิดต่าง ๆ โดยวิธี Two stages หรือ <i>In sacco</i>	24
25	การย่อยได้ของใบกระดิน และใบปอในกระเพาะรูเมน	25
26	สัดส่วนของอาหารหยาดต่ออาหารข้นที่มีผลต่อกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน- ของโค	37
27	สัดส่วนของอาหารหยาดต่ออาหารข้นที่มีผลต่อกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน- ของแกะ	38
28	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง	60
29	ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)	62
30	ค่าพารามิเตอร์การสลายตัวของวัตถุแห้ง	64
31	ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)	65
32	ค่าพารามิเตอร์การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ	66
33	ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของโปรตีนในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)	67
34	ค่าพารามิเตอร์การสลายตัวของโปรตีน	68
35	ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของ NDF ในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)	69
36	ค่าพารามิเตอร์การสลายตัวของเชื้อใย NDF	70
37	ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของ ADF ในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)	71
38	ค่าพารามิเตอร์การสลายตัวของเชื้อใย ADF	72
39	ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของ โภชนะของอาหารทดลองด้วยวิธีใช้สารบ่งชี้	73
40	ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน	77
41	ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวมในกระเพาะรูเมน	78
42	ปริมาณกรดอะซิติกในกระเพาะรูเมน	79

หน้า

43	ปริมาณกรดโปรปีโอนิกในกระเพาะรูเมน	80
44	ปริมาณกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมน	81
45	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมน	82
46	ปริมาณยูเรียในเลือด	83
47	จำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน	84
48	กลุ่มแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน	86

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดหวานที่ปลูกในประเทศไทยในปี 2540-49	6
2 เปอร์เซ็นต์ไขมันนมของกลุ่มทดลอง	25
3 การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมน	33
4 การหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน	35
5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่าง และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน	39
6 ค่าการสลายตัวของวัตถุแห้งของอาหารทดลอง	63
7 ค่าการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุของอาหารทดลอง	65
8 ค่าการสลายตัวของโปรตีนของอาหารทดลอง	67
9 ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของ NDF ในอาหารทดลอง	69
10 ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของ ADF ในอาหารทดลอง	71
11 ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของอาหารทดลอง	73
12 ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุของอาหารทดลอง	74
13 ค่าการย่อยได้ของโปรตีนของอาหารทดลอง	75
14 ค่าการย่อยได้ของเยื่อใย NDF ของอาหารทดลอง	75
15 ค่าการย่อยได้ของเยื่อใย ADF ของอาหารทดลอง	76
16 ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน	77
17 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวมในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร	78
18 ปริมาณกรดอะซิติกในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร	79
19 ปริมาณกรดโพรปิโอนิกในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร	80
20 ปริมาณกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร	81
21 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร	82

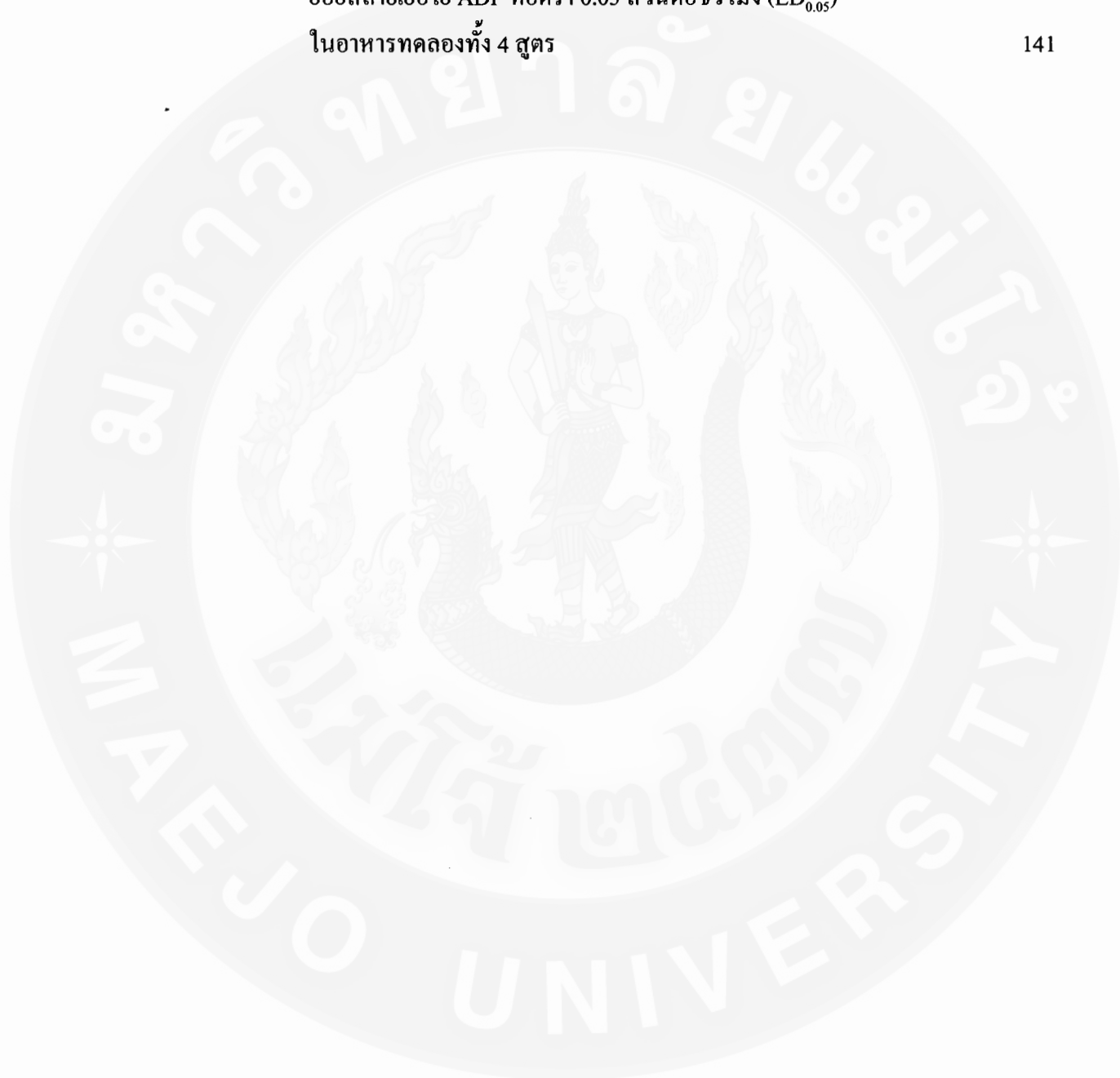
- 22 ปริมาณยูเรียในเลือดที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร 83
- 23 จำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร 85
- 24 จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร 86
- 25 จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร 87

28	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของ เชื้อย NDF ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 72	128
29	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของ เชื้อย NDF ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 96	129
30	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของ เชื้อย ADF ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 4	129
31	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของ เชื้อย ADF ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 8	129
32	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของ เชื้อย ADF ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 12	130
33	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของ เชื้อย ADF ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 24	130
34	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของ เชื้อย ADF ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 48	130
35	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของ เชื้อย ADF ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 72	131
36	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของ เชื้อย ADF ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 96	131
37	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของวัตถุแห้งที่ละลายได้ ทันที (A) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	131
38	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของวัตถุแห้งที่ไม่ละลายแต่ สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	132
39	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของศักยภาพในการย่อยสลาย วัตถุแห้ง (A+B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	132
40	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอัตราการย่อยสลาย วัตถุแห้ง (c) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	132
41	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการ ย่อยสลายวัตถุแห้งที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	133

42	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการ ย่อยสลายวัตถุแห้งที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	133
43	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอินทรีย์วัตถุที่ละลายได้ ทันที (A) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	133
44	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอินทรีย์วัตถุที่ไม่ละลายแต่ สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	134
45	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของศักยภาพในการย่อยสลาย อินทรีย์วัตถุ (A+B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	134
46	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอัตราการย่อยสลาย อินทรีย์วัตถุ (c) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	134
47	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการ ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	135
48	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการ ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	135
49	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของโปรตีนที่ละลายได้ ทันที (A) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	135
50	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของโปรตีนที่ไม่ละลายแต่ สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	136
51	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของศักยภาพในการย่อยสลาย โปรตีน (A+B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	136
52	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอัตราการย่อยสลาย โปรตีน (c) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	136
53	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการ ย่อยสลายโปรตีนที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	137

54	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการ ย่อยสลายโปรตีนที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	137
55	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเชื้อไข NDF ที่ละลายได้ ทันที (A) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	137
56	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเชื้อไข NDF ที่ไม่ละลายแต่ สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	138
57	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของศักยภาพในการย่อยสลาย เชื้อไข NDF (A+B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	138
58	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอัตราการย่อยสลาย	
59	เชื้อไข NDF (c) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	138
60	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการ ย่อยสลายเชื้อไข NDF ที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	139
61	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการ ย่อยสลายเชื้อไข NDF ที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	139
62	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเชื้อไข ADF ที่ละลายได้ ทันที (A) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	139
63	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเชื้อไข ADF ที่ไม่ละลายแต่ สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	140
64	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของศักยภาพในการย่อยสลาย เชื้อไข ADF (A+B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	140
65	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอัตราการย่อยสลาย เชื้อไข ADF (c) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	140
66	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการ ย่อยสลายเชื้อไข ADF ที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร	141

67 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการ
ย่อยสลายเชื้อใย ADF ที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$)
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร



อักษรย่อ

อักษรย่อ	ชื่อมาจาก	ความหมาย
ADF	Acid Detergent Fiber	เชื้อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด
AIA	Acid Insoluble Ash	เถ้าที่ไม่ละลายในกรด
ATP	Adenosine Triphosphate	สารพลังงานสูง อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต
BUN	Blood Urea Nitrogen	ยูเรียในเลือด
CF	Crude Fiber	เชื้อใยหยาบ
CFU/ml	Colony Forming Unit per milliliter	จำนวนแบคทีเรียต่อมิลลิลิตร
CP	Crude Protein	โปรตีนหยาบ
DM	Dry Matter	วัตถุแห้ง
GE	Gross Energy	พลังงานรวม
HPLC	High Performance Liquid Chromatography	เครื่องวัดของเหลวสมรรถนะสูง
Mcal/kgDM	Megacalory per kilogram Dry Matter	เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง
mg/dl	milligram per deciliter	มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร
mM/L	milliMol per liter	มิลลิโมลต่อลิตร
NDF	Neutral Detergent Fiber	เชื้อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง
NFE	Nitrogen Free Extract	คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายพวกแป้ง และน้ำตาล
NPN	Non Protein Nitrogen	สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน
OM	Organic Matter	อินทรีย์วัตถุ
VFA	Volatile Fatty Acid	กรดไขมันระเหยง่าย

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันเกษตรกรในประเทศไทยสนใจที่จะมาเลี้ยงโคเพิ่มมากขึ้น โดยหวังว่าอาชีพเลี้ยงโคจะสามารถทำรายได้มากกว่าการทำนา ทำไร่ แต่เมื่อเริ่มเลี้ยงโคกลับประสบปัญหามากมาย เช่น เกษตรกรไม่มีประสบการณ์ในการเลี้ยง และไม่มีความรู้ความชำนาญ โดยเฉพาะด้านการจัดการให้อาหาร ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะปัญหาการจัดการอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งเป็นช่วงที่ขาดแคลนอาหารหยาบสดที่ใช้เป็นอาหารหลักของโค เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่มีพื้นที่จำกัดไม่เพียงพอสำหรับการปลูกพืชอาหารสัตว์ไว้ใช้ในฟาร์ม ประกอบกับไม่มีการสำรองอาหารหยาบคุณภาพดีเพื่อใช้ในช่วงฤดูแล้ง จึงจำเป็นต้องใช้เศษเหลือ (Residue) หรือผลพลอยได้ (by-product) จากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมาใช้ในการเลี้ยงโค เช่น ฟางข้าว เปลือกสับปะรด เปลือกส้ม ขอดอ้อย ต้นข้าวโพด เศษข้าวโพดหวาน เป็นต้น เนื่องจากผลผลิตเหล่านี้จัดเป็นเศษเหลือที่มีราคาถูก มีปริมาณมากมาย และส่วนใหญ่มีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอที่จะใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้วัสดุเศษเหลือหรือผลพลอยได้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมเพื่อเป็นอาหารโค จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ โดยเฉพาะการนำมาเป็นอาหารโคในช่วงฤดูแล้ง

ในปัจจุบันแม้ว่าเกษตรกรจะมีการนำเศษเหลือเหล่านี้มาใช้เลี้ยงโค แต่ในบางฤดูกาล เช่น ในช่วงฤดูฝนซึ่งมีพืชอาหารสัตว์ตามธรรมชาติอุดมสมบูรณ์อยู่แล้ว เกษตรกรส่วนใหญ่จึงหันไปใช้หญ้าหรือพืชอาหารสัตว์ที่หาได้ง่ายเป็นอาหารโค ทางโรงงานจึงมีเศษเหลือมากกว่าที่เกษตรกรจะสามารถนำไปใช้ได้หมด ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในโรงงาน ดังนั้นหากมีการเอาเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เช่น เศษข้าวโพดหวานมาถนอมไว้ในรูปพืชหมัก ก็น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีให้แก่เกษตรกรในการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งได้ แต่เศษข้าวโพดหวานจากโรงงานเป็นเศษเหลือที่มีความชื้นสูง ทำให้มีค่าวัตถุแห้งค่อนข้างต่ำหากต้องการเก็บไว้ในรูปอาหารหมัก การเติมวัสดุที่ดูดซับความชื้นในพืชหมักจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในการทดลองครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณค่าทางอาหาร การย่อยได้ของโภชนา และลักษณะทางกายภาพของเศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมักร่วมกับไบโอกระถินในระดับต่างๆ เพื่อหาวิธีในการเก็บเศษเหลือจากข้าวโพดหวานไว้ใช้ในฤดูแล้ง และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือจากข้าวโพดหวานที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อเป็นข้อมูลในการส่งเสริมการใช้สำหรับแนะนำเกษตรกรต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเศษข้าวโพดหวานหมัก
2. ศึกษาการสลายตัวของโภชนาการในเศษข้าวโพดหวานหมักด้วยวิธีการทดลองโดยใช้ถุงไนลอน (Nylon bag technique)
3. ศึกษาการย่อยได้ของโภชนาการโดยวิธีใช้สารชี้บ่ง (Indirect method)
4. ศึกษาผลของเศษข้าวโพดหวานหมักต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตจากการหมักและจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบองค์ประกอบทางเคมีของเศษข้าวโพดหวานหมัก
2. ทราบอัตราการสลายตัวของโภชนาการในเศษข้าวโพดหวานหมักภายในกระเพาะรูเมน
3. ทราบปริมาณ โภชนาการที่ย่อยได้
4. ทราบผลของเศษข้าวโพดหวานหมักต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตจากการหมักและจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

ขอบเขตการวิจัย

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเศษข้าวโพดหวานหมักในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์
2. การศึกษาการย่อยได้ของโภชนาการในเศษข้าวโพดหวานหมัก ตามการทดลองในตัวสัตว์โดยใช้ถุงไนลอน และวิธีใช้สารชี้บ่ง
3. การศึกษาผลของเศษข้าวโพดหวานหมักต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตจากการหมักและจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ข้าวโพด

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2550) รายงานว่า ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตอันดับที่ 23 ของโลก โดยมีประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดในปี พ.ศ. 2547 สามารถผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้จำนวน 299.91 ล้านตัน โดยประเทศจีนผลิตได้เป็นอันดับที่สองของโลก สามารถผลิตได้ 130.43 ล้านตัน ในปีพ.ศ. 2549 แต่ละประเทศมีแนวโน้มในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลดลง ยกเว้นประเทศจีนและอินเดียที่มีแนวโน้มการผลิตเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณผลผลิตรวมที่มีแนวโน้มลดลงจากปีพ.ศ. 2547-2549 โดยลดลงจาก 726.04 ล้านตันเหลือ 694.95 ล้านตัน ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก

ประเทศ	ผลผลิต (ล้านตัน)		
	พ.ศ. 2547	พ.ศ. 2548	พ.ศ. 2549
สหรัฐอเมริกา	299.91	282.31	267.60
จีน	130.43	139.51	139.51
บราซิล	41.79	35.13	42.63
เม็กซิโก	21.67	18.01	21.77
อินเดีย	14.10	14.71	14.71
อาร์เจนตินา	14.95	20.48	14.45
ไทย ^{1/}	4.22	3.89	3.70
รวม	726.04	710.26	694.95

^{1/} ประเทศไทยอันดับที่ 23 ของโลก

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2550)

ชูศักดิ์ และทิวา (2547) กล่าวว่า ประเทศไทยเคยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดสูงสุด 13.38 ล้านไร่ และมีผลผลิตเฉลี่ย 412 กิโลกรัมต่อไร่ โดยปีพ.ศ. 2544 ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกผลิตข้าวโพดลดลง 6.37 และ ผลผลิตลดลง 4.75 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากสภาพความแห้งแล้งทำให้เกษตรกรหันไปปลูกพืชชนิดอื่นที่ทนความแห้งแล้งได้ดีกว่า เช่น อ้อย และมันสำปะหลัง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าพื้นที่การปลูกจะลดลงแต่ผลผลิตต่อไร่กลับมีแนวโน้มสูงขึ้นจาก 575 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 583 กิโลกรัมต่อไร่ และในปีพ.ศ. 2545 พบว่า มีเนื้อที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีประมาณ 7.36 ล้านไร่ และมีผลผลิตเฉลี่ย 583 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นผลผลิตรวม 4.21 ล้านตัน สอดคล้องกับรายงานของ กรมส่งเสริมวิชาการเกษตร (2550) พบว่า ระหว่างปี พ.ศ. 2544-2549 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูก และผลผลิตข้าวโพดลดลง แต่มีผลผลิตต่อไร่สูงขึ้นโดยในปี พ.ศ. 2549 มีผลผลิตต่อไร่สูงถึง 658 กิโลกรัม/ไร่ (ตาราง 2) นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนก็มีของเนื้อที่เพาะปลูกและผลผลิตลดลงเช่นกัน (ในปีพ.ศ. 2544-2549) แต่กลับมีปริมาณผลผลิตต่อไร่เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ข้าวโพดพันธุ์ดีและมีการจัดการระบบการเกษตรที่ดีขึ้นจึงทำให้มีผลผลิตต่อไร่ที่สูงขึ้น ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 2 เนื้อที่ปลูก ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย
ปี พ.ศ. 2544-2549

ปีพ.ศ.	เนื้อที่เพาะปลูก (ล้านไร่)	ผลผลิต (ล้านตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่)
2544	7.67	4.47	598
2545	7.32	4.23	590
2546	6.94	4.18	617
2547	7.04	4.22	619
2548	6.61	3.89	602
2549	6.08	3.70	658

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2550)

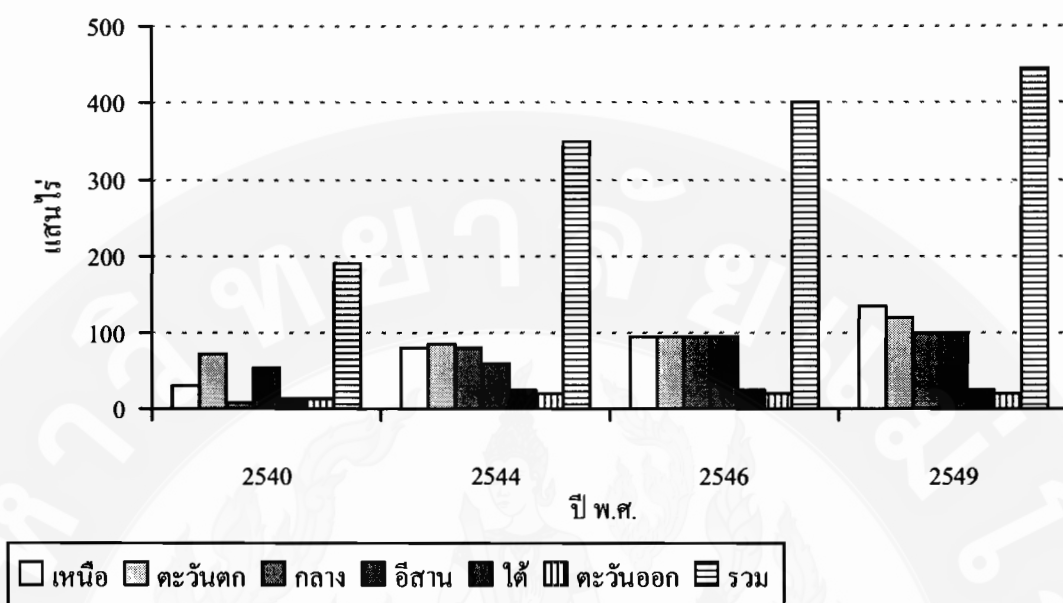
ตาราง 3 เนื้อที่ปลูก ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อนในประเทศไทย

ปี พ.ศ. 2544-2549

ปีพ.ศ.	เนื้อที่เพาะปลูก (แสนไร่)	ผลผลิต (แสนตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่)
2544	232	284	1,304
2545	234	255	1,133
2546	218	249	1,152
2547	245	305	1,275
2548	218	248	1,153
2549	182	222	1,333

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2550)

ข้าวโพดหวานปลูกกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ และมหาสารคาม ด้านพื้นที่ทางตะวันตกของประเทศไทยที่ปลูกข้าวโพดหวานมาก ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม เพชรบุรี สมุทรสาคร ข้าวโพดหวานมีอายุเก็บเกี่ยวสั้น เก็บฝักสดเมื่ออายุ 65–80 วัน (ขึ้นอยู่กับพันธุ์) ปลูกได้ดีในช่วงฤดูฝน และสามารถปลูกได้ตลอดปีถ้ามีแหล่งน้ำ และดินอุดมสมบูรณ์ดี ข้าวโพดหวานส่วนใหญ่จะเก็บเกี่ยวฝักสดเพื่อนำไปแปรรูปเป็นข้าวโพดหวานกระป๋อง เช่น ซุปข้าวโพด และเมล็ดข้าวโพดในน้ำเกลือ ส่วนคันที่เหลืออยู่หลังจากเก็บเกี่ยวฝักแล้วยังคงมีใบและลำต้นเป็นสีเขียวอยู่มาก ส่วนของฝักที่นำไปแปรรูปก็จะมีเศษเหลือพวกเปลือก ฝัก ไหม และซังเป็นจำนวนมาก เศษวัสดุเหลือใช้ของข้าวโพดหวานเหล่านี้ สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ (วลัยกานต์, 2542) จากรายงานของวีระศักดิ์ (2550) พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดหวานในปีพ.ศ. 2540 ทั้งหมด 191,000 ไร่ กระจายไปตามภาคต่างๆ โดยในปี พ.ศ. 2544, 2546 และ 2549 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดหวานเพิ่มมากขึ้นเป็น 350,000, 400,000 และ 445,000 ไร่ ตามลำดับ ซึ่งในระยะเวลาที่ผ่านมาผลผลิตข้าวโพดหวานในภาคเหนือเพิ่มขึ้นกว่า 2 เท่าตัวทุกปี ทำให้ในปัจจุบันแหล่งปลูกข้าวโพดหวานที่สำคัญของไทยอยู่ที่ภาคเหนือ ดังแสดงในภาพ 1 เนื่องจากการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้พันธุ์ดี และมีการจัดการระบบการเกษตรกรรมที่ดีขึ้น จึงทำให้เกษตรกรหันมาปลูกข้าวโพดหวานมากขึ้น (นิรนาม, 2549)



ภาพ 1 พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดหวานที่ปลูกในประเทศไทยในปี 2540-49
ที่มา: ดัดแปลงจาก วีระศักดิ์ (2550)

ประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดหวาน ในรูปข้าวโพดหวานแช่แข็ง และ ข้าวโพดหวานกระป๋อง ในปี พ.ศ.2539 มีการส่งออกประมาณ 36,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 840 ล้านบาท และเพิ่มขึ้นเป็น 82,000 ตัน มูลค่า 2,100 ล้านบาท ในปี พ.ศ.2540 (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2539) และจากรายงานของกรมวิชาการเกษตร (2545) พบว่า ในปี พ.ศ. 2541-2543 ประเทศไทยมี ปริมาณการส่งออกข้าวโพดหวานสดหรือทำให้สุกแช่แข็งเพิ่มขึ้น แต่ในปี พ.ศ. 2542-2544 พบว่า มูลค่าการส่งออกข้าวโพดหวานสดหรือทำให้สุกแช่แข็งลดลง เนื่องจากข้าวโพดมีราคาตกลง เป็น ผลทำให้ในปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณการส่งออกจำหน่ายต่างประเทศข้าวโพดหวานสดหรือทำให้สุก แช่แข็งลดลงตามไปด้วย ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกจำหน่ายต่างประเทศข้าวโพดหวานสดปี พ.ศ. 2541-2544

ปีพ.ศ.	ปริมาณ (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)
2541	599,491	24,347,203
2542	1,416,392	62,895,703
2543	1,756,345	56,443,682
2544	1,205,106	47,963,589

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2545)

ปัจจุบันประเทศที่ผลิตข้าวโพดหวานรายใหญ่ของโลกได้แก่ สหรัฐอเมริกา รองลงมาคือ ฝรั่งเศส อังกฤษ เบลเยียม แคนาดา เยอรมนี อิตาลี ไทย และจีน ตามลำดับ ส่วนประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวานมากที่สุดได้แก่ ประเทศอังกฤษ สหรัฐอเมริกา และประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548 ประเทศไทยส่งออกข้าวโพดหวานในรูปของฝักสด แช่เย็น และแช่แข็งประมาณ 168 ล้านบาท โดยมีประเทศคู่ค้าสำคัญได้แก่ ญี่ปุ่น ไต้หวัน และสหรัฐอเมริกา ส่วนการส่งออกข้าวโพดหวานในรูปของผลิตภัณฑ์แปรรูปมีมูลค่าประมาณ 3,015 ล้านบาท โดยมีประเทศคู่ค้าสำคัญได้แก่ สหราชอาณาจักร เนเธอร์แลนด์ รัสเซีย เยอรมนี เกาหลีใต้ ญี่ปุ่น และไต้หวัน (วรรณภา, 2549)

วีระศักดิ์ (2550) กล่าวว่า ในปีพ.ศ. 2548 ประเทศไทยได้ติดอันดับที่ 3 ของโลกในฐานะผู้ส่งออกข้าวโพดหวาน ทำให้มีเงินตราเข้าสู่ประเทศมากกว่า 3,000 ล้านบาท ดังตาราง 5 จากการส่งออกที่เพิ่มขึ้นนี้จึงต้องมีการผลิตข้าวโพดหวานเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้พอเพียงต่อการนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีผลทำให้มีเศษวัสดุเหลือจากข้าวโพด เช่น ต้น เปลือก ฝัก โหมด และขังเหลืออยู่มาก ซึ่งเศษวัสดุเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปเป็นอาหารสัตว์ได้

ตาราง 5 มูลค่าการส่งออกข้าวโพดหวานของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2548

รายการ	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
ข้าวโพดหวานแช่แข็ง	5,798	168
ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง	103,975	3,031
รวม	107,964	3,199

ที่มา: คัดแปลงจาก วีระศักดิ์ (2550)

คุณค่าทางอาหารของเปลือกและขังข้าวโพด

บุญล้อม และทิพย์วรรณ (2531) กล่าวว่า เปลือกและต้นข้าวโพดฝักอ่อนสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ทั้งในรูปสดและหมัก เปลือกและต้นข้าวโพดมีความชื้นสูงมาก (86 เปอร์เซ็นต์) ในการหมักจึงควรเสริมวัสดุคุณค่าขึ้นเพื่อให้พืชหมักมีคุณภาพดีขึ้น และสัตว์สามารถกินปริมาณวัตถุแห้งได้สูงขึ้น และมีการย่อยได้ของโภชนะที่ดีขึ้น สอดคล้องกับธนากร (2549) รายงานว่า ต้นข้าวโพดหวานจะมีคุณภาพที่ด้อยกว่าต้นข้าวโพดฝักอ่อน เพราะมีอายุการเก็บเกี่ยวยาวนานกว่า แต่สามารถนำต้นมาใช้เป็นอาหารหยาบทดแทนหญ้าสดสำหรับโคนม-โคนมได้ และหากต้องการเก็บถนอมต้นข้าวโพดไว้ใช้ยามขาดแคลน สามารถนำไปหมัก โดยอาจเติมรำละเอียด หรือเมล็ดข้าวโพด เพื่อช่วยให้ต้นข้าวโพดหมักมีคุณภาพดีขึ้นได้ ในการผลิตข้าวโพดของเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเพื่อเก็บเมล็ดหรือฝัก มีผลพลอยได้ที่สามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์ได้ เช่น ต้นข้าวโพด ไหม เปลือก และยอดข้าวโพด จากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของผลพลอยได้ส่วนต่างๆ จะเห็นได้ว่ามีคุณค่าทางอาหารเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ (สายัณห์, 2540) ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้จากข้าวโพดฝักอ่อน

ส่วนของข้าวโพด	เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง				
	โปรตีน	เยื่อใย	คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้	ADF	NDF
ต้นข้าวโพด	9.9	23.3	59.5	53.2	52.6
ไหม	18.6	10.2	62.9	23.1	41.2
เปลือก	10.8	24.6	59.6	20.8	52.5
ยอดข้าวโพด	16.2	26.6	47.9	37.2	68.4

ที่มา: คัดแปลงจาก สายัณห์ (2540)

วลัยกานต์ (2542) รายงานสอดคล้องกันว่าต้นข้าวโพดหวานมีคุณภาพด้อยกว่าต้นข้าวโพดฝักอ่อน เนื่องจากมีอายุการเก็บเกี่ยวยาวนานกว่า โดยทั่วไปต้นข้าวโพดหวานมีคุณค่าทางอาหารอยู่ในช่วงปานกลาง-ต่ำ มีค่าเฉลี่ยโปรตีนระหว่าง 6.5–9.1% และเยื่อใยหยาบ 30.5–36% มีแร่ธาตุแคลเซียม และฟอสฟอรัสอยู่ในเกณฑ์ปกติ คือ 0.4 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของเปลือกฝักจะมีโปรตีน 6.5–7.5% ธาตุแคลเซียมมีแนวโน้มค่อนข้างต่ำ คือ 0.09–0.4% คุณค่าทางอาหารของต้น

ข้าวโพดหวานจึงอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ เศษเหลือพวกยอดและช่อดอกตัวผู้ของข้าวโพดหวานที่ต้องตัดออกก่อนช่อดอกจะบาน หรือ 7–10 วัน ก่อนเก็บเกี่ยวฝัก เพื่อเร่งให้ฝักโตเร็วขึ้น และลดการแย่งอาหาร ส่วนนี้มีคุณค่าทางอาหารสูง คือ มีโปรตีนประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใยหยาบประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชังข้าวโพดที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตชุปข้าวโพดซึ่งมีส่วนของเมล็ดติดหลงเหลืออยู่ มีโปรตีนประมาณ 7–8 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยหยาบ 23.5 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมต่ำ 0.04–0.11 เปอร์เซ็นต์ ก็สามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ได้ (ตาราง 7)

ตาราง 7 ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเหลือจากการผลิตข้าวโพดหวาน (เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง)

	ต้น	เปลือกฝัก	ยอดและช่อดอกตัวผู้	ชัง
วัตถุดิบแห้ง	22.8	28.0	-	27.5
โปรตีน	6.5-9.1	6.53	11.3	7.1-8.01
ไขมัน	30.5-36.2	1.01	1.63	2.2-2.24
เยื่อใยหยาบ	1.0-3.2	36.25	21.5	23.57
Nitrogen free extract	47.6	-	5.5	-
เถ้า	9.7	-	-	-
NDF	68.2-69.3	68.19	-	69.3-71.8
ADF	68.2-69.3	48.13	-	28.20-3.6
ลิกนิน	5.3	-	-	5.6
แคลเซียม	0.4	0.4	-	-
ฟอสฟอรัส	0.3	0.33	-	0.3-0.33

ที่มา: คัดแปลงจาก วลัยกานต์ (2542)

จากการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดหวานกับเปลือกไหมข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า เปลือกข้าวโพดหวานมีค่าเฉลี่ยวัตถุดิบแห้ง (DM) เยื่อใย NDF และ ADF สูงกว่า แต่มีโปรตีนต่ำกว่า โดยเฉพาะเปลือกไหมของข้าวโพดฝักอ่อนพบว่ามีค่าเฉลี่ยวัตถุดิบแห้ง เยื่อใย NDF เยื่อใย ADF และมีโปรตีนเท่ากับ 13.6, 55.1, 26.8 และ 10.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะข้าวโพดฝักอ่อนมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นกว่าจึงมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่า นอกจากนี้จินดา และคณะ (2541) ได้กล่าวว่า ชังข้าวโพดหวานมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าเปลือกข้าวโพดหวาน เนื่องจากชังข้าวโพดหวานมีเมล็ดบางส่วนติดมาด้วย จึงทำให้มีองค์ประกอบส่วน โปรตีนและไขมันสูงกว่า

ส่วนเปลือกปนขังข้าวโพดหวานพบว่า มีค่าขององค์ประกอบทางเคมีอยู่ระหว่างเปลือกข้าวโพดหวานและขังข้าวโพดหวาน (จินดา, 2539)

สตางค์ (2543) รายงานจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเศษข้าวโพดหวานที่ได้จากโรงงานอาหารกระป๋อง พบว่าเศษเหลือจากข้าวโพดหวานที่ได้จากโรงงานประกอบด้วยส่วนของเปลือกและขัง ลักษณะของเศษเหลือดังกล่าวมีความฉ่ำน้ำมากเนื่องจากในการผลิตต้องนำฝักข้าวโพดหวานมาแช่น้ำอุ่นก่อนเพื่อให้เปลือกและไหมละลายตัวเพื่อให้การแยกส่วนเปลือกและไหมออกจากฝักทำได้ง่ายขึ้น ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าเปลือกปนขังข้าวโพดหวาน มีค่าเฉลี่ยโปรตีนสูงกว่าเปลือก และขังข้าวโพดหวาน ค่าเฉลี่ยโปรตีนมีค่าเท่ากับ 6.86, 5.41 และ 6.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 8 อย่างไรก็ตามเศษข้าวโพดหวานที่ได้จากโรงงานมีความชื้นสูงมาก (ประมาณ 79-82 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากมีการใช้น้ำระหว่างขั้นตอนการผลิต จึงไม่เหมาะที่จะทำให้เกิดการหมักที่ดีได้ ฉะนั้นการนำมาหมักจึงจำเป็นต้องหากรรมวิธีต่างๆ มาช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพเช่น การปรับวัตถุแห้งให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมคือประมาณ 25-35 เปอร์เซ็นต์ (บุญเสริม, 2539) หรือการใช้สารเสริม (Silage additive) ปรับแต่งฟิซก่อนทำการหมักเพื่อให้ได้ฟิซหมักคุณภาพดี

ตาราง 8 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดหวาน ขังข้าวโพดหวาน และเปลือกปนขังข้าวโพดหวาน (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)

วัตถุดิบ	เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง						
	DM	OM	CP	EE	NDF	ADF	NFC
เปลือกข้าวโพดหวาน	17.79	96.13	5.41	1.51	77.48	38.73	11.73
ขังข้าวโพดหวาน	24.24	97.52	6.11	4.44	68.50	33.48	18.47
เปลือกปนขังข้าวโพดหวาน	19.75	96.03	6.86	3.21	70.89	35.61	15.07

ที่มา: คัดแปลงจาก สตางค์ (2543)

Lopez-Guisa *et al.* (1991) ศึกษาคุณค่าทางอาหารของเศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมัก โดยเปรียบเทียบระหว่างเศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมัก และเศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมักร่วมกับแอมโมเนีย 23 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมักร่วมกับแอมโมเนียมีโปรตีนสูงกว่าเศษข้าวโพดหมัก และมีค่า pH สูงกว่าเท่ากับ 8.3 ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 องค์ประกอบทางเคมีของเศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมัก และเศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมักร่วมกับแอมโมเนีย 23 เปอร์เซ็นต์

	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง				pH
	วัตถุแห้ง	โปรตีน	NDF	ADF	Lignin	
เศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมัก	27.1	5.0	76.6	51.8	10.4	4.5
เศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมักร่วมกับแอมโมเนีย 23 เปอร์เซ็นต์	28.6	12.2	75.9	51.4	9.4	8.3

ที่มา: คัดแปลงจาก Lopez-Guisa *et al.* (1991)

Mustafa *et al.* (2004) กล่าวว่า เศษข้าวโพดหวานหมักมีค่า pH ที่ค่อนข้างต่ำ และมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายต่ำ แต่มีความเข้มข้นของกรดแลกติกค่อนข้างสูง ดังนั้นเศษข้าวโพดหวานหมักจึงมีคุณค่าทางอาหารปานกลาง แต่มีปริมาณแป้งน้อยกว่าเศษข้าวโพดหวานที่ยังไม่ได้หมักเนื่องจากจุลินทรีย์เปลี่ยนแป้งเป็นกรดแลกติก นอกจากนี้การหมักยังช่วยให้พืชหมักมีโปรตีนสูงขึ้นได้ ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 องค์ประกอบทางเคมีของเศษเหลือของข้าวโพดหวานจากโรงงานอาหารกระป๋อง

	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง			
	วัตถุแห้ง	โปรตีน	NDF	ADF	แป้ง
เศษเหลือของข้าวโพดหวาน	24.3	5.7	30.1	8.6	10.8
เศษเหลือของข้าวโพดหวานหมัก	23.9	5.8	28.3	9.6	5.5

ที่มา: คัดแปลงจาก Mustafa *et al.* (2004)

Baxter *et al.* (1980) ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมัก และข้าวสาลีหมัก พบว่าข้าวโพดหมักมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งสูง (34.1 เปอร์เซ็นต์) ดังตาราง 11 ในขณะที่ข้าวสาลีหมักมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์โปรตีนและเยื่อใย ADF สูงที่สุด (10.3 และ 42.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ)

ตาราง 11 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมักและข้าวสาลีหมัก

	เปอร์เซ็นต์ วัตถุแห้ง	% วัตถุแห้ง	
		โปรตีน	เยื่อใย ADF
ข้าวโพดหมัก	34.1	9.3	30.5
ข้าวสาลีหมัก	25.1	10.3	42.5

ที่มา: คัดแปลงจาก Baxter *et al.* (1980)

การใช้ต้นข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์

Baxter *et al.* (1980) พบว่า โคทดลองที่กินข้าวโพดหมักมีค่าการกินได้เท่ากับ 1.97 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว และมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และเยื่อใย ADF สูงกว่าโคที่กินข้าวโพดหมักเสริมข้าวสาลีหมัก ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 71.0, 62.7 และ 64.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ด้านปริมาณผลผลิตน้ำนมพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ตามลำดับดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 ค่าการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะ และปริมาณผลผลิตน้ำนม

	ข้าวโพดหมัก	ข้าวโพดหมักเสริม ข้าวสาลีหมัก
การกินได้ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว)	1.97	1.24
การย่อยได้ของ โภชนะ (เปอร์เซ็นต์)		
วัตถุแห้ง	71.0	59.5
โปรตีน	62.7	54.7
เยื่อใย ADF	64.4	54.7
ปริมาณผลผลิตน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	13.9	13.5

ที่มา: คัดแปลงจาก Baxter *et al.* (1980)

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในการผลิตของโคนมที่ได้รับอัลฟาฟ่าหมัก และการเสริม ข้าวโพดหมักลงในอัลฟาฟ่าหมักในอัตราส่วนต่างๆ กัน พบว่าการเสริมข้าวโพดหมักลงในอัลฟาฟ่าหมักในอัตรา 1:3 ส่วน มีผลทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิต ปริมาณ น้ำนม และเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมสูงที่สุด นอกจากนี้ยังมีผลลดปริมาณโซมาติกเซลล์ (Somatic cell) ในน้ำนมลงอีกด้วย (Dhiman and Satter, 1997) ดังแสดงในตาราง 13

ตาราง 13 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิต ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม

	อัลฟาฟ่าหมัก	อัลฟาฟ่าหมัก + ข้าวโพดหมัก 1:3	อัลฟาฟ่าหมัก + ข้าวโพดหมัก 2 :3
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	31.1	32.4	31.4
ไขมันนม (เปอร์เซ็นต์)	3.53	3.67	3.65
โปรตีนนม (เปอร์เซ็นต์)	3.08	3.15	3.19
Somatic cell count (1,000/ml)	204	180	197

ที่มา: คัดแปลงจาก Dhiman and Satter (1997)

เมื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าการย่อยได้ของส่วนประกอบของต้นข้าวโพด จากรายงานของ Lopez-Guisa and Satter (1991) พบว่า ในช่วงเวลาที่ 18-30 ไร่ข้าวโพดมีการย่อยได้ของวัตถุดิบสูงเกินกว่าต้นข้าวโพด (ตาราง 14) เนื่องจากใบข้าวโพดมีโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายมากกว่า ประกอบกับต้นข้าวโพดมีขนาดใหญ่จึงทำให้ย่อยได้ช้ากว่าใบข้าวโพด แต่ในช่วงแรกใบข้าวโพดจะมีการย่อยได้ต่ำกว่า เนื่องจากใบมีสารเคลือบใบอยู่ ในขณะที่ช่วงข้าวโพดหมักมีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบสูงเกินกว่าช่วงข้าวโพดธรรมดา ซึ่งเป็นผลมาจากการหมัก

ตาราง 14 ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของเศษเหลือจากข้าวโพด (เปอร์เซ็นต์)

ชั่วโมงที่	ซังข้าวโพด	ซังข้าวโพดหมัก	ใบข้าวโพด	ต้นข้าวโพด
1	11.3	19.0	11.9	34.0
6	17.1	22.1	17.0	37.9
12	29.6	32.5	31.8	42.7
18	38.3	41.0	47.9	45.7
24	48.5	44.3	50.2	46.6
30	52.1	48.9	53.6	51.8

ที่มา: ดัดแปลงจาก Lopez-Guisa and Satter (1991)

สอดคล้องกับรายงานของ Thomas *et al.* (2001) ซึ่งศึกษาค่าการสลายตัวของโกชนะในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดหมักสายพันธุ์ N29-F1 และ NX3018 ได้แก่ ซังข้าวโพดหมัก เปลือกข้าวโพดหมัก ใบข้าวโพดหมัก และต้นข้าวโพดหมักโดยวิธีการทดลองในห้องปฏิบัติการ (*In vitro*) ด้วยเครื่อง ANKOM DAISY[®] พบว่า ใบข้าวโพดทั้ง 2 สายพันธุ์มีค่าการสลายตัวของวัตถุแห้ง (IVTDMD) และการสลายตัวของเยื่อใย NDF (IVNDFD) สูงที่สุดเท่ากับ 71.6, 77.4 และ 54.5, 64.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 15) ทั้งนี้เนื่องจากใบข้าวโพดมีปริมาณเยื่อใยที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายมากกว่าซัง เปลือก และต้นข้าวโพด โดยค่าการสลายตัวของโกชนะในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดทั้ง 2 สายพันธุ์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

ตาราง 15 ค่าการสลายตัวของเศษเหลือจากข้าวโพดสายพันธุ์ N29-F1 และ NX3018 วิธีการทดลองในห้องปฏิบัติการ (*In vitro*) ด้วยเครื่อง ANKOM DAISY^{II}

วัตถุดิบ	เปอร์เซ็นต์การย่อยได้	N29-F1	NX3018
ซังข้าวโพดหมัก	IVTDMD	45.3	62.7
	IVNDFD	37.4	55.8
เปลือกข้าวโพดหมัก	IVTDMD	59.5	71.0
	IVNDFD	50.4	62.2
ใบข้าวโพดหมัก	IVTDMD	71.6	77.4
	IVNDFD	54.5	64.5
ต้นข้าวโพดหมัก	IVTDMD	42.7	53.4
	IVNDFD	29.5	39.2

IVTDMD คือ ค่าการสลายตัวของวัตถุแห้ง IVNDFD คือ ค่าการสลายตัวของเยื่อใย NDF

ที่มา: คัดแปลงจาก Thomas *et al.* (2001)

Oljen and Boilsen (1980) รายงานเปรียบเทียบการใช้พืชหมัก 3 ชนิดคือ ต้นข้าวโพด ต้นข้าวสาลี และต้นข้าวบาร์เลย์ โดยนำมาเลี้ยงโคเนื้อร่วมกับการให้อาหารข้นที่มีกากถั่วเหลืองหรือข้าวฟ่าง และยูเรียเป็นหลัก โดยให้โคได้รับอาหารข้น 14 เปอร์เซ็นต์ ผลปรากฏว่าโคเนื้อที่ได้รับข้าวโพดหมักมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า และกินอาหารคิดเป็นวัตถุดิบได้มากกว่าพวกที่ได้รับข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์หมัก

การใช้ซังข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์

Emery *et al.* (1964) รายงานว่า ซังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบที่ดีเนื่องจากเมื่อสัตว์กินแล้วมีค่าการกินได้ ปริมาณน้ำนม ไขมันนม น้ำตาลแลคโตส และโปรตีนในนมสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรให้กินหญ้าแห้ง โดยมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยจึงสามารถนำมาใช้ทดแทนได้ ซึ่งจะไม่ส่งผลเสียต่อปริมาณการให้ผลผลิตของโค โดยมีค่าการกินได้และปริมาณน้ำนมเท่ากับ 7.8 และ 41.9 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ และมีปริมาณไขมันนม น้ำตาลแลคโตส และโปรตีนในนมเท่ากับ 2.40, 4.89 และ 3.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 16

ตาราง 16 ค่าการกินได้ ปริมาณน้ำนม ไขมันนม น้ำตาลแลคโตส และ โปรตีนในน้ำนมในโคที่
กินหญ้าแห้งและซังข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารหยาบ

	หญ้าแห้ง	ซังข้าวโพด
ค่าการกินได้ (กิโลกรัม/วัน)	8.1	7.8
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	43.3	41.9
ไขมันนม (เปอร์เซ็นต์)	2.28	2.40
น้ำตาลแลคโตส (เปอร์เซ็นต์)	4.95	4.89
โปรตีนนม (เปอร์เซ็นต์%)	3.83	3.85

ที่มา: คัดแปลงจาก Emery *et al.* (1964)

จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ถั่วอัลฟาฟ่า ซังข้าวโพด และฟางข้าวสาลีเป็นแหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารผสมเสร็จของโคนมจากรายงานของ Depies and Armentano (1995) พบว่าปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตาราง 17 นอกจากนี้ยังพบว่า ถั่วอัลฟาฟ่ามีผลทำให้เกิดกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะรูเมนสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น รองลงมาคือ ซังข้าวโพด ดังนั้นจึงสามารถนำซังข้าวโพดมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ได้เนื่องจากซังข้าวโพดมีราคาต่ำกว่าถั่วอัลฟาฟ่า ซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้

ตาราง 17 ผลของแหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารผสมเสร็จต่อผลผลิตน้ำนม และปริมาณกรดไขมัน
ระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน

	อาหาร เปรียบเทียบ	อัลฟาฟ่า	ซังข้าวโพด	ฟางข้าวสาลี
ปริมาณน้ำนม, กิโลกรัม/วัน	31.0	30.2	30.3	30.3
ไขมันนม				
กิโลกรัม/วัน	0.95	1.03	1.01	1.02
เปอร์เซ็นต์	3.11	3.49	3.37	3.40
โปรตีนนม				
กิโลกรัม/วัน	0.99	0.95	0.99	0.99
เปอร์เซ็นต์	3.27	3.21	3.31	3.30
กรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะรูเมน				
โมล/100 โมล				
กรดอะซิติก	62.5	66.5	67.5	65.9
กรดโปรปิโอนิก	23.0	19.4	19.6	20.6
กรดบิวทีริก	9.9	9.4	8.8	9.2

ที่มา: คัดแปลงจาก Depies and Armentano (1995)

Soper *et al.* (1976) กล่าวว่า สามารถนำเอาซังข้าวโพดมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงโคทดแทนการใช้ข้าวโพดหมักได้ เนื่องจากมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบแห้ง เยื่อใย ADF เยื่อใย NDF เซลลูโลส และโปรตีน เท่ากับ 56.6, 40.4, 40.5, 44.2 และ 63.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 18) ซึ่งจะเห็นได้ว่าซังข้าวโพดมีค่าการย่อยได้ไม่แตกต่างจากข้าวโพดหมักมากนัก ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงโคได้ ทั้งยังสามารถช่วยลดต้นทุนทางด้านอาหารลงอีกด้วย

ตาราง 18 ค่าการย่อยได้ของโภชนะในโคที่ได้รับข้าวโพดหมัก และชังข้าวโพดเป็นอาหาร

	ค่าการย่อยได้ของโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)				
	วัตถุแห้ง	เชื้อใย ADF	เชื้อใย NDF	เซลลูโลส	โปรตีน
ข้าวโพดหมัก	69.7	38.1	44.5	41.3	65.3
ชังข้าวโพด	56.6	40.4	40.5	44.2	63.2

ที่มา: คัดแปลงจาก Soper *et al.* (1976)

จากรายงานผลการใช้ชังข้าวโพดเลี้ยงโคของพรศรี และทิพยา (2531) โดยใช้ชังข้าวโพดหมักร่วมกับยูเรียและกากน้ำตาล หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์และกากน้ำตาล เพื่อปรับปรุงคุณภาพของชังข้าวโพดให้ดีขึ้น พบว่า ชังข้าวโพดหมักกับยูเรียหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าการย่อยได้ และค่าการสลายตัวของวัตถุแห้งสูงกว่าชังข้าวโพดที่ไม่มีการหมัก นอกจากนี้ต้นข้าวโพดหวานก็สามารถใช้เป็นอาหารหยาบทดแทนหญ้าสดสำหรับโคเนื้อ-โคนมได้ ส่วนชังข้าวโพดหวานที่เหลือทิ้งจากการนำไปทำชุปข้าวโพดกระป๋อง สามารถนำมาใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับโครีดนมในช่วงฤดูแล้งได้เช่นกัน

การใช้ชังข้าวโพดหวานเป็นแหล่งอาหารหยาบเลี้ยงโคนมให้ผลไม่แตกต่างกันในแง่ผลผลิตน้ำนมเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หญ้าสดผสมเปลือกข้าวโพดหวาน (1:1) เป็นแหล่งอาหารหยาบเลี้ยงโคนม ซึ่งสรุปได้ว่าสามารถใช้ชังข้าวโพดหวานเป็นแหล่งอาหารหยาบเลี้ยงแม่โครีดนมในช่วงฤดูแล้งได้ โดยมีต้นทุนค่าอาหารในการผลิตน้ำนมต่ำกว่าการใช้หญ้าสดผสมกับเปลือกข้าวโพดหวาน (จินดาและคณะ, 2541) สอดคล้องกับรายงานของวลัยกานต์ (2542) ที่กล่าวว่า ชังข้าวโพดหวานจากโรงงานมีความชื้นสูง และเกิดเชื้อราได้ง่าย ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์ การนำไปใช้เลี้ยงสัตว์จึงควรใช้ชังข้าวโพดหวานที่สดและใหม่ ในกรณีต้องการเก็บถนอมชังข้าวโพดหวานไว้ สำหรับใช้ในยามขาดแคลนอาหารหยาบ สามารถนำไปหมักได้เช่นเดียวกับการทำหญ้าหมัก และอาจเติมรำละเอียด หรือเมล็ดข้าวโพดบด ในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักชังข้าวโพดสด ซึ่งจะช่วยให้ชังข้าวโพดหมักมีคุณค่าดีขึ้น นอกจากนี้ Jaster *et al.* (1983) ยังได้ทำการทดลองนำเศษเหลือของข้าวโพดหวานจากโรงงานอุตสาหกรรมทำเป็นฟืนหมัก ทดลองเลี้ยงกับโคสาวเปรียบเทียบกับเลี้ยงด้วยข้าวโพดหมัก พบว่า ข้าวโพดหมักมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า (69.7 เทียบกับ 59.1 เปอร์เซ็นต์) ทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า (790 เทียบกับ 280 กรัม/วัน) และมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีกว่าด้วย และเมื่อให้โคได้รับเศษเหลือของข้าวโพดหวานหมักกับข้าวโพดหมักอย่างละครึ่ง มีผลทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงขึ้น (68.1

เปอร์เซ็นต์) เศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมักในการศึกษานี้มีค่า pH เท่ากับ 3.9 และโคทดลองกินอาหารดังกล่าวได้ 1.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว

สายขิม และนวนลณี (2532) ได้ทำการทดลองเสริมใบกระถินลงในดินและเศษเหลือของข้าวโพดฝักอ่อนหมัก โดยเสริมในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ 20 เปอร์เซ็นต์ และ 20 เปอร์เซ็นต์ผสมมันเส้น 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การเสริมใบกระถินลงในสูตรอาหารมีผลช่วยเพิ่มค่าพลังงานให้สูงขึ้นซึ่งเป็นผลดีสำหรับแม่โครีดนม เนื่องจากโครีดนมต้องการอาหารที่มีโปรตีนและพลังงานสูง นอกจากนี้การย่อยได้ของวัตถุดิบของดิน และเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อนที่ผ่านกระบวนการหมักมาแล้วก็มีค่าสูงขึ้นอีกด้วย ซึ่งก็เป็นผลดีต่อสัตว์ในการนำไปใช้ประโยชน์ แม้ว่าการผสมใบกระถินลงในพืชหมักจะไม่ทำให้การย่อยได้สูงขึ้นอย่างเด่นชัดขึ้น อาจเป็นเพราะใบกระถินมีปริมาณลิกนินสูง (ตาราง 19) ซึ่งสัตว์ไม่สามารถย่อยได้

ตาราง 19 ค่าพลังงาน และค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในดิน และเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อนที่หมักร่วมกับกระถิน

ชนิดของพืชหมัก	พลังงาน (Kcal/g)	% การย่อยได้ ของวัตถุดิบ	
		ก่อน หมัก	หลัง หมัก
ดินและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อน	4.10	55.67	63.05
ดินและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อนที่หมักร่วมกับกระถิน 10 %	4.23	58.60	64.47
ดินและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อนที่หมักร่วมกับกระถิน 20 %	4.43	59.28	65.32
ดินและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อนที่หมักร่วมกับกระถิน 20 % + มันเส้น 3%	4.37	62.74	64.70

ที่มา: คัดแปลงจาก สายขิม และนวนลณี (2532)

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการใช้ดินและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อนเป็นอาหารสัตว์โดยบุญล้อม และทิพย์วรรณ (2531) พบว่า ดินและเศษเหลือข้าวโพดฝักอ่อนสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดีทั้งในรูปสดและหมัก แต่ดินและเศษเหลือข้าวโพดมีความชื้นสูงมาก (86 เปอร์เซ็นต์) จึงควรมีการเสริมวัสดุคลุมความชื้น เพื่อให้พืชหมักมีคุณภาพที่ดี สัตว์สามารถกินได้เป็นปริมาณวัตถุดิบสูงขึ้น และมีการย่อยที่ดีขึ้น

Mustafa *et al.* (2004) พบว่า การหมักเศษเหลือจากข้าวโพดหวานมีผลช่วยเพิ่มค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ โปรตีน และเยื่อใย NDF (ตาราง 20) โดยเศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมักมีค่าการย่อยได้เท่ากับ 55.0, 80.1 และ 25.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเศษเหลือจากข้าวโพดหวานที่ไม่ได้หมัก ทั้งนี้เนื่องจากการกระบวนการหมักของจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตทั้งที่เป็นโครงสร้างและไม่เป็นโครงสร้างเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหาร ซึ่งจะมีผลให้สัตว์สามารถย่อยสลายพืชหมักได้ง่ายขึ้น

ตาราง 20 ค่าการย่อยได้ของเศษเหลือจากข้าวโพดหวานในกระเพาะรูเมนด้วยวิธี *In situ*

ค่าการย่อยได้ (%)	เศษเหลือจากข้าวโพดหวาน	เศษเหลือจากข้าวโพดหวานหมัก
วัตถุดิบ	51.3	55.0
โปรตีน	75.5	80.1
เยื่อใย NDF	22.6	25.9

ที่มา: คัดแปลงจาก Mustafa *et al.* (2004)

กระถิน

กระถิน (*Leuceana leucocephala*) เป็นไม้ยืนต้นตระกูลถั่วเมืองร้อนที่ได้รับการกล่าวขวัญว่าเป็นพืชมหัศจรรย์พืชหนึ่งของโลก เนื่องจากว่าเป็นพืชที่สามารถนำไปใช้ทำประโยชน์ได้สารพัดอย่าง และที่เป็นประโยชน์มากคือใช้เป็นอาหารสัตว์ เพราะกระถินให้ผลผลิตและคุณค่าทางอาหารสูง สัตว์ชอบกิน มีความทนทานต่อการตัดหรือแทะเล็มและเหยียบย่ำของสัตว์ นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อความแห้งแล้งดี แต่การใช้กระถินเป็นอาหารสัตว์ก็มีข้อจำกัดอยู่บ้างจากความเป็นพิษของสารมิโมซีน (Mimosine) ซึ่งมีอยู่ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ในใบและเมล็ดแห้ง (เสริมศักดิ์, 2543)

กระถินเป็นพืชที่มีระบบราก 2 ระบบ คือ ระบบรากผิวดินซึ่งมีรากปมอยู่มากช่วยในการตรึงไนโตรเจน หาดินและอากาศ ส่วนระบบรากแก้วอยู่ลึกประมาณ 2/3 ของความสูงลำต้น (ณรงค์, 2523) รากแก้วสามารถหยั่งลึกได้ถึง 5-10 เมตร จึงสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพแห้งแล้ง แต่จะให้ผลผลิตสูงเมื่อปลูกในพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลไม่เกิน 500 เมตร มีปริมาณน้ำฝน 650-3,000 มม. เจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่น้อยกว่า 5.2 บางครั้งสามารถขึ้นได้ดีในดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8 และพบว่าจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีนักในดินที่มี

ความเค็ม นอกจากนี้กระถินชอบขึ้นในที่โล่งแจ้ง ในช่วงอากาศหนาวกระถินจะเริ่มออกดอกและฝักทำให้ผลผลิตใบลดลง เนื่องจากได้รับแสงน้อยลง (Brewbaker, 1995)

ผลผลิตของกระถินยักษ์ในประเทศไทยจากการรายงานของ จรูญ และคณะ (2537) ซึ่งนำกระถินยักษ์พันธุ์ Leuchy Kx3B และ Leuchy K636 มาปลูกที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหิชะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า กระถินยักษ์ Leuchy Kx3B และ Leuchy K636 มีน้ำหนักแห้งรวมกิ่งก้านเท่ากับ 6.27 และ 5.62 กิโลกรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักสดรวมใบ ดอก และผลของทั้ง 2 สายพันธุ์เท่ากับ 2.84 และ 3.25 กิโลกรัม/ต้น ตามลำดับ และจากรายงานของ Strür *et al.* (1994) พบว่ากระถินที่มีอายุ 13-15, 17-19 และ 21 เดือนให้ผลผลิตของใบประมาณ 1, 2.5 และ 3 กิโลกรัมแห้ง/ต้นในการตัดครั้งแรก และเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตน้ำหนักแห้งของกระถิน (ส่วนของใบและกิ่งก้าน) กับถั่วอัลฟาฟ่า (*alfalfa*) พบว่า กระถินมีผลผลิตมากกว่าเท่ากับ 6-18 และ 8-9 ตัน/เฮกเตอร์ หรือ 1-3 และ 1.3-1.3 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (Anonymous, 1984)

องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยได้ของใบกระถิน

ปัญญา และคณะ (2540) รายงานจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบกระถิน พบว่า มีเปอร์เซ็นต์โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF เท่ากับ 19.44, 24.72 และ 19.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 21) และ Shelton and Brewbaker (1994) พบว่า ใบกระถินมีส่วนของ β -carotene สูงกว่าใบอัลฟาฟ่าถึง 2 เท่า ส่วนพลังงานรวม (GE) มีสูงกว่าอัลฟาฟ่าเล็กน้อยสำหรับเถาและเร่ธาตุนี้พบว่กระถินมีน้อยกว่าอัลฟาฟ่า (ตาราง 22) แต่ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของใบกระถินคือ มีแทนนินสูงกว่าอัลฟาฟ่ามากจึงอาจเป็นอุปสรรคต่อความน่ากินและการย่อยได้ของโปรตีนในตัวสัตว์

ตาราง 21 องค์ประกอบทางเคมีของกระถิน

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	ใบกระถินแห้ง (ปนกากอ่อน)
วัตถุแห้ง	89.41
โปรตีน	19.44
ไขมัน	6.63
เยื่อใย	17.31
เถ้า	9.78
ไนโตรเจนฟรีเอ็กแทรก	45.68
เยื่อใย NDF	24.72
เยื่อใย ADF	18.57
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	6.15
เซลลูโลส (Cellulose)	11.34
ลิกนิน (Lignin)	6.72

ที่มา: คัดแปลงจาก ปัญญา และคณะ (2540)

ตาราง 22 ส่วนประกอบทางเคมีของใบกระถินเทียบกับใบถั่วอัลฟาฟ่า

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	ใบกระถิน	ใบถั่วอัลฟาฟ่า
Total N	4.2	4.3
โปรตีน	25.9	26.9
เยื่อใย ADF	20.4	21.7
เถ้า	536.0	253.0
แคลเซียม	20.1	18.5
ฟอสฟอรัส	11.0	16.6
เบต้า-แคโรทีน (mg/kg)	2.36	3.15
พลังงานรวม (kJ/g)	0.23	0.36
แทนนิน (mg/kg)	10.15	0.13

ที่มา: คัดแปลงจาก Shelton and Brewbaker (1994)

Akingbade *et al.* (2001) กล่าวว่า ไบโกระดินมีองค์ประกอบทางเคมีสูง เมื่อนำไปเสริมลงในหญ้าพื้นเมืองจึงมีผลช่วยหญ้าพื้นเมืองให้มีคุณค่าทางอาหารที่ดีขึ้น (ตาราง 23) เช่นเดียวกับรายงานของสายซิม และคณะ (2551) ศึกษาการหมักไบโกระดินร่วมกับขดอ้อยในอัตรา 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มองค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับขดอ้อยหมักอย่างเดียว โดยมีการเสริมกากน้ำตาล 10 เปอร์เซ็นต์เป็นสารช่วยหมัก และใช้ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน เมื่อนำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมี พบว่าขดอ้อยหมักที่ผสมไบโกระดิน 10 เปอร์เซ็นต์ มีวัตถุแห้ง 31.83 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม ไขมัน เยื่อใยรวม เถ้า และ NFE เท่ากับ 9.43, 1.71, 24.96, 8.59 และ 47.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการเพิ่มไบโกระดิน 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีวัตถุแห้ง 33.72 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม ไขมัน เยื่อใยรวม เถ้า และ NFE เท่ากับ 13.39, 2.09, 20.81, 10.20 และ 46.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับขดอ้อยที่ไม่ได้ผสมไบโกระดิน พบว่า มีวัตถุแห้ง 28.70 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม ไขมัน เยื่อใยรวม เถ้า และ NFE เท่ากับ 4.68, 1.41, 29.79, 7.73 และ 8.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นการเสริมไบโกระดินในอัตรา 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้โปรตีนรวมเพิ่มเป็น 2 และ 3 เท่าของขดอ้อยหมักที่ไม่ได้เสริมไบโกระดิน

ตาราง 23 องค์ประกอบทางเคมีของกระดินเปรียบเทียบกับหญ้าพื้นเมือง

	กระดินผสมกับหญ้าพื้นเมือง	หญ้าพื้นเมือง
วัตถุแห้ง (เปอร์เซ็นต์)		
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)	3.23	6.73
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)	25.83	10.33
เยื่อใย NDF (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)	29.20	61.36
เยื่อใย ADF (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)	18.96	34.90
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)	3.05	2.10
เถ้า (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)	9.41	9.62

ที่มา: คัดแปลงจาก Akingbade *et al.* (2001)

บุญเสริม และบุญล้อม (2529) ได้ศึกษาการเสริมไบโกระดินแห้งร่วมกับฟางปรงแต่งยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์เลี้ยงโค พบว่า โคทดลองกลุ่มที่ได้รับการเสริมไบโกระดินลงในฟางปรงแต่งยูเรียมีอัตราการเจริญเติบโต และมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มที่ได้รับฟางปรงแต่งยูเรียเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับรายงานของจินดา และคณะ (2529) รายงานการใช้ไบโกระดินสดเพียงอย่างเดียว

ขุนกระบือลูกผสมมูร่าห์เพศผู้ตอน อายุประมาณ 2 ปี 6 เดือน จำนวน 4 ตัว โดยให้กินอย่างเต็มที่ นาน 768 วัน พบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตลดการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 0.27 กิโลกรัม/ตัว/วัน สัตว์ทดลองมีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง ไม่แสดงอาการอันเนื่องจากสารพิษของมิโมซิน นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*In vitro* dry matter digestibility, IVDMD) โดยวิธี Two stages และค่าการย่อยสลายตัวของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนโดยวิธี *In sacco* ของถั่ว อัลฟาฟ่า กระถิน กระถินณรงค์ Tagasate และโสนได้หวั่น พบว่ากระถินมีค่าการย่อยสลายของ วัตถุแห้งสูงกว่าอัลฟาฟ่า ไม่ว่าจะศึกษาด้วยวิธี Two stages หรือ *In sacco* แต่เมื่อเปรียบเทียบกับถั่ว ยืนต้นอื่นๆ พบว่า กระถินมีค่าการย่อยได้ต่ำกว่า Tagasate และ Sesbania แต่สูงกว่ากระถินณรงค์ เมื่อพิจารณาอัตราการย่อยสลายพบว่าอัลฟาฟ่าย่อยสลายได้ดีที่สุด ดังตาราง 24 (El Hassan *et al.*, 2000)

ตาราง 24 เปอร์เซนต์การย่อยได้ของวัตถุแห้งในพืชตระกูลถั่วชนิดต่างๆ โดยวิธี Two stages หรือ *In sacco*

ชนิดพืช	Two stages	<i>In sacco</i>			
		A (%)	B (%)	A+B (%)	c (%h ⁻¹)
ถั่วอัลฟาฟ่า (<i>Medicago sativa</i>)	62.3	42.0	35.7	77.7	0.105
กระถิน (<i>Leucaena leucocephala</i>)	66.5	43.5	42.5	86.0	0.036
กระถินณรงค์ (<i>Acacia angustissima</i>)	58.6	36.8	37.8	73.6	0.032
Tagasate (<i>Chamaecytisus palmensis</i>)	67.8	56.9	36.8	93.7	0.037
โสนได้หวั่น (<i>Sesbania sesban</i>)	72.3	41.7	50.8	92.5	0.085

a = ส่วนที่ย่อยสลายได้ทันที b = ส่วนที่ย่อยสลายได้เมื่อเวลาผ่านไป a+b = ค่าการย่อยสลายทั้งหมด

c (h⁻¹) = อัตราการย่อยสลายที่เวลาต่างๆ

ที่มา: ดัดแปลงจาก El Hassan *et al.* (2000)

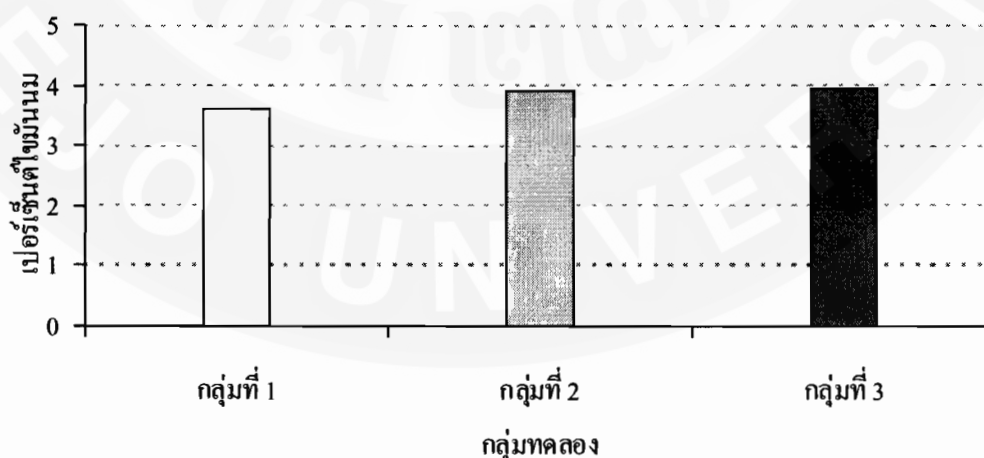
ปราโมทย์ และคณะ (2543) ศึกษาการย่อยได้ของใบกระถินในกระเพาะรูเมน และลำไส้เล็กเปรียบเทียบกับใบปอ พบว่า การย่อยได้ทั้งระบบของใบปอสูงกว่าใบกระถิน (ดังตาราง 25) แต่การย่อยได้ของใบกระถินในลำไส้เล็กกลับมีสัดส่วนการย่อยได้ที่สูงกว่าใบปอ แสดงว่าใบกระถินมีโปรตีนไหลผ่านที่ย่อยได้ที่ลำไส้เล็กสูงกว่าใบปอ

ตาราง 25 การย่อยได้ของใบกระถิน และใบปอในกระเพาะรูเมน

เปอร์เซ็นต์การย่อยได้	ใบกระถิน	ใบปอ
วัตถุแห้ง	53.2	64.1
อินทรีย์วัตถุ	51.9	71.9
โปรตีน	55.0	71.0

ที่มา: คัดแปลงจาก ปราโมทย์ และคณะ (2543)

การเสริมใบกระถินลงในอาหารชั้นเลี้ยงโคนมจะสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้ โดยผลจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำนมในช่วง 100 วันแรกของการให้นมในโคที่ได้รับอาหาร 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรกให้อาหารชั้น 4 กิโลกรัมต่อวัน กลุ่มที่สองให้อาหารชั้น 2 กิโลกรัมร่วมกับกระถิน ตัดสด 4 กิโลกรัม และกลุ่มที่ 3 ใช้แต่กระถินสด 8 กิโลกรัม โดยให้หญ้าแพงโกล่าเป็นแหล่งอาหาร ulyab พบว่า กลุ่มที่ 2 และ 3 มีเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมสูงกว่ากลุ่มที่ 1 ที่เสริมแต่อาหารชั้นเพียงอย่างเดียว (ภาพ 2) ทั้งนี้เนื่องจากกระถินเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีคุณค่าทางอาหารสูง มีความน่ากิน สามารถหาได้ง่าย และเจริญเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง เหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นอาหารโคนม โคนเนื้อ กระบือ แพะ และแกะได้ โดยมีโปรตีนสูงกว่า 17-24 เปอร์เซ็นต์เทียบเท่ากับอาหารชั้นสำหรับแม่โครีดนม ถึงแม้ว่ากระถินจะมีสารพิษโมโนซิน ซึ่งก็จะถูกเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนให้อยู่ในรูป 3,4-DHP ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษ นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย (กัญจนะ, 2551)



ภาพ 2 เปอร์เซ็นต์ไขมันนมของกลุ่มทดลอง

ที่มา: คัดแปลงจาก กัญจนะ (2551)

วรรณ (2545) กล่าวว่า การหมักใบกระถินทำให้ได้พืชหมักที่มีคุณภาพดี สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่ทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง แต่ทำให้เบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณสารไนโมซินลงได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งดีกว่าวิธีตากแห้งที่ลดสารพิษได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ที่มีในใบสดเท่านั้น ในขณะที่การอบช่วยลดได้ 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้โคสามารถกินใบกระถินหมักเป็นอาหารเดี่ยวได้ โดยไม่พบอาหารผิดปกติอันเนื่องมาจากสารพิษ และสามารถใช้ใบกระถินหมักในสูตรอาหารโคนมได้ในระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ โดยไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมแต่อย่างใด เมื่อนำใบกระถินหมักมาใช้เป็นอาหารของโคที่ให้นมปานกลางในระดับ 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบของสูตรอาหารขึ้น หรือเท่ากับการทดแทนอาหารขึ้น 30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณและส่วนประกอบของน้ำนมไม่มีความแตกต่างกัน แต่การใช้ใบกระถินทดแทนช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้ นอกจากนี้โคที่กินใบกระถินในระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในซีรัมสูงกว่ากลุ่มที่กิน 25 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในกระเพาะรูเมนของใบกระถินหมักที่ทดสอบด้วยวิธีการใช้ถุงในลอน พบว่า มีค่าการย่อยสลายเร็วในระยะ 12 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะเป็นไปอย่างช้าๆ โดยมีค่าการย่อยสลายสูงสุด 77.7 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการย่อยสลาย 0.100 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง การย่อยสลายของวัตถุดิบในกระเพาะรูเมนมีความสอดคล้องกับปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น

อาหารหยาบหมัก

หญ้าหมัก (Silage) หรือพืชหมัก หมายถึง พืชในสภาพอวบน้ำนำไปหมักไว้ในถังที่ไม่มีอากาศ โดยถังหมักหรือหลุมหมักหรือภาชนะที่ใช้หมัก เรียกว่า ซิโล (Silo) การทำหญ้าหมักสามารถทำได้ทุกฤดูกาล หากมีพืชอาหารสัตว์ที่เหมาะสม การเก็บถนอมพืชอาหารสัตว์ในรูปของหญ้าหมักเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ในฤดูขาดแคลนพืชสดเป็นสิ่งจำเป็น เพราะการขาดแคลนพืชสดหรืออาหารหยาบมักเกิดขึ้นอยู่เสมอ (เสริมศักดิ์, 2543)

หญ้าหมักอาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ (โดยยึดเอาความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ในพืชเป็นเกณฑ์)

1. หญ้าหมักที่มีความชื้นสูง หรือหญ้าหมักที่ได้จากพืชซึ่งตัดแล้วนำไปหมักทันที (มีความชื้นมากกว่า 70%)
2. หญ้าหมักที่ทำจากพืชซึ่งได้ผ่านการผึ่งแดดให้เหี่ยว แล้วจึงนำไปหมัก (มีความชื้นประมาณ 60-70%)
3. หญ้าหมักที่มีความชื้นต่ำ (มีความชื้นประมาณ 45-55%)

หญ้าหมักที่มีคุณภาพดี

หญ้าหมักที่มีคุณภาพดีควรประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้ คือ

pH	4.2
Lactic acid	3-13%
Butyric acid	<0.2%
NH ₄ -N	<11% ของไนโตรเจนทั้งหมด
ไม่มีเชื้อราและไม่มียีส	

หญ้าหมักที่มีคุณภาพดีเมื่อนำไปเลี้ยงสัตว์ สัตว์จะกินได้มากจึงได้สารอาหารหรือวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ในปัจจุบันนิยมนำเอาเศษเหลือจากการเกษตรและจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร มาใช้ในการเลี้ยงสัตว์อีกด้วย เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ยอดอ้อย และเปลือกสับปะรด เป็นต้น ซึ่งช่วยลดต้นทุนในการผลิตสัตว์ลงได้มาก แต่การใช้วัสดุเหล่านี้ยังคงมีข้อจำกัดด้านโภชนาที่สำคัญ คือ

1. วัสดุเหลือใช้หลายชนิดจะมีส่วนประกอบหลักที่เป็นส่วนเยื่อใยที่นำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย เพราะประกอบด้วยส่วนผนังเซลล์มาก ได้แก่ วัสดุประเภทต้นแก่ หรือต้นที่ให้ผลผลิตแล้ว เช่น ฟางข้าว และต้นข้าวโพดหลังการเก็บฝัก
2. ในส่วนของเยื่อใยที่มีลิกนินยึดเกาะอยู่กับส่วนของเซลล์ลูลอส และมีซิลิกาประกอบอยู่สูง ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าย่อยได้
3. วัสดุเหล่านี้มักมีโภชนาที่ต่ำ ทำให้ไม่มีประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนและต่อตัวสัตว์เอง ได้แก่ มีไนโตรเจนในระดับต่ำ กำมะถัน และแร่ธาตุที่ละลายประกอบอยู่ในปริมาณต่ำ
4. วัสดุบางชนิดมีสารต่อต้านการใช้ประโยชน์ของโภชนาอยู่ ทำให้เป็นการจำกัดการใช้โภชนาของตัววัสดุเอง และโภชนาจากแหล่งอื่นด้วย เช่น ไซยาไนด์ ออกซาเลท และแทนนิน (ปราโมช, 2543)

กระบวนการหมักของพืชหมัก

กระบวนการหมักจะเสร็จสมบูรณ์ต้องใช้เวลาประมาณ 2-3 สัปดาห์ ในระยะดังกล่าว จึงแบ่งออกเป็น 5 ระยะ ได้ดังนี้

1. ระยะที่ 1

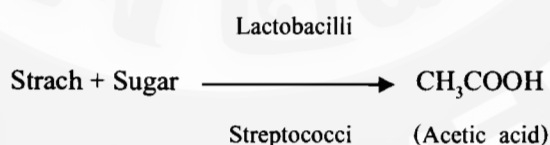
เริ่มจากใส่พืชสดเข้าไปในไซโล (Silo) เซลล์ของพืชยังมีชีวิตอยู่จะหายใจโดยใช้ ออกซิเจนซึ่งอยู่ระหว่างชั้นส่วนของพืช แต่คายคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำออกมา รวมทั้งทำให้เกิดพลังงานและความร้อน



ระยะนี้อุณหภูมิอาจสูงถึง 100 องศาฟาเรนไฮต์ มีผลให้เกิดยีสต์ (Yeast) และเชื้อรา (Mold) เจริญและเพิ่มจำนวน โดยวิธีนี้ภายในเวลา 5 ชั่วโมง ออกซิเจนทั้งหมดจะถูกใช้หมด เซลล์ของพืชจะหยุดการหายใจ และตาย อาจสรุปได้ว่าระยะเซลล์พืชมีการหายใจ (Cell respiration) หรือเป็นระยะที่มีการใช้ออกซิเจน (Aerobic phase) มีการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อน

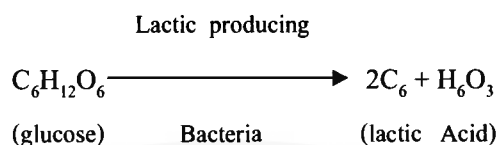
2. ระยะที่ 2

เป็นระยะที่จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศหยุดการเจริญเติบโต แต่แบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ (Anareobic bacteria) เช่น แลคโตบาซิลลัส (Lactobacillus) และ สเตรปโตค็อกคัส (Streptococcus) ยังเจริญเติบโตได้และแบคทีเรียพวกนี้จะทำการผลิตกรดอะซิติก (Acetic acid) จากแป้งและน้ำตาล



3. ระยะที่ 3

เป็นระยะเริ่มมีการผลิตกรดแลคติก เริ่มประมาณวันที่ 3 นับจากใส่พืชเข้าไปในไซโล โดยแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (Lactic producing bacteria) ทำการเปลี่ยนน้ำตาล เช่น น้ำตาล กลูโคสให้เป็นกรดแลคติก



การเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นกรดแลคติก ในสภาพที่ไร้อากาศจะเกิดขึ้นรวดเร็ว เมื่อพืชมีปริมาณน้ำตาลสูง และขณะมีการผลิตกรดแลคติกสภาพความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้น ส่วนแบคทีเรียที่ผลิตกรดอะซิติกเริ่มลดลง เนื่องจากไม่มีความทนทานต่อสภาพความเป็นกรดที่เพิ่มสูงขึ้น

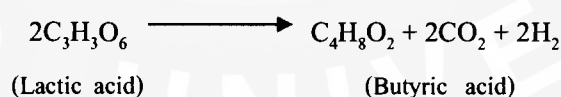
ระยะที่ 1 ระยะที่ 2 และระยะที่ 3 จะใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน

4. ระยะที่ 4

เป็นระยะที่มีการผลิตกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาประมาณ 15-20 วัน เมื่อระดับกรดมากพอสมควรคือ มี pH ประมาณ 3.5-4.5 แบคทีเรียต่างๆ จะหยุดการเจริญเติบโต

5. ระยะที่ 5

ระยะนี้จะเกิดขึ้นหรือไม่ขึ้นกับผลของ 4 ระยะแรก ถ้า 4 ระยะแรกมีกรดอะซิติก และกรดแลคติกเกิดขึ้นพอเพียง คือ มี pH อยู่ระหว่าง 4.0-4.2 หรือต่ำกว่า แบคทีเรียต่างๆ ก็จะหยุดการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงต่างๆ จะไม่ดำเนินต่อไปอีก ทำให้สามารถรักษาหญ้าหมักได้เป็นเวลานานๆ อย่างไรก็ตามถ้ามีกรดอะซิติกและกรดแลคติกเกิดขึ้นน้อย จะเกิดระยะที่ 5 ขึ้นโดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการให้มีในพืชหมักมีการเจริญ และทำการผลิตกรดบิวทีริก (Butyric acid) ซึ่งเป็นผลทำให้หญ้าหมักมีรสและกลิ่นไม่ดี สัตว์ไม่ชอบกิน นอกจากนี้โปรตีนในหญ้าหมักมักจะถูกทำลายและเกิดการเน่าเสีย โดยเชื้อคลอสทิดียม (*Clostridium spp.*) เป็นแบคทีเรียที่สำคัญที่ผลิตกรดบิวทีริก (ปราโมช, 2543)



การใช้หญ้าหมักเลี้ยงสัตว์

เสริมศักดิ์ (2543) กล่าวถึงวิธีการใช้หญ้าหมักเลี้ยงสัตว์ ดังนี้

1. นิยมใช้หญ้าหมักเลี้ยงโคเนื้อ โคนม โดยใช้เป็นส่วนหนึ่งของอาหารหยาบหรือใช้เป็นอาหารหยาบแทนพืชสด นอกจากนี้ใช้เลี้ยงแพะ แกะ สุกร และไก่ ในทางปฏิบัติจะแบ่งปริมาณของหญ้าหมักที่ให้ โดยให้กิน 2 ครั้งต่อวัน แต่ถ้าเป็นโคนมแบ่งให้กิน 3 ครั้งต่อวัน แม่โคที่รีดนมก่อนที่จะรีดนม 2 ชั่วโมง ไม่ควรให้กินหญ้าหมักทั้งนี้เพื่อจะหลีกเลี่ยงกลิ่นของหญ้าหมักที่อาจปนมากับน้ำนมที่รีดได้
2. ใช้หญ้าหมักประมาณ 2.5-3 กิโลกรัม แทนหญ้าแห้ง 1 กิโลกรัม เพราะหญ้าหมักมีวัตถุแห้งต่ำกว่า
3. เมื่อเอาหญ้าหมักออกมาเลี้ยงสัตว์แล้ว ต้องไปต้องเอาหญ้าออกทุกวัน วันละ 2-5 นิ้ว ทั้งนี้เพื่อรักษาหญ้าหมักให้สดอยู่เสมอ แต่ถ้าอากาศร้อนควรเอาหญ้าหมักออกเลี้ยงสัตว์มากกว่าวันละ 2-5 นิ้ว
4. การใช้หญ้าหมักเลี้ยงสัตว์ ควรใช้ในเวลาที่มีทุ่งหญ้าไม่เพียงพอหรือในระยะที่ขาดแคลนพืชสด
5. ขณะที่อากาศร้อน หญ้าหมักเป็นอาหารที่ดีสำหรับใช้เลี้ยงโคที่เลี้ยงอยู่มีโรงเรือน

การย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีกระเพาะรูเมนเป็นส่วนรองรับอาหารที่กินเข้าไป และการย่อยของอาหารบริเวณนี้ถูกกระทำโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย (Bacteria) โปรโตซัว (Protozoa) และเชื้อรา (Fungi) โดยไม่มีเอนไซม์จากตัวสัตว์เข้ามาช่วยย่อยอาหาร เนื่องจากเนื้อเยื่อของกระเพาะส่วนนี้ไม่มีต่อมสำหรับผลิตเอนไซม์ (Strom and Ørskov, 1982 อ้างโดย เทอดชัย และ ter Meulen, 2542) เมื่อจุลินทรีย์ย่อยอาหารดังกล่าวจะได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) เซลล์จุลินทรีย์ และก๊าซมีเทน โดยกรดไขมันระเหยง่ายส่วนใหญ่จะซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนส่วนมีเทนจะถูกขับออกโดยการเรอ และเซลล์จุลินทรีย์กับอาหารที่ไม่ถูกย่อยจะเคลื่อนตัวผ่านไปสู่กระเพาะแท้ (Abomasum) และลำไส้เล็กต่อไป ซึ่งจะถูกละลายจากเอนไซม์ในกระเพาะแท้ และลำไส้เล็ก และจะถูกดูดซึมบริเวณลำไส้เล็ก ส่วนในลำไส้ใหญ่มีกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์เช่นกัน และบางส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายจะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้ใหญ่ แต่เซลล์จุลินทรีย์จะถูกขับออกมาทางมูลพร้อมกับอาหารที่ไม่ถูกย่อย (McDonald *et al.*, 1995)

เทอดชัย (2542) กล่าวว่า การย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจุลินทรีย์เข้าย่อยพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งเอ็นไซม์จากตัวสัตว์ไม่สามารถเข้าย่อยได้ แต่การเข้าย่อยของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนอาจจะทำให้อาหารคุณภาพดีบางส่วน ถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ก่อนที่จะเคลื่อนตัวผ่านไปถึงกระเพาะแท้ และอาจมีผลให้อาหารคุณภาพดีเช่น พวกแป้ง โปรตีนสูง และกรดไขมันบางชนิด ถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ลดลงกว่าเดิม สอดคล้องกับบุญล้อม (2541) กล่าวว่าถ้าโปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปมีคุณภาพต่ำ หรือเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) การย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะมีประโยชน์มาก แต่ถ้าโปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปมีคุณภาพสูง การย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะมีประโยชน์ไม่มากนัก เพราะการสลายตัวของโปรตีนไปเป็นแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนจัดเป็นการสูญเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถดักจับแอมโมเนียมาใช้ได้ทั้งหมด และโปรตีนในเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นอาจจะมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่น้อยกว่าโปรตีนเดิมที่สัตว์กินเข้าไป ดังนั้นถ้าโปรตีนประเภทนี้ถูกย่อยสลายโดยเอ็นไซม์จากตัวสัตว์ที่กระเพาะแท้และลำไส้เล็กจะทำให้เกิดประโยชน์มากกว่า เพราะได้กรดอะมิโนที่มีสัดส่วนเหมาะสม ซึ่งสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ซึ่งเราสามารถป้องกันไม่ให้สารอาหารเหล่านี้ถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายในกระเพาะรูเมนได้ด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้อาหารถูกส่งผ่านไปยังกระเพาะแท้ (By-pass) ได้เช่น By-pass protein, By pass starch และ Protected fat เป็นต้น (เทอดชัย, 2542)

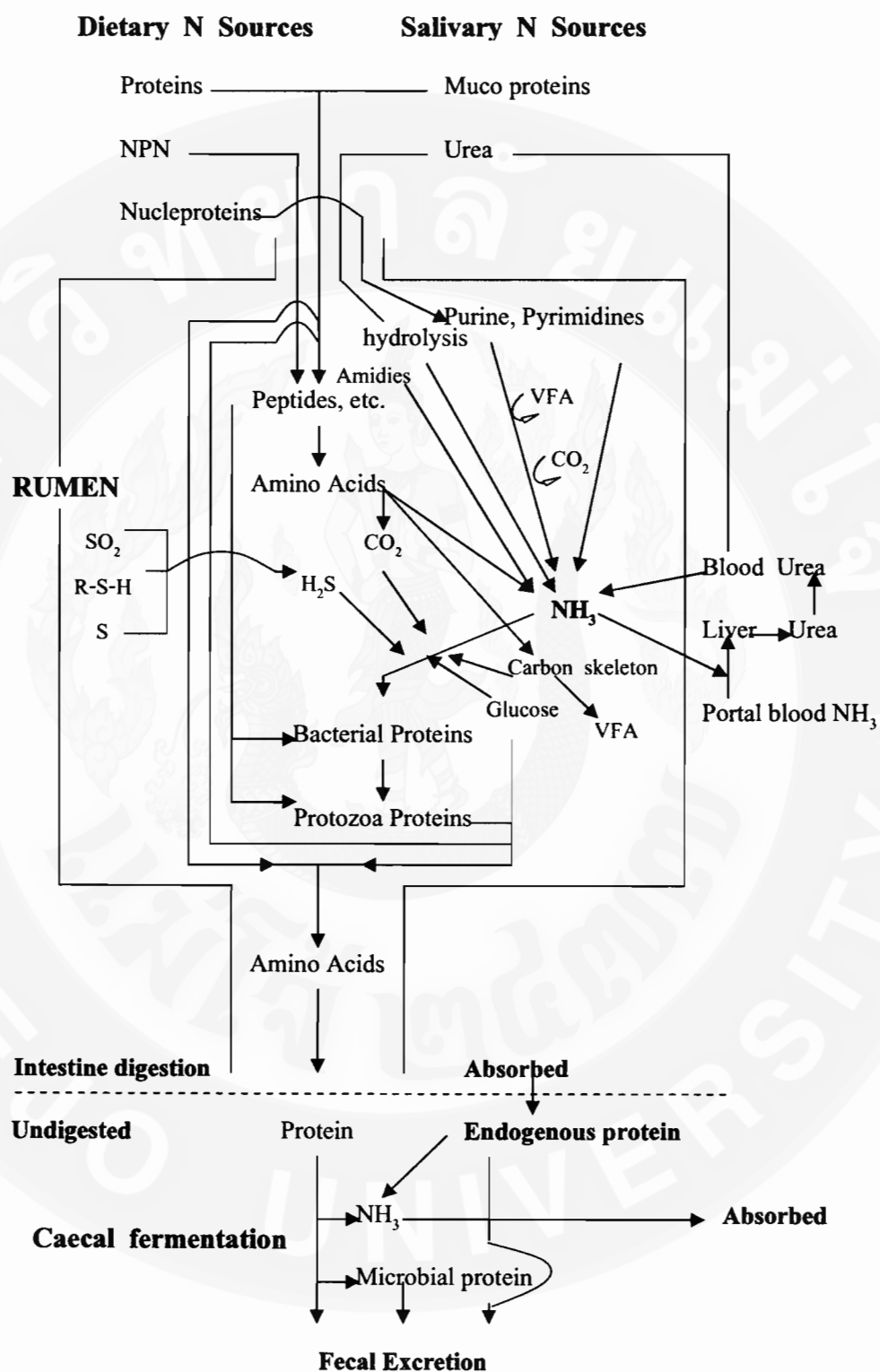
ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนถ้าอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมจะเกิดประโยชน์มาก เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานแก่จุลินทรีย์และยังเป็นโครงสร้างคาร์บอนในการทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ด้วย แต่การย่อยสลายในกระเพาะรูเมนมีการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งในรูปก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นอาหารหยาบที่มีเยื่อใยสูงและไม่สามารถย่อยได้ในลำไส้เล็ก เมื่อย่อยสลายในกระเพาะรูเมนจะเกิดประโยชน์มากกว่า ส่วนอาหารข้นที่มีเยื่อใยต่ำสามารถย่อยสลายได้ดีและเกิดประโยชน์มากกว่าที่ลำไส้เล็ก เพราะจะได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) ซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมและใช้ประโยชน์ได้โดยตรง (บุญล้อม, 2541)

การย่อยโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

อาหารประเภทโปรตีนประกอบด้วยโปรตีนแท้ (True protein) และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน โปรตีนแท้บางส่วนถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน จึงเรียกโปรตีนเหล่านั้นว่า Rumen

degradation protein (RDP) ซึ่งถูกย่อยสลายเป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน และจุลินทรีย์สามารถนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนในเซลล์จุลินทรีย์ได้ (Microbial protein) และมีโปรตีนบางส่วนที่มีความทนทานต่อการย่อยของจุลินทรีย์ ทำให้ไม่ถูกย่อย และเคลื่อนตัวผ่านไปถึงกระเพาะแพะและลำไส้เล็ก เรียกโปรตีนเหล่านี้ว่า Rumen undegradation protein ส่วนไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมนแล้วจะแตกตัวเป็นแอมโมเนีย และถูกจุลินทรีย์นำไปใช้สังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ เมื่อเซลล์จุลินทรีย์และอาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อย เคลื่อนตัวผ่านไปถึงกระเพาะแพะและลำไส้เล็กจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากกระเพาะแพะและลำไส้เล็กได้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน และถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อไป (McDonald *et al.*, 1995)

โดยทั่วไปภายในผนังลำไส้เล็กจะมีเอนไซม์ Peptidase ทำหน้าที่ย่อยเปปไทด์สายสั้นๆ ให้เป็นกรดอะมิโน ซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนคาร์โบไฮเดรต และไขมัน หรือถูกออกซิเดชัน (Oxidation) ต่อไปและให้พลังงานในรูป ATP ส่วนแอมโมเนียหรือไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนเมื่อถูกดูดซึมจะเปลี่ยนเป็นยูเรีย (Urea) ส่วนหนึ่งของยูเรียจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ แต่ยูเรียส่วนใหญ่จะถูกขับออกมาพร้อมปัสสาวะ โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก โปรตีนจากจุลินทรีย์ และน้ำย่อยต่างๆ จากลำไส้เล็ก และตับอ่อน เมื่อผ่านไปยังลำไส้ใหญ่จะมีการย่อยโปรตีนในลำไส้ใหญ่คล้ายกับในกระเพาะรูเมน โดยถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายส่วนใหญ่ได้เป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก และส่วนหนึ่งถูกนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนโดยจุลินทรีย์ แต่โปรตีนจากจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลำไส้เล็กนี้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และถูกขับออกนอกร่างกายพร้อมมูล ดังภาพ 3 (เทอดชัย, 2548)



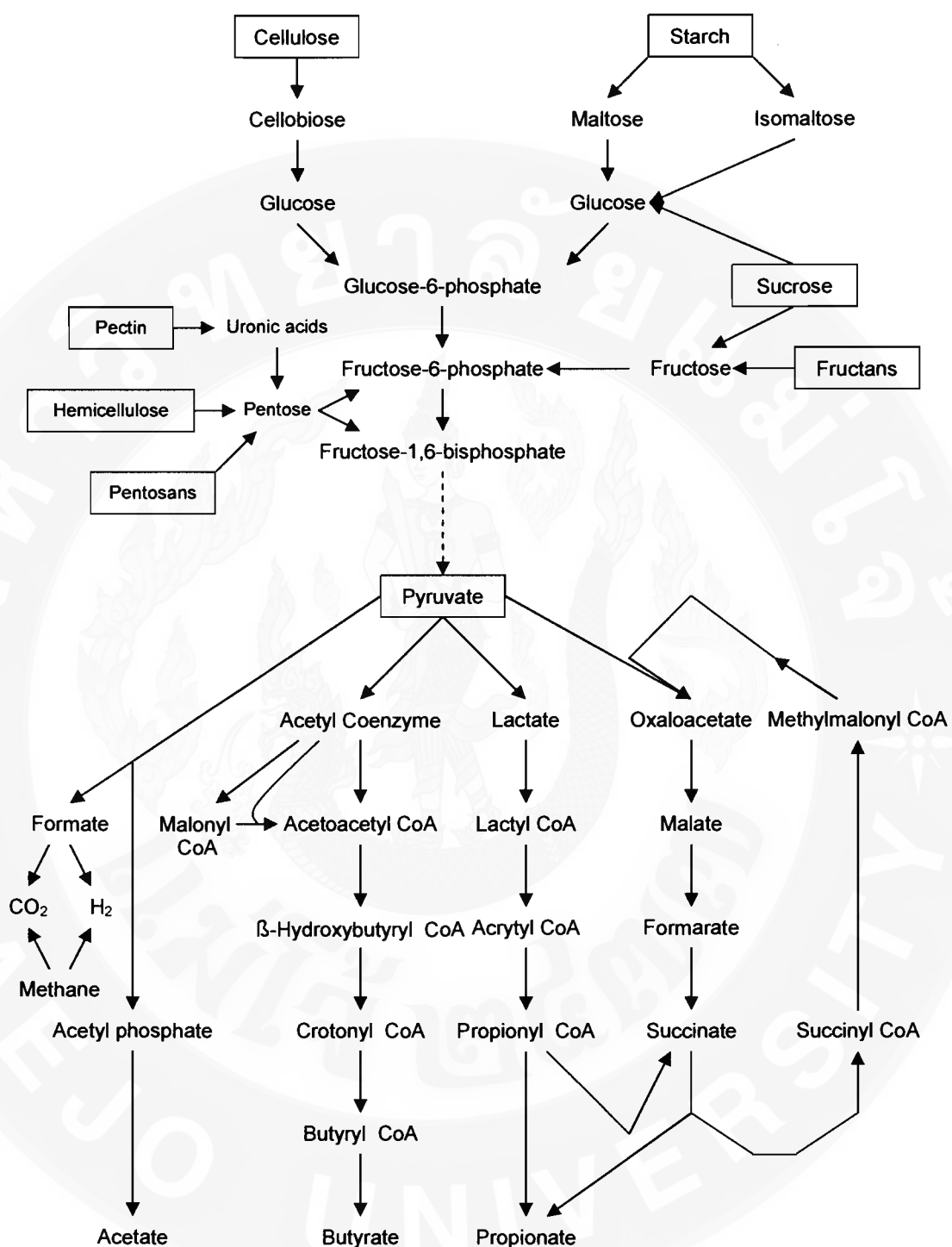
ภาพ 3 การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมน

ที่มา: เทอดชัย (2548)

การย่อยคาร์โบไฮเดรตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างของพืช (Structural carbohydrate) ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน (Pectin) และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (Non- structural carbohydrate) ได้แก่ แป้ง และน้ำตาล เมื่ออาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเข้าสู่กระเพาะรูเมนจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ในขั้นแรกได้น้ำตาลเชิงซ้อน (Polysaccharide) จากนั้นจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ผลสุดท้ายได้เป็นน้ำตาล โมเลกุลเดี่ยว ซึ่งถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวท (Pyruvate) อย่างรวดเร็ว ในขั้นตอนสุดท้ายไพรูเวทถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรปิโอนิก กรดบิวทีริก และก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน (Methane) ต่อไป กรดไขมันระเหยง่ายส่วนหนึ่ง ถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนในจุลินทรีย์ และอีกส่วนหนึ่งดูดซึมผ่านผนังกระเพาะ รูเมนไปยังตับ กรดอะซิติก และกรดบิวทีริกถูกใช้เป็นพลังงาน และสังเคราะห์เป็นไขมัน ส่วนกรด โพรปิโอนิกจะถูกใช้ในการสังเคราะห์กลูโคส โดยกระบวนการกลูโคเนโอเจเนซิส (Gluconeogenesis)

คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมน และคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากสังเคราะห์ โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเมื่อผ่านไปยังลำไส้เล็ก คาร์โบไฮเดรตประเภทแป้งถูกย่อยสลายด้วย เอนไซม์จากลำไส้เล็ก และตับอ่อนได้เป็นกลูโคสซึ่งถูกดูดซึม และนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยตรง ส่วนคาร์โบไฮเดรตประเภทเยื่อใยไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์จากลำไส้เล็ก จึงผ่านเข้าไปในลำไส้ ใหญ่ การย่อยคาร์โบไฮเดรตในลำไส้ใหญ่เกิดจากการย่อยโดยจุลินทรีย์เหมือนในกระเพาะรูเมน และผลผลิตที่ได้ คือ กรดไขมันระเหยง่ายและโปรตีนจุลินทรีย์ โดยกรดไขมันระเหยง่ายสัตว์สามารถ ดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ แต่โปรตีนจากจุลินทรีย์สัตว์ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ ดังภาพ 4 (เทอดชัย, 2548)



ภาพ 4 การหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

ที่มา: ดัดแปลงจาก McDonald *et al.* (1995)

ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน

ในสภาพปกติค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน (Ruminal pH) มีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-6.5 (McDonald *et al.*, 1995) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะแปรปรวนไปตามชนิดของอาหารที่สัตว์กินเข้าไป เวลาที่ทำการวัด วิธีการ และตำแหน่งที่ทำการวัด การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างที่ Cranial sac และด้านบนของกระเพาะรูเมนรวมทั้งภายในกระเพาะเรติคูลัม (Reticulum) จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าบริเวณอื่น โดยปกติจะวัดค่าความเป็นกรด-ด่างบริเวณด้านล่างของกระเพาะรูเมนโดยสอดแท่ง Electrode ในส่วนล่างของกระเพาะรูเมน การนำเอาของเหลวจากกระเพาะรูเมนออกมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่างนอกร่างกาย ทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้สูงกว่าค่าที่เป็นจริง และเมื่อสัตว์กินอาหารประเภทแป้ง ในกระบวนการย่อยแป้งจะเกิดกรดแลคติก เป็นจำนวนมาก ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนลดต่ำลงเหลือ 2.5-3.0 ในน้ำลายมีฟอสเฟต (Phosphate) และไบคาร์บอเนต (Bicarbonate) ทำหน้าที่รักษาค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนให้เป็นปกติ และค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนสามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตได้ ถ้าหากค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนลดลงอย่างรวดเร็วแสดงว่าอาหารนั้นมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย หมายถึงมีพลังงานจำนวนมากในกระเพาะรูเมน แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างไม่ลดลงแสดงว่าอาหารนั้นมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ยาก (เทอดชัย, 2542)

กรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน

เมธา (2533) กล่าวว่า คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทั้งหมดโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันระเหยง่ายเช่น กรดอะซิติก กรดโพรปิโอนิก กรดบิวทีริก และกรดวาเลอริก (Valeric acid) ซึ่งกรดวาเลอริกจะมีน้อยที่สุดในกระเพาะรูเมน และในระหว่างการหมักจะมีสารตัวกลางเกิดขึ้น (Intermediate products) คือ กรดซักซินิก (Succinic acid) และกรดแลคติก นอกจากนี้จะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน กรดไขมันระเหยง่ายจะถูกใช้เป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญของร่างกายโค โดยกรดอะซิติกจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกาย และใช้ในการผลิตไขมันนม ส่วนกรดโพรปิโอนิกจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลในน้ำนม และไขมันในร่างกายหรือไขมันในซาก และกรดบิวทีริกก็สามารถถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานได้เช่นกัน การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น และสัดส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายจะไม่คงที่เสมอไป แต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร และระยะเวลาหลังจากการกินอาหาร (เทอดชัย, 2548) และ Hungate (1966) อ้าง

โดยเมธา (2533) พบว่าความเข้มข้นของกรดอะซิดิก กรดโปรปีโอนิก และกรดบิวทีริก มีค่าเท่ากับ 62, 22 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ วิโรจน์ (2546) กล่าวว่า ในอาหารปกติโดยทั่วไปจะมี สัดส่วนของกรดอะซิดิก 65 เปอร์เซ็นต์ กรดโปรปีโอนิก 20 เปอร์เซ็นต์ และกรดบิวทีริก 15 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับ การให้อาหารและสัดส่วนของอาหาร ถ้าให้อาหารที่มีแหล่งคาร์โบไฮเดรตย่อยง่ายมาก และมีปริมาณเยื่อใยน้อยจะมีผลให้การผลิต กรดอะซิดิกน้อยลง แต่การผลิตกรดโปรปีโอนิกจะเพิ่มขึ้น Ishler *et al.* (1996) และ McDonald *et al.* (1995) รายงานว่า สัดส่วนปริมาณกรดอะซิดิก : กรดโปรปีโอนิก : กรดบิวทีริก ที่เกิดขึ้นจะมีค่าผันแปรตามสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น หากมีสัดส่วนของอาหารหยาบมากจะมีปริมาณ กรดอะซิดิกสูงกว่ากรดโปรปีโอนิกและกรดบิวทีริก แต่ถ้าสัดส่วนของอาหารข้นมากกว่าอาหารหยาบ จะมีผลให้ปริมาณกรดอะซิดิกลดลง ปริมาณของกรดโปรปีโอนิกและกรดบิวทีริกเพิ่มสูงขึ้นตาม สัดส่วนของอาหารข้นที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตาราง 26 นอกจากนี้สัดส่วนของอาหารข้นที่เพิ่มขึ้น ยังมีผลต่อการลดปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวมอีกด้วย (ตาราง 27)

ตาราง 26 สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่มีผลต่อกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมนของ โค

สัดส่วนของอาหารหยาบ ต่ออาหารข้น	สัดส่วนของกรดไขมันระเหยง่าย (เปอร์เซ็นต์)		
	กรดอะซิดิก	กรดโปรปีโอนิก	กรดบิวทีริก
100 : 00	71.1	16.0	7.9
75 : 25	68.2	18.1	8.0
50 : 50	65.3	18.4	10.4
40 : 60	59.8	25.9	10.2
20 : 80	53.6	30.6	10.7

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ishler *et al.* (1996)

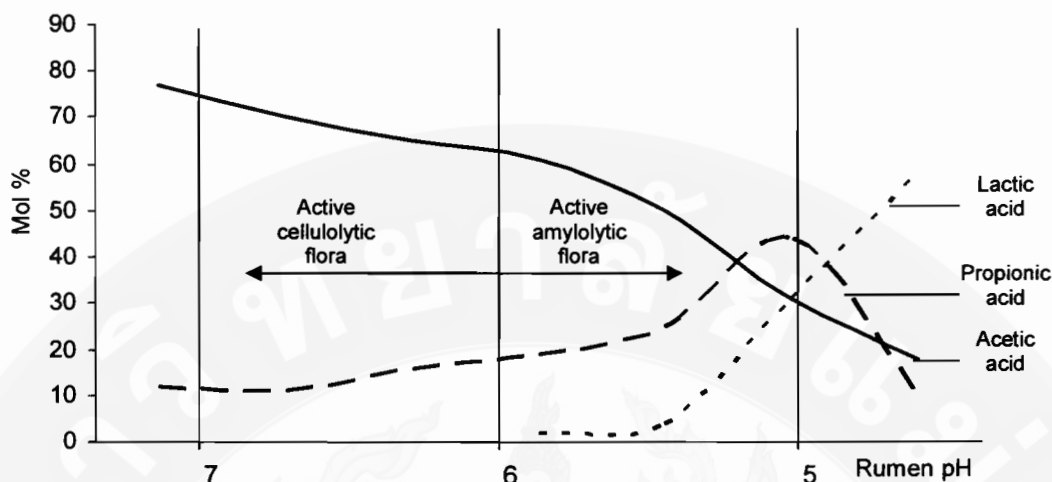
ตาราง 27 สัดส่วนของอาหารหยาดต่ออาหารข้นที่มีผลต่อกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมนของแกะ

สัดส่วนของอาหาร หยาดต่ออาหารข้น	กรดไขมันระเหยง่าย รวม (mM/l)	สัดส่วนของกรดไขมันระเหยง่าย (เปอร์เซ็นต์)			
		อะซิติก	โพรปีโอนิก	บิวทีริก	อื่นๆ
100 : 00	97	66	22	9	3
75 : 25	80	61	25	11	3
50 : 50	97	61	23	13	2
40 : 60	76	52	34	12	3
20 : 80	70	40	40	15	5

ที่มา: คัดแปลงจาก McDonald *et al.* (1995)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน

สภาวะในกระเพาะรูเมนมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากอาหาร เริ่มตั้งแต่สัตว์กินอาหารและเกิดกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ซึ่งในระยะแรกเป็นการหมักอาหารที่ย่อยง่ายพวกน้ำตาล ต่อมาเป็นพวกโปรตีนที่ละลายง่าย ระดับการหมักเกิดขึ้นสูงสุดระหว่าง 2-4 ชั่วโมงหลังจากสัตว์กินอาหาร โดยกรดแลคติกมีความเข้มข้นสูงกว่ากรดตัวอื่นๆ มีผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนลดลง ส่วนการย่อยพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน จะเกิดขึ้นในระยะหลังและนานกว่า มีช่วงเวลาดังแต่ 2-24 ชั่วโมง สอดคล้องกับวิโรจน์ (2546) ซึ่งกล่าวว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนอาหารข้นมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ มักมีปัญหาเรื่องการควบคุมสภาพสมดุลในกระเพาะรูเมน เนื่องจากการให้อาหารข้นสูงทำให้มีกรดแลคติกมากเกินไป ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนของโคจะลดลง ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างยังลดลงอีกเป็น 4.0 จะทำให้กระเพาะรูเมนของโคเกิดภาวะความเป็นกรดอย่างรุนแรง (Acidosis) และเมื่อโคได้รับอาหารที่มีสัดส่วนอาหารหยาดมากกว่าอาหารข้น ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะสูงขึ้น เพราะมีสัดส่วนของกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นทำให้มีการเคี้ยวเอื้อง และเพิ่มการหลั่งน้ำลาย ซึ่งมีส่วนทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นสู่สภาพที่เป็นกลาง เนื่องจากน้ำลายมีฟอสเฟต และไบคาร์บอเนตซึ่งมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ (เทอดชัย, 2548)



ภาพ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน
ที่มา: ดัดแปลงจาก Kaufmann *et al.* (1982)

ระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการใช้อาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จะต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญหลายๆ อย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่งมีความสำคัญต่อการผลิตเอนไซม์เพื่อทำการย่อยสลายสารอาหารประเภทพลังงาน ทั้งคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (เมธา, 2533) เพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญและมีประโยชน์ต่อตัวสัตว์ คือ กรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้จะเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องในการดำรงชีวิต และการให้ผลผลิตเนื้อและนมต่อไป (ฉลอง, 2546)

นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังสามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งโปรตีนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถใช้ในโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน ซึ่งจุลินทรีย์สามารถทำงานได้ดีภายในกระเพาะรูเมนที่มีค่า pH ที่เหมาะสมคือ 6.5-7.0 จุลินทรีย์จะสามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสมกับการย่อยอาหาร จากรายงานของ Satter and Slyter (1974) พบว่านอกจาก pH ที่เหมาะสมแล้วระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนก็มีความสำคัญต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งระดับที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4-5 mg% นอกจากนี้ Boniface *et al.* (1986) พบว่าระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสมควรจะอยู่ในช่วง 15-20 mg% ที่จะก่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลาย กระบวนการสังเคราะห์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมด้วย และยังก่อให้เกิดความสมดุลระหว่างพลังงานกับโปรตีนอีกด้วย

จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. แบคทีเรีย (Bacteria) สามารถแบ่งชนิดของแบคทีเรียในกระเพาะหมัก ตามชนิดของอาหารได้ดังนี้

1.1 แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส (Cellulolytic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะสามารถผลิตน้ำย่อยเซลลูเลส (Cellulase) ซึ่งสามารถย่อยเซลลูโลสได้ เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีมากที่สุดในการเพาะรูเมน

1.2 แบคทีเรียที่ย่อยเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulolytic bacteria) โดยทั่วไปแบคทีเรียที่สามารถย่อยเซลลูโลสได้จะสามารถย่อยเฮมิเซลลูโลสได้ด้วย จากการศึกษาของ Bryant and Small (1986) พบว่าแบคทีเรียชนิดนี้สามารถย่อยเยื่อใยได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นกรดบิวทีริก

1.3 แบคทีเรียที่ย่อยแป้ง หรืออะไมเลส (Amylolytic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารชั้นในระดับสูง และมีแป้งเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสบางชนิดสามารถใช้ประโยชน์จากแป้งได้เช่นกัน ได้แก่ *Clostridium locheadii* เป็นต้น

1.4 แบคทีเรียที่ใช้กรด (Utilizing acids bacteria) เป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้ประโยชน์จากกรดที่ได้จากการย่อยสลาย ได้แก่ *Selenomonas lactilytica* และ *S. ruminantium* พบว่าสามารถย่อยกรดแลคติกไปเป็นกรดโปรปิโอนิก กรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ เป็นต้น

1.5 แบคทีเรียที่ย่อยโปรตีน (Proteolytic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้กรดอะมิโนเป็นแหล่งพื้นฐาน ไม่มีการสร้างสปอร์ (Non-Spore forming) ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้จะไม่สามารถใช้ประโยชน์จากน้ำตาลได้เลย โดยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนโดยตรงได้แก่ *Peptostreptococcus ruminicola* นอกจากนี้ยังมีอีกบางชนิด เช่น *Clostridium sp.*, *Eubacterium ruminantium* เป็นต้น

1.6 แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic bacteria) พบว่ามีอยู่ 2 ชนิดที่สำคัญ ได้แก่ *Methanobacterium fomicicum* และ *M. ruminantium* แบคทีเรียกลุ่มนี้จะมีอยู่ค่อนข้างน้อย และมักจะเกาะอยู่กับโปรโตซัว แบบพึ่งพาอาศัยกัน

1.7 แบคทีเรียที่ย่อยไขมัน (Lipolytic bacteria) เป็นแบคทีเรียชนิดที่สามารถย่อยสลายไขมัน ให้เป็นกลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระได้

1.8 แบคทีเรียที่ย่อยแป้งและน้ำตาล (Fermenters of sugar bacteria) เป็นแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยโพลีแซคคาไรด์ได้ผลผลิตเป็น โมโนแซคคาไรด์ หรือไดแซคคาไรด์ซึ่งพบว่าถ้ามีน้ำตาลในปริมาณมากๆ จะไปลดการใช้ประโยชน์จากอาหารเชื้อย ชนิดแบคทีเรียที่พบ ได้แก่ *Lactobacillus* sp.

2. โปรโตซัว (Protozoa) โปรโตซัวเป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ มีประชากรประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของประชากรทั้งหมดในกระเพาะรูเมน ในสถานะที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีความเข้มข้นของโภชนะสูง จะทำให้ค่า pH ในกระเพาะรูเมนลดลง ส่งผลให้โปรโตซัวในกระเพาะรูเมนเจริญเติบโตได้ดี (Leng and Nolan, 1984) สามารถแบ่งโปรโตซัวออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

2.1 Horotrich มีขน (Cilia) รอบเซลล์สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วมากในของเหลวในกระเพาะรูเมน โปรโตซัวกลุ่มนี้สามารถใช้ประโยชน์จากแป้ง และส่วนประกอบอื่นๆ ที่สามารถละลายได้ง่ายในอาหาร

2.2 Entodiniomorphs มีขนบางบริเวณเท่านั้น แต่มีลักษณะพิเศษคือ มีขนที่สามารถทำหน้าที่ได้ 2 อย่าง คือ ช่วยในการเคลื่อนที่ และช่วยในการจับกินอาหาร โปรโตซัวกลุ่มนี้จะมีความสามารถในการใช้สารอาหารมากกว่าในกลุ่มแรก เช่น เซลล์พืชขนาดเล็กๆ และผนังของเซลล์พืช ผลผลิตสุดท้ายส่วนใหญ่จะเป็นกรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดบิวทีริก ส่วนก๊าซไฮโดรเจน และกรดโปรปิโอนิกมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3. เชื้อรา (Fungi) โดยทั่วไปแล้วเชื้อราในกระเพาะรูเมนสามารถย่อยสลายอาหารเชื้อยจากผนังเซลล์พืชได้ ในการย่อยสลายนั้นเชื้อราจะเจริญที่ผิวของอาหาร จึงสามารถย่อยอาหารหยาบและผลพลอยได้ทางการเกษตรอื่นๆ ได้

โดยปกติจุลินทรีย์จะเข้ายึดเกาะกับอาหารอย่างจำเพาะเจาะจง โดยอาศัยปัจจัยทางกายภาพของอาหารจึงเป็นข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งในการย่อยอาหารของจุลินทรีย์ ผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากการย่อยอาหารหยาบ และอาหารข้นจะแตกต่างกันออกไป อาหารพวกเมล็ดธัญพืชมีผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนเนื่องจากเกิดกระบวนการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว และอาจทำให้มีปริมาณกรดเพิ่มขึ้น อาจส่งผลกระทบต่อภาวะความเป็นกรดอย่างรุนแรงในกระเพาะรูเมนได้ (Acidosis) ส่วนอาหารหยาบจะเพิ่มกระบวนการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนอย่างช้าๆ ทำให้เกิดระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนอย่างเหมาะสม ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนในระยะสั้นๆ ดังนั้นการจัดการสัดส่วนระหว่างอาหารข้น และอาหารหยาบในระดับที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญ เพราะอาจก่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายที่เหมาะสม เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารได้

นอกจากนี้ยังพบว่า สามารถเพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสและทำให้ระดับกลูโคส และ เซลโลไบโอสเพิ่มขึ้น และยังทำให้ค่า pH ในกระเพาะรูเมนอยู่ในระดับที่เหมาะสมด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนและพลังงานจากกรดไขมันระเหยง่าย

จากการรายงานของ Preston and Leng (1987) พบว่าการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนมีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานในรูป ATP เพื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะมีอัตราการเจริญเติบโตดีถ้าได้รับพลังงานอย่างเพียงพอ ซึ่งประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์จะแสดงโดยค่า Y_{ATP} ซึ่งเป็นค่าของน้ำหนักแห้ง (กรัม) ของเซลล์จุลินทรีย์ที่ถูกสร้างขึ้นจากพลังงาน 1 โมลของ ATP ซึ่งพบว่าค่า Y_{ATP} ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะอยู่ในช่วงระหว่าง 8-25 กรัม/โมลของ ATP นอกจากนี้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนยังเกี่ยวข้องกับการผลิตความร้อนและการสังเคราะห์ก๊าซมีเทนด้วย

Leng (1997) รายงานว่า ประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจะมีผลต่อสมดุลระหว่างอัตราส่วนของโปรตีน/พลังงาน (P/E Ratio) ซึ่งค่านี้จะใช้บ่งบอกถึงโปรตีนที่ถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อพลังงานที่ได้จากการดูดซึมกรดไขมันระเหยได้ ถ้าหากมีการสังเคราะห์จุลินทรีย์ได้ในระดับสูงก็จะสามารถลดการใช้แหล่งโปรตีนไหลผ่านในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง จากการศึกษาของ Preston และ Leng (1987) ได้รายงานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานในโคเพศผู้ตอน โดยศึกษาจากค่า Y_{ATP} 4 ระดับ คือ 8, 14, 19 และ 25 พบว่า การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจะเพิ่มขึ้นตามระดับ Y_{ATP} โดยวัดได้ 500, 800, 1,010 และ 1,020 กรัม/วันตามลำดับ

สุรศักดิ์ (2542) ได้ทำการศึกษาทดแทนโปรตีนกากถั่วเหลืองด้วยแคสซาเรียที่ระดับ 30, 70 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่า P/E Ratio อยู่ในช่วง 14.6-15.2 กรัม/MJ สอดคล้องกับ ปราโมทย์ (2541) ได้ศึกษาถึงผลของอาหารคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนไหลผ่านในโคนมเพศผู้ พบว่าค่า P/E Ratio อยู่ในช่วง 10.27-14.84 กรัม/MJ ทั้งนี้ค่า P/E Ratio ที่ต่ำหรือสูงมากเกินไปย่อมไม่เป็นผลดี เพราะอาจหมายถึงการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนต่ำ หรือการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้สูงขึ้นทำให้เกิดความร้อนและอาจส่งผลกระทบต่อสภาวะนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนได้

สัดส่วนของอาหารหยาบและอาหารข้นต่อการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

การจัดการสัดส่วนของอาหารข้นและอาหารหยาบ มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน เนื่องจากก่อให้เกิดประสิทธิภาพของกระบวนการหมัก โดยอาหารหยาบจะช่วยกระตุ้นการขยอกอาหารออกมาเคี้ยวเอื้อง กระตุ้นการขับน้ำลาย ซึ่งมีหน้าที่ปรับค่า pH ภายในกระเพาะรูเมนให้เหมาะสม ทำให้ไม่เป็นกรดจนเกินไป ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนได้ ส่วนอาหารข้นเป็นแหล่งพลังงานและแอมโมเนีย ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ (เมธา, 2533)

สัดส่วนของอาหารหยาบ และอาหารข้นนี้จะมีผลทำให้เกิดสมดุลของระบบนิเวศภายในกระเพาะรูเมน ซึ่งก่อให้เกิดการย่อยได้ของวัตถุดิบมากขึ้น โดยจะไปมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนและมีผลต่อประชากรจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งไชยวรรณ (2532) ทำการศึกษาผลของแหล่งอาหารหยาบต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสในโคและกระบือปลัก โดยใช้ฟางข้าว ฟางหมักยูเรีย และหญ้าชิกแนล เป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่าในกระบือมีแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสเฉลี่ย 9.77×10^9 CFU/ml และในโคมี 7.50×10^9 CFU/ml และพบว่าในกลุ่มที่ได้รับฟางข้าว ฟางหมักยูเรีย และหญ้าชิกแนล มีค่าเฉลี่ยประชากรแบคทีเรียเท่ากับ 11.97, 9.94 และ 6.58×10^9 CFU/ml ตามลำดับ

Ramu *et al.* (1997) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมนของแพะ และแกะที่ได้รับเมล็ดสะเดาทบแตกเป็นแหล่งโปรตีน ร่วมกับแหล่งอาหารหยาบต่างๆ พบว่า กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด และจำนวนโปรโตซัวจะเพิ่มขึ้นหลังจากการให้อาหารข้าวโม่งที่ 2 และแบคทีเรียที่พบส่วนใหญ่จะมีรูปร่างเป็นแบบแท่ง (Rods) ส่วนเชื้อราจะเป็นพวก Polycentric

Bail *et al.* (1997) ได้ทำการศึกษาสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นในสัดส่วนต่าง ๆ คือ 65:35, 50:50, 35:65 และ 20:80 พบว่าค่า pH ในกระเพาะรูเมนจะลดลงเมื่อระดับของอาหารข้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากการลดปริมาณของแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสลง เนื่องจากมีอาหารจำพวกเยื่อใยอยู่น้อย และยังพบว่าระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และกรดไขมันระเหยได้เพิ่มสูงขึ้นตามระดับของอาหารข้นที่เพิ่มขึ้น

นอกจากการจัดสัดส่วนของอาหารข้นและอาหารหยาบที่เหมาะสมแล้ว ระดับของไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เช่นกัน Ali *et al.* (1997) ได้ทำการศึกษาการใช้แหล่งไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนในระดับที่แตกต่างกัน ร่วมกับระดับอาหารที่ใช้ได้แก่ 30, 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ พบว่าการใช้แหล่งไนโตรเจนที่ไม่ใช่

โปรตีนที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์มีผลทำให้ประชากรจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ในระดับ 30 และ 70 เปอร์เซ็นต์ แต่พบว่าไม่มีผลกระทบต่อค่า pH ในกระเพาะรูเมน สอดคล้องกับการศึกษาของ Khandaker and Tareque (1997) พบว่า โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนมีผลต่อการสังเคราะห์ จุลินทรีย์โปรตีน และประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของโค

การหาการย่อยได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

โดยทั่วไปการวัดการย่อยได้สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การทดลองกับตัวสัตว์ (*In vivo* method) และการทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือนอกตัวสัตว์ (*In vitro* method)

1. การหาค่าการย่อยได้โดยการทดลองกับตัวสัตว์ (*In vivo* method) เป็นการวิเคราะห์ ส่วนประกอบทางโภชนาของอาหารสัตว์ สามารถบ่งบอกถึงเปอร์เซ็นต์ของโภชนาที่มีอยู่ใน อาหารชนิดนั้น แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าโภชนาที่มีอยู่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างแท้จริงใน ตัวสัตว์เนื่องจากอาหารที่กินเข้าไปไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด โดยมีโภชนาบางส่วน ที่สูญเสียไปในระหว่างกระบวนการย่อย การดูดซึม และการเปลี่ยนแปลงของอาหารภายในร่างกาย ดังนั้นการประเมินคุณภาพอาหารจึงนิยมทำโดยวิธีการวัดการย่อยได้ของอาหารซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ (ทรงศักดิ์ และบุทรชัย, 2542)

1.1 วิธีการชั่งน้ำหนักทั้งหมด (Total collection method หรือ Conventional method) โดยให้สัตว์กินอาหารทดลอง ชั่งน้ำหนักของอาหารที่สัตว์กินและชั่งน้ำหนักมูลที่ถ่าย ออกมา เก็บตัวอย่างปัสสาวะทั้งหมด และสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของ โภชนา และคำนวณหาการย่อยได้ ด้วยสมการ

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ (\%)} = 100 - \frac{(\text{โภชนาที่กิน} - \text{โภชนาที่ออกทางมูล}) \times 100}{(\text{โภชนาที่กิน})}$$

การศึกษาการย่อยได้ของโภชนาโดยใช้สัตว์ทดลองจำเป็นต้องคัดเลือกสัตว์ที่มีความสม่ำเสมอทั้งในด้านอายุ น้ำหนักตัว และพันธุกรรม เพื่อไม่ให้เกิดความแปรปรวนจากตัว สัตว์ และเพื่อให้อาหารทดลองเข้าไปแทนที่อาหารเดิมในระบบทางเดินอาหาร สำหรับสัตว์ เคี้ยวเอื้องถ้าเป็นอาหารปกติใช้เวลา 7-10 วัน ถ้าเป็นอาหารแปลกใหม่จะต้องใช้เวลา 14-21 วัน และช่วงที่วัดปริมาณอาหารที่สัตว์กินจริงและมูลสัตว์ที่ถ่ายออกมาทั้งหมด (ถ้าให้อาหารระดับคงที่) ใช้เวลาประมาณ 7 วัน แต่ถ้าต้องการวัดปริมาณอาหารที่กินได้ใช้เวลา 7-10 วัน (บุญล้อม, 2541)

1.2 วิธีการใช้ตัวบ่งชี้ (Indicator หรือ Marker) เป็นวิธีการทางอ้อม เพราะไม่ต้องเก็บตัวอย่างมูลทั้งหมดของสัตว์ที่ขับถ่ายออกมา โดยใช้สารบ่งชี้ร่วมกับอาหารทดลองให้สัตว์กิน เพื่อแสดงถึงปริมาณอาหารที่เคลื่อนที่ผ่านทางเดินอาหารในส่วนต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งสารบ่งชี้ เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1.2.1 ตัวบ่งชี้ภายใน (Internal indicator) เป็นสารที่กระจายอยู่ทั่วไปในอาหาร เช่น Lignin (70% , H_2SO_4) หรือเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble Ash ; AIA) ต้องวิเคราะห์หา AIA ในอาหารทดลองและต้องทราบปริมาณการกินได้ของสัตว์ที่แน่นอน โดยการสุ่มตัวอย่างมูลจากสัตว์ทดลองเป็นรายตัว หลาย ๆ วันติดต่อกัน นำมูลที่ได้ในแต่ละวันมาผสมกัน แล้วสุ่มมาประมาณ 500 กรัม นำมาอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสจนแห้ง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หา AIA หรือโกชนะที่เหลืออยู่ในมูลเพื่อหาการย่อยได้ของโกชนะตามสูตร (ทรงศักดิ์ และยุทธชัย, 2542)

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโกชนะ (\%)} = 100 - 100 \times \left(\frac{\%AIA \text{ ในอาหาร} \times \% \text{โกชนะในมูล}}{\%AIA \text{ ในมูล} \times \% \text{โกชนะในอาหาร}} \right)$$

1.2.2 ตัวบ่งชี้ภายนอก (External indicator) เป็นการใช้สารเคมีที่เติมเข้าไปในอาหารทดลอง สารเคมีที่นิยมได้แก่ Chromic oxide (Cr_2O_3) ทำการผสม Cr_2O_3 ลงในอาหารให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ แล้ววิเคราะห์หาปริมาณของ Cr_2O_3 ที่มีในอาหารผสมกับมูลที่ถ่ายออกมาเพื่อนำมาคำนวณหา เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ ตามสูตรดังต่อไปนี้ (ทรงศักดิ์ และยุทธชัย , 2542)

$$\% \text{ การย่อยได้} = \frac{\frac{\text{วัตถุแห้งในอาหาร} - \text{วัตถุแห้งในมูล}}{Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}}}{\frac{\text{วัตถุแห้งในอาหาร}}{Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}}} \times 100$$

2. การหาการย่อยได้โดยการทดลองในห้องปฏิบัติการ (*In vitro* method) เป็นการวิเคราะห์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเนื่องจากการวัดการย่อยได้ในตัวสัตว์ เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และใช้แรงงานเป็นจำนวนมาก จึงมีการพัฒนาการย่อยได้โดยการเลียนแบบสภาวะภายในทั้งหมดให้

เหมือนกับการย่อยที่เกิดขึ้นจริงในสัตว์ ซึ่งมีย่อยหลายวิธีที่นิยมใช้กัน ตามที่บุญล้อม (2541) ได้นำเสนอไว้คือ

2.1 วิธีการ 2 ขั้นตอน ของ Tilley and Terry (Two – stages *in vitro* method) วิธีนี้ได้รับความนิยมมานาน แต่ภายหลังเมื่อมีการพัฒนาวิธีอื่นที่สามารถให้ข้อมูลได้มากกว่าและมีความแม่นยำสูงกว่า วิธีนี้จึงได้รับความนิยมลดลง วิธีการ คือ นำอาหารที่บดแล้วประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติมของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่ผสมกับสารละลายและบัฟเฟอร์ไว้แล้วจำนวน 50 มิลลิลิตร เพื่อรักษา pH ให้อยู่ในสภาพใกล้เคียงกับกระเพาะรูเมนจริง แล้วนำไปแช่บ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ภายใต้สภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic) จากนั้นทำการฆ่าเชื้อแบคทีเรียโดยใช้กรดเกลือ แล้วย่อยต่อด้วยเอนไซม์เปปซิน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง กรองส่วนที่เหลือซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ถูกย่อย นำไปอบให้แห้ง เพื่อกำหนดค่าวัตถุดิบ จากนั้นนำไปเผาจะทราบค่าอินทรียวัตถุ นำค่าที่ได้ไปหักออกจากส่วนที่มีในอาหารตั้งแต่เริ่มต้น จะทราบค่าวัตถุดิบที่ย่อยได้ (Digestible dry matter; DDM) และอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ (Digestible organic matter) แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโภชนะทั้งสองต่อไป (Dry matter digestibility; DMD และ Organic matter digestibility; OMD)

2.2 วิธีการเอนไซม์เปปซิน- เซลลูเลส (Pepsin-cellulase technique) โดยใช้เอนไซม์ที่สกัดจากจุลินทรีย์มาบ่มกับตัวอย่าง มีข้อดีคือสามารถทำได้รวดเร็ว ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาทั้งคุณภาพของเอนไซม์และวิธีการวิเคราะห์ทำให้ได้ค่าที่แม่นยำขึ้น สะดวกสำหรับห้องปฏิบัติการที่ไม่มีสัตว์เจาะกระเพาะ มีวิธีการคือ นำตัวอย่างอาหารมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วบดให้มีขนาด 1 มิลลิเมตร ผสมให้วัตถุดิบเข้ากันดี ซึ่งอาหาร 300 มิลลิกรัมใส่ใน Glass filter-crucible เติม Pepsin-hydrochloric acid solution ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จำนวน 30 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และหลังจากบ่มไป 5 ชั่วโมง ให้คนสารใน Crucible นำไปแช่ใน Water bath ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที แล้วดูดสารละลายออกด้วยปั๊มและล้างกากด้วยน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เติม Cellulase - buffer solution ที่มีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จำนวน 30 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และหลังจากบ่มไป 5 ชั่วโมงให้คนสารใน Crucible เมื่อบ่มครบ 24 ชั่วโมง ดูดสารละลายออก และล้างกากด้วยน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นำกากที่ไม่ย่อยไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่เพื่อหาค่าวัตถุดิบในกาก และนำกากไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เพื่อหาอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในกาก และนำไปวิเคราะห์หาโปรตีนรวม และโปรตีนแท้ คำนวณหาการย่อยได้ของวัตถุดิบอินทรียวัตถุ โปรตีนรวม และโปรตีนแท้ จากสมการ (De Boever *et al.*, 1986)

$$\text{Digestibility (\%)} = \left(\frac{W_o - W_T}{W_o} \right) \times 100$$

เมื่อ W_o = ปริมาณโภชนะในอาหารก่อนหมักย่อย

W_T = ปริมาณโภชนะในกากอาหารหลังจากการหมักย่อย

เมื่อนำค่าการหมักย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter Digestibility; OMD) และไขมัน (Ether Extract; EE) ไปคำนวณเป็นค่าพลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolizable Energy; ME) และค่าพลังงานสุทธิเพื่อใช้ในการให้นม (Net energy for lactation; NEL) โดยใช้สมการที่ De Boever *et al.* (1986) ได้เสนอไว้ดังนี้

$$\text{ME (MJ / kg DM)} = 0.150 \times \text{OMD} + 0.214 \times \text{EE} - 0.99 \quad [R^2 = 0.96]$$

$$\text{NEL (MJ / kg DM)} = 0.112 \times \text{OME} + 0.159 \times \text{EE} + 2.37 \quad [R^2 = 0.96]$$

2.3 วิธีใช้ถุงไนลอน (nylon bag technique) หรือ *In sacco* ได้รับการพัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษ และได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เพราะให้ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการย่อยสลายของอาหารที่เป็นประโยชน์มาก การทดลองด้วยวิธีนี้จะต้องใช้สัตว์ทดลองอย่างน้อย 3 ตัว ซึ่งสัตว์ทุกตัวได้รับการผ่าตัดเจาะกระเพาะและใส่ท่อเก็บตัวอย่างอาหาร (Fistula) แล้ว ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างอาหารทดลอง โดยนำอาหารมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ใช้ถุงไนลอนขนาด 7x 15 เซนติเมตร ที่มีขนาดรูของถุง 40 ไมโครเมตร ชั่งตัวอย่างอาหาร 3 กรัม ใส่ลงในถุงไนลอนที่ทราบน้ำหนักคงที่ แล้วผูกถุงเข้ากับสายยาง จากนั้นนำไปหย่อนเพื่อหมักแช่ในกระเพาะรูเมน เป็นระยะเวลา 4, 8, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมงสำหรับตัวอย่างที่เป็นอาหารหยาบ และ 2, 4, 8, 16, 24, 36 และ 48 ชั่วโมงสำหรับตัวอย่างที่เป็นอาหารข้น ตัวอย่างอาหารที่หมักย่อย 0 ชั่วโมงให้นำถุงที่ใส่อาหารไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำถุงทั้งหมดออกมาล้างด้วยน้ำเปล่าจนน้ำใส แล้วนำถุงไปอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างอาหารที่ได้นี้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณวัตถุแห้ง นำตัวอย่างอาหารไปเผาที่ อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ แล้วทำการคำนวณหาปริมาณโภชนะที่สูญหายจากสูตร (อำพล, 2544)

$$\text{โภชนะที่สูญหาย (Disappearance) (\%)} = \left[\frac{(W_o - W_T)}{W_o} \right] \times 100$$

เมื่อ W_o = ปริมาณโภชนะในอาหารก่อนหมักย่อย

W_T = ปริมาณโภชนะในกากอาหารหลังจากการหมักย่อย

นำค่าการสูญหาย (Disappearance) ของโภชนะต่าง ๆ เข้าโปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY เพื่อคำนวณหาการย่อยสลายของโภชนะต่าง ๆ ได้จากสมการที่เสนอโดย Ørskov and McDonald *et al.* (1979) คือ

$$P = (a + b) \times (1 - e^{-ct})$$

เมื่อ P = ค่าการย่อยสลายได้ที่ช่วงเวลาต่างกัน (%)

a = ส่วนที่ละลายได้ทันที (%)

b = ส่วนที่ละลายไม่ได้แต่สามารถเกิดขบวนการหมักย่อยได้ (%)

e = log ฐาน 10

c = อัตราการย่อยสลายได้ของ b (h^{-1})

t = ช่วงระยะเวลาในการหมักบ่ม

2.4 วิธีวัดปริมาณก๊าซ (Gas production technique) เป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมันเพื่อให้สามารถทำนายการย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ และค่าพลังงานในอาหารได้ ต่อมาได้มีการดัดแปลงให้สามารถวัดอัตราการย่อยสลายของอาหารได้ด้วยวิธีการนี้เป็นวิธีที่สามารถประเมินการย่อยได้ใกล้เคียงกับการใช้สัตว์ทดลองมากที่สุด (Pell and Schofield, 1993) โดยอาศัยความรู้จากการหมักย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์จากของเหลวในกระเพาะรูเมนจะทำให้เกิดแก๊สขึ้น ซึ่งได้มีการพัฒนาวิธีการและการคำนวณเพื่อใช้ทำนายคุณค่าทางอาหารได้ ก๊าซที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตให้เป็นกรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty acid) ได้แก่ กรดอะซิติก กรดไพรูวิก และกรดบิวทีริก (Beuvink and Spoelatra, 1992) ส่วนของโภชนะอื่น เช่น โปรตีนและไขมัน เมื่อถูกหมักจะได้ปริมาณแก๊สน้อยกว่าคาร์โบไฮเดรต (Menke and Steingass, 1988)

การประเมินคุณค่าทางอาหารโดยวิธีวัดปริมาณก๊าซทำได้โดยการชั่งตัวอย่างแห้งที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ประมาณ 230 มิลลิกรัมใส่หลอดแก้ว (Glass syringe) สอด

แกนต้นที่ทาวาสลินแล้วเข้ากับหลอดแก้ว แล้วนำหลอดที่ใส่ตัวอย่างไปแช่บ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส (ใกล้เคียงกับสภาพภายในกระเพาะรูเมน) แล้วเคี้ยวและสลายของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่เก็บจากกระเพาะโคที่เจาะกระเพาะแล้วซึ่งได้เติมบัฟเฟอร์ แร่ธาตุ และสารละลายต่าง ๆ ปริมาณ 30 มิลลิลิตรเข้าไปผสมกับตัวอย่างแล้ว นำไปบ่มต่อที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส อ่านค่าก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอดแก้ว แล้วนำค่าก๊าซเมื่อบ่มครบ 24 ชั่วโมง มาหาค่าแก๊สสุทธิ ที่ 24 ชั่วโมง โดยสมการดังนี้

$$GP \text{ (ml / 200 mgDM, 24h)} = \left[\frac{(V_{24} - V_0 - GP_0) \times 200 \times (Fh + Fc)}{W} \right] / 2$$

- เมื่อ
- V_0 = ปริมาตรส่วนผสมทั้งหมดที่อ่านได้ก่อนนำหลอดตัวอย่างที่ผสมของเหลวจากกระเพาะรูเมนไปแช่บ่ม
 - V_{24} = ค่าที่อ่านได้เมื่อแช่บ่มส่วนผสมของตัวอย่างครบ 24 ชั่วโมง
 - GP_0 = ค่าเฉลี่ยของก๊าซที่เกิดในหลอด blank ที่ไม่ได้ใส่ตัวอย่างอาหารที่ต้องศึกษาที่ 24 ชั่วโมง
 - Fh = ค่าก๊าซมาตรฐานของหญ้าแห้ง / ($GP_h - GP_0$)
 - Fc = ค่าก๊าซมาตรฐานของอาหารข้น / ($GP_h - GP_0$)
 - W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นมิลลิกรัมวัตถุแห้ง

นำค่าที่ได้มาแทนค่าในสมการรีเกรซันเพื่อคำนวณหาการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (IVOMD, %) พลังงานใช้ประโยชน์ และพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (ME และ NEL, MJ / kgDM) ดังนี้ (Menke and Steingass, 1988)

$$IVOMD = 15.38 + 0.8453GP + 0.0595P + 0.0675XA \quad (R^2 = .91)$$

$$ME = 2.20 + 0.1357GP + 0.0057XP + 0.0002859XL^2 \quad (R^2 = .94)$$

$$NEL = 0.54 + 0.0959GP + 0.0038XP + 0.001733XL^2 \quad (R^2 = .93)$$

เมื่อ	IVOMD = อินทรีย์วัตถุย่อยได้ (%)
ME	= พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable Energy) (MJ/kgDM)
NEL	= พลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (Net Energy for Lactation) (MJ/kgDM)
GP	= ค่าแก๊สที่ 24 ชั่วโมงหลังจากปรับแล้ว (ml)
XP	= โปรตีน (g/kgDM)
XL	= ไขมัน (g/kgDM)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

เวลา

เริ่มดำเนินการ	เดือน มิถุนายน 2549
เสร็จสิ้น	เดือน พฤษภาคม 2550

สถานที่ทำการวิจัย

สถานที่

1. ฟาร์มโคนม สาขาโคนม-โคเนื้อ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

1. โคนมเพศเมียลูกผสม(โฮลสไตน์ฟรีเชียน x พันเมือง) ที่ผ่าตัดเจาะกระเพาะรูเมนแล้วอย่างถาวร จำนวน 4 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 350 ± 30 กิโลกรัม
2. โรงเรือนแบบผูกยืนโรงซึ่งมีบริเวณให้อาหารและน้ำแยกอิสระต่อกัน
3. เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 7 กิโลกรัม และ 500 กิโลกรัม
4. ถังไนลอน ขนาด 9×14 เซนติเมตร มีความห่างถุง 40μ
5. สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 1 ฟุต จำนวน 28 เส้น
6. เชือกขนาด 2 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 1 เมตร
7. อุปกรณ์ทำความสะอาดถังไนลอน
8. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะอาดคอกโคทดลอง
9. อุปกรณ์ที่ใช้ในการให้อาหารโคทดลอง
10. อุปกรณ์และชุดวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์
11. เครื่องมือวัดค่า pH แบบ Hand pH รุ่น HI 98107

12. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอาหารและมูล
13. กระบอกเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมน
14. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ง่ายด้วยเครื่อง HPLC (Shimadzu Corporation, Chiyoda-ku, Japan) และแอมโมเนียในโตรเจน โดยวิธีการกลั่นด้วยเครื่อง HJELYEC AUTO 1030 Analysis
15. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเลี้ยงเชื้อ (ดังแสดงในภาคผนวก)
16. อาหารทดลอง ได้แก่ เศษข้าวโพดหวานหมัก เศษข้าวโพดหวานหมักผสมกับกระถิน 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทดลองครั้งนี้แบ่งการทดลองเป็น 4 การทดลอง ในแต่ละการทดลองวางแผนการทดลองเป็นแบบ 4x4 ลาตินสแควร์ (Latin Squares Design) สุ่มใช้โคนมเพศเมียลูกผสม (โฮลสไตน์ ฟรีเซียน x พันเมือง) ที่ผ่าตัดเจาะกระเพาะรูเมนแล้วอย่างถาวร จำนวน 4 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 350 ± 30 กิโลกรัม ให้ได้รับอาหารแห้งในอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว อาหารทดลองมี 4 สูตรดังนี้

สูตรที่ 1 เศษข้าวโพดหวานหมัก (สูตรที่ 1)

สูตรที่ 2 เศษข้าวโพดหวานหมักผสมกระถิน 10 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 2)

สูตรที่ 3 เศษข้าวโพดหวานหมักผสมกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3)

สูตรที่ 4 เศษข้าวโพดหวานหมักผสมกระถิน 30 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 4)

การทดลองที่ 1 การศึกษาการสลายตัวของโภชนะภายในกระเพาะรูเมน โดยวิธีใช้ถุงไนลอน (Nylon bag technique)

การทดลองที่ 2 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะโดยวิธีการใช้สารชี้บ่ง (Indicator method)

การทดลองที่ 3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือด (Blood urea nitrogen ; BUN)

การทดลองที่ 4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

การเตรียมอาหารทดลอง

การหมักเศษข้าวโพดหวาน

1. เศษข้าวโพดหวานหมัก ใช้เศษข้าวโพดหวานโรงงานอาหารกระป๋อง จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการหมักในถุงพลาสติกชนิดเหนียวขนาด 25×30 นิ้ว บรรจุถุงละ 30 กิโลกรัม หลังจากนั้นใส่เศษข้าวโพดหวานอัดให้แน่น และใช้เครื่องดูดอากาศออกจากถุงให้มากที่สุดก่อนมัดด้วยเชือกให้แน่น แล้วสวมทับด้วยถุงอาหารสัตว์ มัดด้วยเชือกให้แน่นอีกครั้ง หมักทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ก่อนนำมาใช้

2. ตัดกิ่งกระถินสดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 เซนติเมตร รวบรวมแล้วนำมาสับด้วยเครื่องสับให้มีขนาดประมาณ 1.5-2.0 ซม. นำกระถินที่สับแล้วมาหมักร่วมกับเศษข้าวโพดหวานในอัตราส่วนที่กำหนดคือ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คลุกเคล้ากระถินสับและเศษข้าวโพดหวานให้เข้ากันดี หลังจากนั้นใส่ลงในถุงพลาสติกชนิดเหนียวขนาด 25×30 นิ้ว บรรจุถุงละ 30 กิโลกรัม และใช้เครื่องดูดอากาศออกให้มากที่สุดก่อนมัดด้วยเชือกให้แน่น แล้วสวมทับด้วยถุงอาหารสัตว์ มัดด้วยเชือกให้แน่นอีกครั้ง หมักทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ก่อนนำมาใช้

ส่วนผสมอย่างเศษข้าวโพด กระถินสับ และเศษข้าวโพดหวานหมักชนิดต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเศษข้าวโพดหวาน กระถินสับ และเศษข้าวโพดหวานหมักชนิดต่างๆ ด้วยวิธี Proximate Analysis (AOAC, 1984) และวิเคราะห์เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF ตามวิธีของ Goering และ Van Soest (1970) ในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การทดลองที่ 1 การศึกษาการสลายตัวของโภชนะภายในกระเพาะรูเมนโดยวิธีใช้ถุงไนลอน (nylon bag technique) ตามวิธีการของ Ørskov and McDonald (1979)

วิธีการทดลอง

ถุงไนลอนที่ใช้มีขนาด 45 ไมโครเมตร มีขนาดถุง 9 x 14 เซนติเมตร ส่วนตัวอย่างอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร นำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและบดผ่านตะแกรงบดขนาด 1 มิลลิเมตร นำตัวอย่างอาหารประมาณ 3 กรัม ใส่ในถุงไนลอนที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และทราบน้ำหนักถุงที่แน่นอน มัดปากถุงให้แน่น แล้วมัดถุงไนลอนติดกับสายยางแล้ว

นำไปร้อยใส่เชือก จากนั้นนำไปแช่บ่มในกระเพาะรูเมนตามช่วงเวลาดังนี้ 0, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง แต่ละช่วงเวลา ใช้ถุงไนลอน 3 ซ้ำต่อโคทดลอง 1 ตัว เมื่อครบกำหนดเวลานำถุงไนลอนออกจากกระเพาะรูเมน นำตัวอย่างทดลองถุงไนลอนที่เวลา 0 ชั่วโมงไปแช่ใน Water bath อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ในการล้างถุงไนลอนจะนำถุงทั้งหมดล้างในภาชนะที่มีน้ำไหลตลอดเวลา เพื่อจัดเศษอาหารที่ติดอยู่ตามนอกถุงออกให้หมดจนกว่าน้ำจะใส ใช้เวลาล้างถุง 15 นาทีโดยประมาณ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่เหลือ หลังจากนั้นนำกากอาหารไปอบที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อคำนวณค่าวัตถุแห้ง ตามสูตรการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ DM disappearance} = \left(\frac{(W1+W2) - W3}{W2} \right) \times 100$$

เมื่อ $W1$ = น้ำหนักถุง

$W2$ = น้ำหนักตัวอย่าง

$W3$ = น้ำหนักถุง + ตัวอย่างหลังการแช่ในกระเพาะรูเมน

ค่าการสลายตัวของโภชนะในชั่วโมงต่างๆ ที่ได้นำมาหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการสลายตัวของโภชนะโดยโปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY (Chen, 2003) โดยใช้สมการจาก Ørskov & McDonald (1979) ดังนี้

$$P = a + b(1 - e^{-ct})$$

เมื่อ P = ค่าการย่อยสลายที่ช่วงเวลาต่าง ๆ (%)

a = ส่วนที่ละลายได้ทันที

b = ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถเกิดขบวนการหมักได้ (%)

c = อัตราการย่อยสลายของ b

t = ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

หลังจากคำนวณค่าการสลายตัวโดยโปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการสลายตัวในกระเพาะรูเมนได้แก่ ค่า A คือส่วนที่ละลายได้ทันที (Immediately

soluble fraction) ค่า B คือส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (Degradation of insoluble fraction) ค่า A+B คือค่าศักยภาพการสลายตัว (Potential degradation) ค่า c คืออัตราการสลายตัว (Degradation rate) ค่า L คือช่วงเวลาที่เริ่มถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Lag time) และ $ED_{0.02}$ และ $ED_{0.05}$ คือประสิทธิภาพการสลายตัว (Effective degradation) ที่อัตรา 0.02 และ 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ตามลำดับ

สัตว์ทดลองและการให้อาหาร

ใช้โคนมเพศเมียลูกผสม (โฮลสไตน์ฟริเซียน × พื้นเมือง) อายุ 4 ปี จำนวน 4 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 350 ± 30 กิโลกรัม แต่ละตัวถูกเจาะกระเพาะรูเมนใส่ท่อแบบถาวร (Permanent rumen fistulation) โคทุกตัวอยู่ในคอกผูกขึ้นโรงที่มีบริเวณที่ให้อาหารและน้ำแยกกัน มีน้ำสะอาดให้กินอย่างอิสระตลอดเวลา วางแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ กลุ่มการทดลอง 4 กลุ่ม คือ เปลือกและซังข้าวโพดหวานหมัก เปลือกและซังข้าวโพดหวานผสมกระถิน 10 เปอร์เซ็นต์, เปลือกและซังข้าวโพดหวานผสมกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ และเปลือกและซังข้าวโพดผสมกระถิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยให้กินอาหารแห้งในอัตรา 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 30-40 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันโดยให้อาหารวันละ 2 เวลา คือ 8:00 น. และ 17:00 น. แต่ละระยะมีระยะปรับตัว 14 วัน เพื่อให้ตัวสัตว์ทดลองและจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนได้ปรับสภาพกับอาหารที่จะใช้ทดลอง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการสลายตัวของโภชนะของเศษข้าวโพดหวานหมัก และเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินในระดับต่างๆ โดยใช้วิธีวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ตามแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1984) โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (มณฑชัย, 2537)

การทดลองที่ 2 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนาด้วยวิธีใช้สารชี้บ่ง (Indicator method)

สารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ เถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble Ash : AIA) ซึ่งเป็นสารที่มีอยู่แล้วในอาหารทดลอง

วิธีการทดลอง

ให้โคทดลองได้รับอาหารทั้ง 4 สูตร โดยให้กินในอัตรา 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ในแต่ละระยะของการทดลองใช้เวลาทั้งหมด 20 วัน โดย 14 วันแรกให้โคทดลองและจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนได้ปรับตัวให้เข้ากับอาหารทดลองที่ได้รับ (Preliminary period) และ 7 วันสุดท้ายสำหรับเก็บข้อมูล (Collection period) บันทึกปริมาณอาหารที่กิน เว้นระยะ 7 วันในแต่ละระยะการทดลอง ทำการวิเคราะห์หา AIA ในอาหารที่สัตว์กิน สุ่มเก็บตัวอย่างมูลในช่วง 6 วันสุดท้าย โดยสุ่มรายตัว และเก็บทุก ๆ วันติดต่อกัน สุ่มเก็บตัวอย่าง 3 ครั้งต่อวันคือเวลา 7:00 น., 12:00 น. และ 18:00 น. ในแต่ละเวลาสุ่มเก็บตัวอย่างมูลสดโดยล้วงคล้าผ่านทางทวารหนักจำนวน 500 กรัม นำมูลที่ได้จากตัวสัตว์ในแต่ละวันมาผสมกันแล้วสุ่มมาประมาณ 500 กรัม นำมาอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสจนแห้ง หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์หา AIA หรือโภชนาที่เหลืออยู่ในมูลเพื่อหาการย่อยได้ของโภชนา ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของสิ่งแห้ง (\%)} = 100 - 100 \times \left(\frac{\% \text{AIA ในอาหาร}}{\% \text{AIA ในมูล}} \right)$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนา (\%)} = 100 - 100 \times \left(\frac{\% \text{AIA ในอาหาร} \times \% \text{ โภชนาในมูล}}{\% \text{AIA ในมูล} \times \% \text{ โภชนาในอาหาร}} \right)$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของโภชนาในเศษข้าวโพดหวานหมัก และเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินในระดับต่างๆ ใช้วิธีวิเคราะห์ว่าเรียงลำดับแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1984) โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (มนต์ชัย, 2537)

การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือด

วิธีทำการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือด โดยใช้โคนมเพศเมียลูกผสม (โฮลสไตน์ฟริเซียน × พื้นเมือง) อายุ 4 ปี จำนวน 4 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 350 ± 30 กิโลกรัม แต่ละตัวถูกเจาะกระเพาะใส่ท่อแบบถาวร (Permanent rumen fistulation) ให้โคทดลองได้รับอาหารทั้ง 4 สูตร ในแต่ละระยะของการทดลอง (period) ใช้เวลาทั้งหมด 21 วันโดยให้กินอาหารแห้งในอัตรา 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 30-40 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันโดยให้อาหารวันละ 2 เวลา คือ 8:00 น. และ 16:00 น. มีระยะการทดลอง 14 วัน เพื่อให้โคทดลองและจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนได้ปรับตัวให้เข้าอาหารทดลอง เก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมนในวันสุดท้ายของการทดลองในแต่ละระยะการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างละประมาณ 300 มิลลิลิตร ตามช่วงเวลา 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมงหลังจากการให้อาหาร แล้วนำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทันทีด้วยเครื่องวัด pH แบบ Hand pH meter รุ่น HI 98107 และแบ่งตัวอย่าง 150 มิลลิลิตร เพื่อวิเคราะห์หาค่ากรดไขมันระเหยง่าย (กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก) ตามวิธีการที่ประยุกต์จาก Doane *et al.* (1997) โดยนำตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมนมาปั่นเหวี่ยงที่ $200 \times g$ เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นของเหลวใสจำนวน 1.5 มิลลิลิตรมาปั่นเหวี่ยงที่ $200 \times g$ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำของเหลวส่วนที่เป็นของเหลวใสเข้มข้นไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาละลายและดูดตัวอย่างมา 350 ไมโครลิตรใส่ลงในหลอดพลาสติก (Centrifuge tube) ที่มีกรดซัลฟูริกเข้มข้น 50 มิลลิโมล จำนวน 40 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที และทำการปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่ $4,000 \times g$ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงนำส่วนที่ใสไปวิเคราะห์หาค่ากรดไขมันระเหยง่ายด้วยเครื่อง HPLC (Shimadzu Corporation, Chiyoda-ku, Japan) โดยใช้คอลัมน์ ODS-3 (4.6×150 mm) (GL Science Inc. Shinjuku-ku, Japan) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้กรดซัลฟูริก 50 มิลลิโมล เป็นวัฏภาคไหล และใช้ UV-Vis Detector เป็นเครื่องตรวจวัด

ของเหลวจากกระเพาะรูเมนส่วนที่เหลืออีก 150 มิลลิลิตร กรองด้วยผ้าขาวบาง (Cheese cloth) 4-8 ชั้น แล้วนำส่วนที่กรองได้ 100 มิลลิลิตร มาเติม 72N H_2SO_4 1 มิลลิลิตร นำไปแช่ไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน หรือนำไปวิเคราะห์โดย

นำมาปั่นเหวี่ยงที่ $200 \times g$ เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนที่เป็นของเหลวใส 50 มิลลิลิตร ไปกลั่นภายใต้ภาวะมี MgO (Scholljegerdes *et al.*, 2004)

เก็บตัวอย่างเลือดจากเส้นเลือดใหญ่บริเวณคอ (Jugular vein) ประมาณ 3 มิลลิลิตร ตามช่วงเวลา 0, 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร จากนั้นแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วนำไปส่งตรวจวิเคราะห์หาปริมาณยูเรียในเลือดที่คณะสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทันที

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดไขมัน ระบายง่าย และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยใช้วิธีวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ตามแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1984) โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (มนต์ชัย, 2537)

การทดลองที่ 4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

ทำการศึกษาถึงสัดส่วนจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนโดยใช้วิธี Microscopic direct count และทำการศึกษาถึงแบคทีเรียที่สำคัญ ได้แก่ แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสและแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีน โดยดัดแปลงจากวิธี Roll tube technique (Hungate, 1969)

วิธีการทดลอง

โคทดลองได้รับอาหารทั้ง 4 สูตร ในแต่ละระยะของการทดลองใช้เวลาทั้งหมด 21 วัน เพื่อให้โคทดลองและจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนได้ปรับตัวให้เข้าอาหารที่กิน ทำการเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมนในวันสุดท้ายของการทดลองในแต่ละระยะการทดลองตามช่วงเวลาคือ 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมงหลังจากการกินอาหาร

จากนั้นทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมนประมาณ 1 มิลลิลิตร เติม 10 เปอร์เซ็นต์ Formalin 9 มิลลิลิตร เพื่อนำไปตรวจนับจำนวนโปรโตซัว (Total direct count) โดยใช้ Haemocytometer ขนาด 400 ช่อง ทำการนับ 4 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก)

สุ่มเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมนประมาณ 30 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดแล้วแช่ลงในน้ำเย็น อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำมาห้องปฏิบัติการจุลินทรีย์โดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อทำการเลี้ยงเชื้อต่อไป ส่วนนี้จะนำไปศึกษาถึงชนิดของแบคทีเรียที่สำคัญ ได้แก่ แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสและแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีน (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ใช้วิธีวิเคราะห์วาเรียนซ์ตามแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1984) โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (มนต์ชัย, 2537)



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (เศษข้าวโพดหวานหมัก และเศษข้าวโพดหวานหมัก ร่วมกับกระถินสับในระดับต่างๆ)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าเศษข้าวโพดหวานหมักที่ใช้ในอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง (DM) เท่ากับ 18.55, 18.81, 19.88 และ 21.05 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 21.05 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งต่ำที่สุดเท่ากับ 18.55 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตาราง 28

ตาราง 28 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

อาหารทดลอง	DM	GE	คุณค่าทางโภชนา (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)				
	%	(Mcal/kgDM)	OM	CP	CF	NDF	ADF
กระถิน (กิ่ง+ก้าน+ใบ)	30.66	3.82	91.56	20.22	31.66	57.52	36.01
เศษข้าวโพดหวาน	19.60	3.53	86.32	6.34	17.56	65.37	22.15
สูตรที่ 1	18.55	3.84	89.39	7.11	23.62	60.69	23.99
สูตรที่ 2	18.81	4.01	88.43	8.50	29.63	58.41	32.04
สูตรที่ 3	19.88	4.05	86.52	9.37	30.15	52.42	32.25
สูตรที่ 4	21.05	4.00	86.56	11.17	31.71	50.58	32.62

หมายเหตุ - สูตรที่ 1 = เศษข้าวโพดหวานหมัก, สูตรที่ 2 = เศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินสับ 10 เปอร์เซ็นต์, สูตรที่ 3 = เศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินสับ 20 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ 4 = เศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินสับ 30 เปอร์เซ็นต์

อาหารทดลองมีค่าเฉลี่ยอินทรีวัตถุ (OM) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้งเท่ากับ 89.39, 88.43, 86.52 และ 86.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อินทรีวัตถุสูงที่สุดเท่ากับ 89.39 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อินทรีวัตถุต่ำที่สุดเท่ากับ 86.52 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์โปรตีน (CP) พบว่า อาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 11.17 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 7.11 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้ง ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์โปรตีนของอาหารทดลองมีค่าเท่ากับ 7.11, 8.50, 9.37 และ 11.17 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้งตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เยื่อใย (CF) มีค่าสูงขึ้นตามระดับกระถินสับที่ใช้ในการหมัก มีค่าเท่ากับ 23.62, 29.63, 30.15 และ 31.71 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้งตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เยื่อใยสูงที่สุดเท่ากับ 31.71 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้ง และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เยื่อใยต่ำที่สุดเท่ากับ 23.62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าเฉลี่ยพลังงานรวม (GE) พบว่า อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.84, 4.01, 4.05 และ 4.00 Kcal/kg DM ตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยพลังงานรวมสูงที่สุดเท่ากับ 4.05 Kcal/kg DM และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยพลังงานรวมต่ำที่สุดเท่ากับ 3.84 Kcal/kg DM

อาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (NDF) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 60.69 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 50.58 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยเยื่อใย NDF ของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเท่ากับ 60.69, 58.41, 52.42 และ 50.58 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้งตามลำดับ ด้านค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (ADF) พบว่าอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 32.62 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้ง และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 23.99 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้ง โดยอาหารทั้ง 4 สูตรมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เยื่อใย ADF เท่ากับ 23.99, 32.04, 32.25 และ 32.62 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้ง ตามลำดับ

1. การศึกษาการสลายตัวของโภชนะในอาหารทดลอง โดยใช้วิธีถุงไนลอน

1.1 ค่าการสลายตัวของวัตถุแห้ง

เมื่อแช่ถุงไนลอนที่มีตัวอย่างอาหารทดลอง คือ เศษข้าวโพดหวานหมัก(สูตรที่ 1) เศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินสับ 10 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 2) 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) และ 30 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 4) ในกระเพาะรูเมนที่ชั่วโมงที่ 4, 8, 12, 24, 48, 72 และ 96 พบว่า ค่าการสลายตัวของวัตถุแห้งของอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าสูงขึ้นเมื่อชั่วโมงแช่บ่มนานขึ้น โดยค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งของอาหารทดลองที่ชั่วโมงแช่บ่มที่ 96 มีค่าเท่ากับ 63.02, 68.34, 74.33 และ 62.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

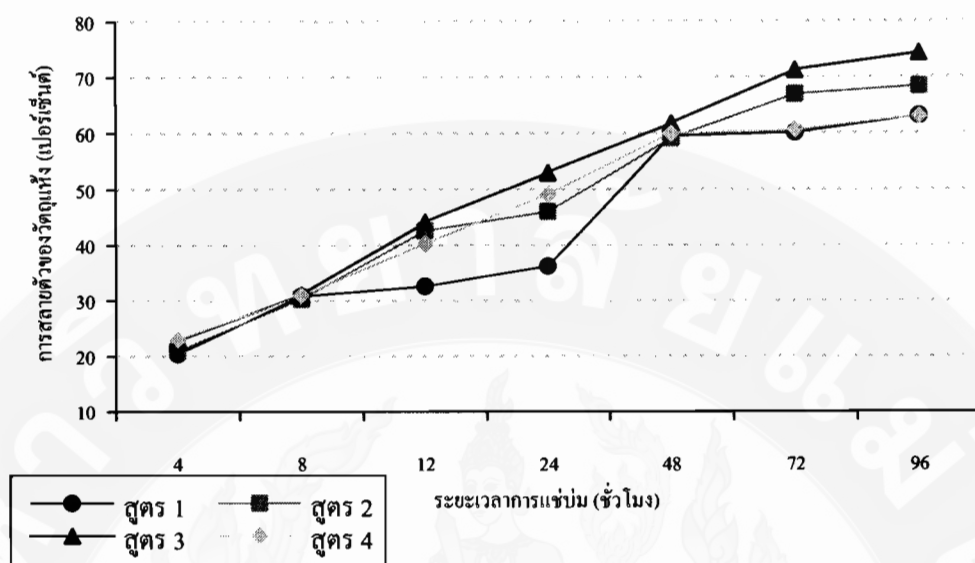
ในชั่วโมงแช่บ่มที่ 12 ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งของอาหารทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 44.18 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าการสลายตัวของวัตถุแห้งต่ำที่สุดเท่ากับ 32.58 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อแช่บ่มนาน 24 ชั่วโมง พบว่าอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 53.00 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าการสลายตัวของวัตถุแห้งต่ำที่สุดเท่ากับ 36.21 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตาราง 29 ภาพ 6

ตาราง 29 ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)

อาหารทดลอง	ระยะเวลาในการหมักย่อย (ชั่วโมง)						
	4	8	12	24	48	72	96
สูตร 1	20.41	30.75	32.58 ^B	36.21 ^b	59.46	60.06	63.02
สูตร 2	20.94	30.23	42.63 ^B	46.01 ^{ab}	59.03	66.92	68.34
สูตร 3	22.74	31.07	44.18 ^A	53.00 ^a	61.73	71.27	74.33
สูตร 4	23.00	30.90	40.32 ^A	49.21 ^a	59.89	60.52	62.97

^{ab} ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

^{AB} ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)



ภาพ 6 ค่าการสลายตัวของวัตถุแห้งของอาหารทดลอง

ค่าเฉลี่ยการละลายได้ (A) และค่าเฉลี่ยส่วนของวัตถุแห้งที่ไม่ละลายแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังตารางที่ 30 ค่าเฉลี่ยการละลายได้ (A) ของวัตถุแห้งของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเท่ากับ 10.00, 12.25, 13.52 และ 13.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการละลายได้ของวัตถุแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 13.52 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยการละลายได้ต่ำที่สุดเท่ากับ 10.00 เปอร์เซ็นต์ อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเฉลี่ยส่วนของวัตถุแห้งที่ไม่ละลายแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) เท่ากับ 74.03, 77.22, 83.33 และ 49.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 83.33 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 49.47 เปอร์เซ็นต์

อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเฉลี่ยศักยภาพในการย่อยสลายได้ (A+B) ของวัตถุแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 84.03, 89.42, 96.93 และ 62.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยศักยภาพในการย่อยสลายได้ (A+B) ของวัตถุแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 96.93 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 62.70 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยอัตราการย่อยสลาย (c) ของวัตถุแห้งของอาหารทั้ง 4 สูตรมีค่าเท่ากับ 0.024, 0.027, 0.061 และ 0.012 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยอัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้งของอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.061 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.012 เปอร์เซ็นต์ อาหารทดลองทุกสูตรมีค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาวัตถุแห้งถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (L) มีค่าเท่ากับ 0.0

ตาราง 30 ค่าพารามิเตอร์การสลายตัวของวัตถุแห้ง

อาหาร	ค่าพารามิเตอร์ของการสลายตัวของวัตถุแห้ง						
	A(%)	B(%)	A+B(%)	c(%h ⁻¹)	L(h)	ED _{0.02} (%)	ED _{0.05} (%)
สูตรที่ 1	10.00 ^C	74.03 ^{AB}	84.03 ^{AB}	0.024 ^B	0.0	46.52	34.42 ^c
สูตรที่ 2	12.25 ^B	77.22 ^B	89.42 ^B	0.027 ^B	0.0	48.96	35.35 ^{bc}
สูตรที่ 3	13.52 ^A	83.33 ^A	96.93 ^A	0.061 ^A	0.0	54.00	40.47 ^a
สูตรที่ 4	13.22 ^A	49.47 ^C	62.70 ^C	0.012 ^B	0.0	49.78	39.47 ^{ab}

^{abc} ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{ABC} ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

อาหารทดลองทุกสูตรมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง (ED_{0.02}) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 46.52, 48.96, 54.00 และ 49.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง (ED_{0.02}) สูงที่สุดเท่ากับ 54.00 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 46.52 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง (ED_{0.05}) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 40.47 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 34.42 อาหารผสมเสร็จทั้ง 4 สูตรมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง (ED_{0.05}) เท่ากับ 34.42, 35.35, 40.47 และ 39.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

1.2 ค่าการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในอาหารทดลอง

จากตาราง 31 และภาพ 7 พบว่า ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุของอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าสูงขึ้นเมื่อชั่วโมงแช่บ่มนานขึ้นสอดคล้องกับค่าการสลายตัวของวัตถุแห้ง โดยค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุของอาหารทดลองที่ชั่วโมงที่ 96 มีค่าเท่ากับ 68.23, 74.63, 78.86 และ 71.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดในทุกชั่วโมงของการแช่บ่ม ในค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุชั่วโมงแช่บ่มที่ 4, 12 และ 24 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุชั่วโมงแช่บ่มที่ 72

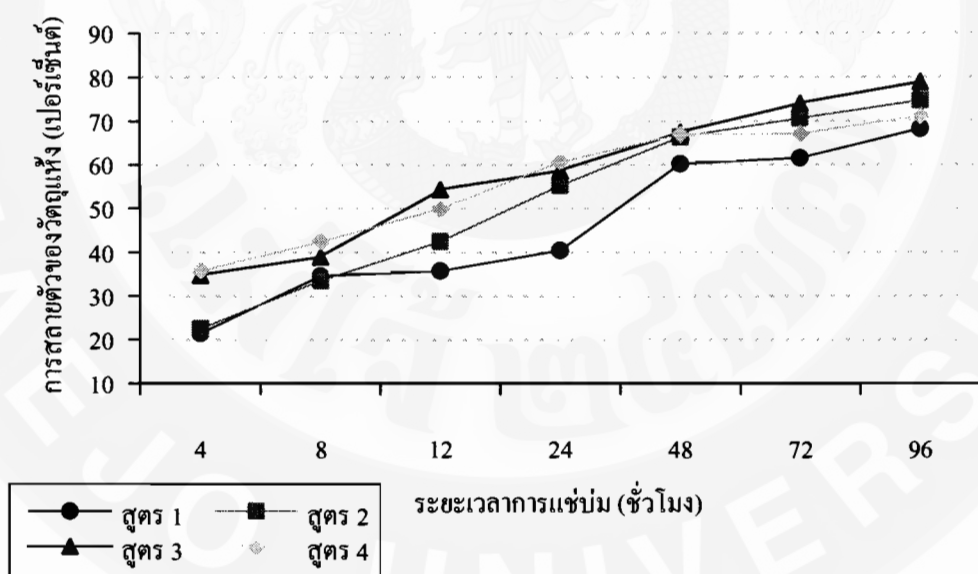
และ 96 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุดในทุกชั่วโมงแช่บ่ม

ตาราง 31 ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)

อาหารทดลอง	ระยะเวลาในการหมักย่อย (ชั่วโมง)						
	4	8	12	24	48	72	96
สูตร 1	21.41 ^B	34.58	35.75 ^D	40.45 ^B	60.25	61.52 ^d	68.23 ^c
สูตร 2	22.52 ^B	33.45	42.46 ^C	55.27 ^A	66.36	70.62 ^b	74.63 ^b
สูตร 3	34.79 ^A	38.96	54.38 ^A	58.70 ^A	67.49	74.03 ^a	78.86 ^a
สูตร 4	35.72 ^A	42.38	49.94 ^B	60.70 ^A	66.94	67.11 ^c	71.03 ^c

abcd ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ABCD ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)



ภาพ 7 ค่าการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุของอาหารทดลอง

จากตาราง 32 ค่าการละลายได้ของอินทรีย์วัตถุ (A) ของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) มีค่าเท่ากับ 6.67, 7.38, 8.15 และ 5.22 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยค่าการละลายได้ของอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 8.15 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 5.22 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยส่วนของวัตถุแห้งที่ไม่

ละลายแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) มีค่าเท่ากับ 74.15, 74.33, 76.35 และ 65.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยส่วนที่ไม่ละลายของอินทรีย์วัตถุที่ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) สูงที่สุดเท่ากับ 76.35 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 65.35 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 32 ค่าพารามิเตอร์การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ

อาหาร	ค่าพารามิเตอร์ของการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ						
ทดลอง	A(%)	B(%)	A+B(%)	c(%h ⁻¹)	L(h)	ED _{0.02} (%)	ED _{0.05} (%)
สูตรที่ 1	6.67 ^C	74.15	80.83	0.040	0.0	60.17 ^B	45.48 ^B
สูตรที่ 2	7.38 ^B	74.33	81.71	0.067	0.0	63.70 ^{AB}	51.65 ^A
สูตรที่ 3	8.15 ^A	76.35	84.50	0.091	0.0	68.60 ^A	57.53 ^A
สูตรที่ 4	5.22 ^D	65.35	70.58	0.061	0.0	63.05 ^{AB}	51.65 ^A

ABCD ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

อาหารทดลองทั้ง 4 สูตร มีค่าเฉลี่ยของศักยภาพในการย่อยสลาย (A+B) ของอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 80.83, 81.71, 84.50 และ 70.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยศักยภาพการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดเท่ากับ 84.50 เปอร์เซ็นต์ และอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 70.58 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ค่าเฉลี่ยอัตราการย่อยสลาย (c) ของอินทรีย์วัตถุมีค่าเท่ากับ 0.040, 0.067, 0.091 และ 0.061 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.091 และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.040 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเฉลี่ยของเวลาที่ถูกอินทรีย์วัตถุถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (L) เท่ากับ 0.0 แสดงว่าอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรสามารถถูกย่อยสลายได้ทันทีเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมน ดังแสดงในตาราง 32

อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุที่อัตรา 0.02 (ED_{0.02}) และที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง (ED_{0.05}) สูงที่สุดเท่ากับ 68.60 และ 57.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 60.17 และ 45.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

1.3 ค่าการสลายตัวของโปรตีนในอาหารทดลอง

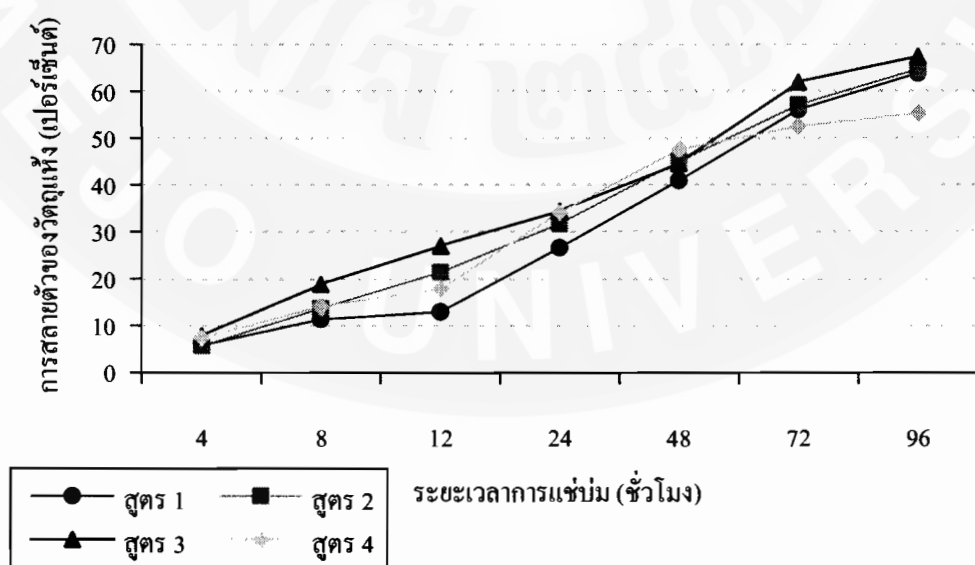
ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของโปรตีนของอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าสูงขึ้นเมื่อชั่วโมงแช่บ่มนานขึ้น เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของโปรตีนในทุกชั่วโมงแช่บ่มสูงที่สุด ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของโปรตีนในทุกชั่วโมงแช่บ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติ ในชั่วโมงแช่บ่มที่ 4, 8, 12 และ 24 ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และชั่วโมงแช่บ่มที่ 48, 72 และ 96 ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังแสดงในตาราง 33 และภาพ 8

ตาราง 33 ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของโปรตีนในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)

อาหารทดลอง	ระยะเวลาในการหมักย่อย (ชั่วโมง)						
	4	8	12	24	48	72	96
สูตร 1	5.80 ^B	11.41 ^C	12.98 ^C	26.58 ^C	40.90 ^a	56.00 ^b	63.70 ^c
สูตร 2	5.67 ^C	13.72 ^D	21.38 ^C	31.68 ^B	44.98 ^b	57.08 ^a	64.63 ^{ab}
สูตร 3	7.84 ^A	18.84 ^A	27.01 ^A	34.41 ^A	44.58 ^b	61.86 ^a	67.44 ^a
สูตร 4	7.42 ^A	14.10 ^B	17.91 ^B	34.09 ^A	47.56 ^a	52.46 ^{ab}	55.26 ^{bc}

abcd ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ABCD ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)



ภาพ 8 ค่าการสลายตัวของโปรตีนของอาหารทดลอง

จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยการละลายได้ (A) ค่าเฉลี่ยอัตราการย่อยสลายของโปรตีน(c) และค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (L) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตารางที่ 34 แต่ค่าเฉลี่ยของโปรตีนส่วนที่ไม่ละลายแต่ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ค่าเฉลี่ยศักยภาพในการย่อยสลายได้ (A+B) ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายของโปรตีนที่อัตรา 0.02 ($ED_{0.02}$) และ 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

ค่าเฉลี่ยการละลายได้ของโปรตีน (A) ของอาหารทดลองสูตรที่ 2 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 15.53 เปอร์เซ็นต์ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 15.15 เปอร์เซ็นต์ แต่อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของโปรตีนส่วนที่ไม่ละลายแต่ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) และค่าเฉลี่ยศักยภาพในการย่อยสลายได้ (A+B) สูงที่สุดเท่ากับ 84.70 และ 99.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของอัตราการย่อยสลายของโปรตีน (c) ของอาหารทั้ง 4 สูตรมีค่าเท่ากับ 0.041, 0.051, 0.052 และ 0.036 เปอร์เซ็นต์ชั่วโมง ตามลำดับ และอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีช่วงเวลาที่โปรตีนถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เท่ากับ 0.0 ชั่วโมง

ตาราง 34 ค่าพารามิเตอร์การสลายตัวของโปรตีน

อาหารทดลอง	ค่าพารามิเตอร์ของการสลายตัวของโปรตีน						
	A(%)	B(%)	A+B(%)	c(%h ⁻¹)	L(h)	ED _{0.02} (%)	ED _{0.05} (%)
สูตรที่ 1	15.45	63.70 ^B	79.15 ^B	0.041	0.0	65.85 ^C	60.60 ^B
สูตรที่ 2	15.53	68.05 ^B	83.58 ^B	0.051	0.0	74.43 ^{AB}	69.72 ^A
สูตรที่ 3	15.27	84.70 ^A	99.85 ^A	0.052	0.0	80.72 ^A	69.97 ^A
สูตรที่ 4	15.15	65.72 ^B	80.97 ^B	0.036	0.0	70.97 ^{BC}	64.98 ^{AB}

^{ABC} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายของโปรตีนที่อัตรา 0.02 ($ED_{0.02}$) และ 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) สูงที่สุดเท่ากับ 80.72 และ 69.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 65.85 และ 60.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 34

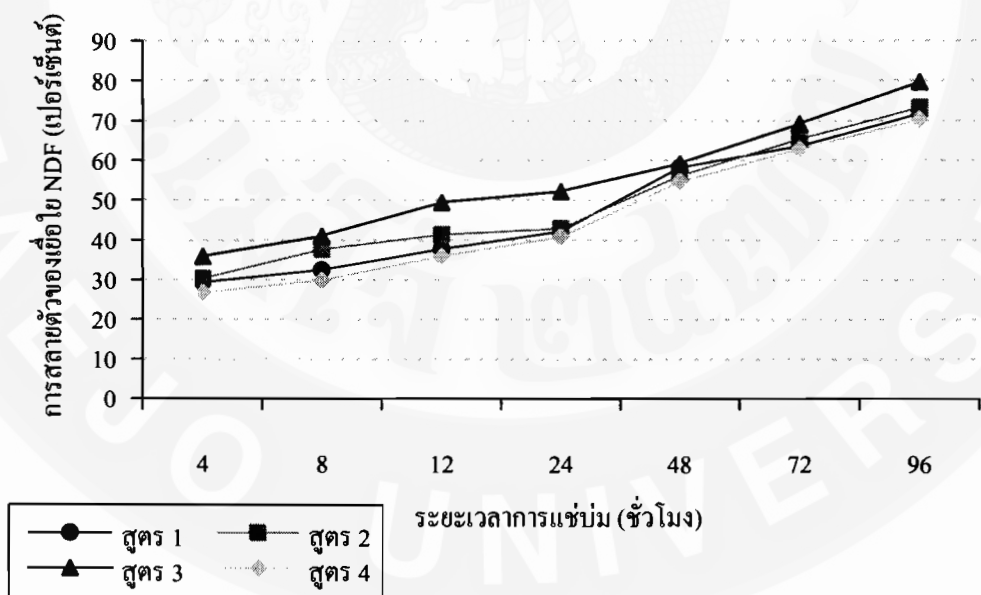
1.4 ค่าการสลายตัวของเยื่อใย NDF ในอาหารทดลอง

ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของเยื่อใย NDF ในทุกชั่วโมงแช่บ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงในตาราง 35 และภาพ 4 โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของเยื่อใย NDF ในทุกชั่วโมงแช่บ่มสูงที่สุด ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 35.86, 41.04, 49.50, 52.17, 59.28, 69.22 และ 79.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตาราง 35 ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของ NDF ในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)

อาหาร	ระยะเวลาในการหมักย่อย (ชั่วโมง)						
ทดลอง	4	8	12	24	48	72	96
สูตร 1	29.34 ^B	32.48 ^C	37.70 ^C	42.13 ^B	58.23 ^{AB}	63.58 ^B	71.73 ^B
สูตร 2	30.36 ^B	37.61 ^B	41.32 ^B	42.87 ^B	56.13 ^{BC}	65.38 ^{AB}	73.25 ^B
สูตร 3	35.86 ^A	41.04 ^A	49.50 ^A	52.17 ^A	59.28 ^A	69.22 ^A	79.70 ^A
สูตร 4	26.81 ^C	29.91 ^C	35.99 ^C	40.81 ^B	54.60 ^C	62.88 ^B	70.27 ^B

ABCD ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)



ภาพ 9 ค่าการสลายตัวของเยื่อใย NDF ของอาหารทดลอง

จากตาราง 36 พบว่า อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเฉลี่ยของการละลายได้ของเยื่อใย NDF (A) ค่าเฉลี่ยเยื่อใย NDF ส่วนที่ไม่ละลายแต่ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ค่าเฉลี่ยของศักยภาพในการย่อยสลายได้ของเยื่อใย NDF (A+B) ค่าเฉลี่ยของอัตราการย่อยสลายของเยื่อใย NDF (c)

และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายของเยื่อใย NDF ที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการละลายได้ของเยื่อใย NDF (A) ค่าเฉลี่ยเยื่อใย NDF ส่วนที่ไม่ละลายแต่ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ค่าเฉลี่ยของศักยภาพในการย่อยสลายของเยื่อใย NDF ได้ (A+B) และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) ของเยื่อใย NDF สูงที่สุดเท่ากับ 17.79, 65.41, 83.20 และ 45.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของอัตราการย่อยสลายของเยื่อใย NDF (c) ของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเท่ากับ 0.041, 0.047, 0.054 และ 0.035 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เยื่อใย NDF ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (L) ของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเท่ากับ 0.0 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 36 ค่าพารามิเตอร์การสลายตัวของเยื่อใย NDF

อาหารทดลอง	ค่าพารามิเตอร์ของการสลายตัวของเยื่อใย NDF						
	A(%)	B(%)	A+B(%)	c(%h ⁻¹)	L(h)	ED _{0.02} (%)	ED _{0.05} (%)
สูตรที่ 1	10.71 ^C	64.00 ^A	74.71 ^B	0.041 ^C	0.0	47.71	35.22 ^C
สูตรที่ 2	13.10 ^B	62.00 ^B	75.10 ^B	0.047 ^B	0.0	50.82	38.00 ^B
สูตรที่ 3	17.79 ^A	65.41 ^A	83.20 ^A	0.054 ^A	0.0	52.66	45.38 ^A
สูตรที่ 4	17.93 ^A	54.28 ^B	72.21 ^C	0.035 ^D	0.0	47.25	40.32 ^B

ABCD ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

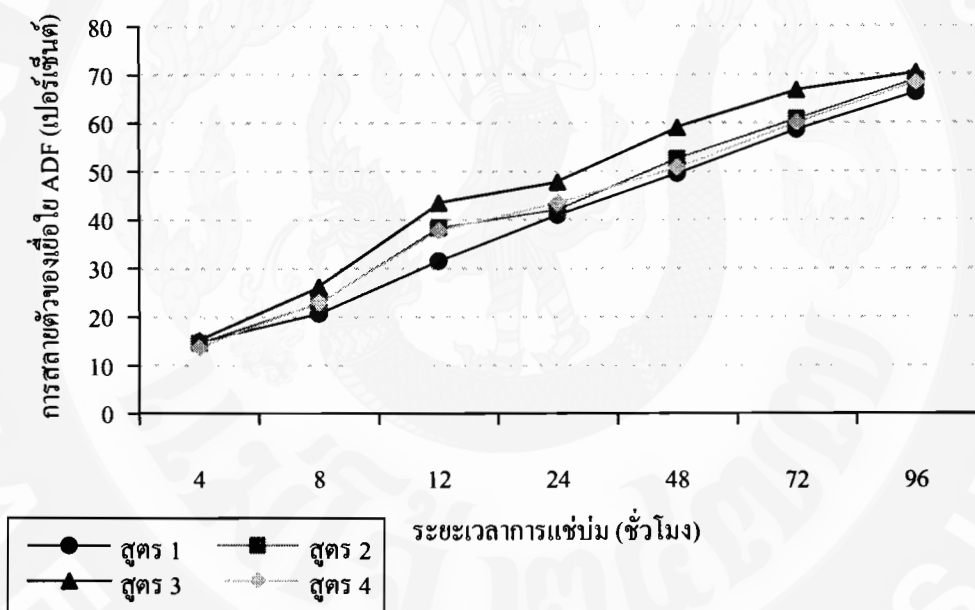
1.5 ค่าการสลายตัวของเยื่อใย ADF ในอาหารทดลอง

ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของเยื่อใย ADF ของอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าสูงขึ้นเมื่อชั่วโมงแช่บ่มนานขึ้น โดยค่าเฉลี่ยการสลายตัวของเยื่อใย ADF ในทุกชั่วโมงแช่บ่มมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ยกเว้นในชั่วโมงที่ 4 ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตาราง 37 และภาพ 10 อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของเยื่อใย ADF ในทุกชั่วโมงแช่บ่มสูงที่สุด ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 15.17, 26.21, 43.46, 47.78, 58.98, 66.74 และ 70.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตาราง 37 ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของ ADF ในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)

อาหารทดลอง	ระยะเวลาในการหมักย่อย (ชั่วโมง)						
	4	8	12	24	48	72	96
สูตร 1	14.86	20.70 ^C	31.51 ^C	40.99 ^B	49.50 ^C	58.52 ^B	66.21 ^B
สูตร 2	14.67	22.87 ^B	38.30 ^B	42.09 ^B	52.56 ^B	60.73 ^B	68.96 ^{AB}
สูตร 3	15.17	26.21 ^A	43.46 ^A	47.78 ^A	58.98 ^A	66.74 ^A	70.38 ^A
สูตร 4	13.80	23.06 ^B	37.76 ^B	43.48 ^B	50.68 ^{BC}	59.95 ^B	68.31 ^{AB}

ABCD ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)



ภาพ 10 ค่าการสลายตัวของเชื้อใย ADF ของอาหารทดลอง

จากตาราง 38 พบว่าค่าเฉลี่ยของการละลายได้ของเชื้อใย ADF (A) ค่าเฉลี่ยส่วนของเชื้อใย ADF ที่ไม่ละลายแต่ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ค่าเฉลี่ยของศักยภาพในการย่อยสลายได้ (A+B), ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายของเชื้อใย ADF ที่อัตรา 0.02 ($ED_{0.02}$) และ 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการละลายได้ของเชื้อใย ADF (A) ค่าเฉลี่ยเชื้อใย ADF ส่วนที่ไม่ละลายแต่ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ค่าเฉลี่ยของศักยภาพในการย่อยสลายได้ของเชื้อใย ADF (A+B) และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายของเชื้อใย ADF ที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) สูงที่สุดเท่ากับ

8.36, 71.10, 79.46 และ 47.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของอัตราการย่อยสลายของเยื่อใย ADF (c) ของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเท่ากับ 0.040, 0.042, 0.045 และ 0.042 เปอร์เซ็นต์ชั่วโมง ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เยื่อใย ADF ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (L) ของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเท่ากับ 0.0 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 38 ค่าพารามิเตอร์การสลายตัวของเยื่อใย ADF

อาหาร	ค่าพารามิเตอร์ของการสลายตัวของเยื่อใย ADF						
ทดลอง	A(%)	B(%)	A+B(%)	c(%h ⁻¹)	L(h)	ED _{0.02} (%)	ED _{0.05} (%)
สูตรที่ 1	3.24 ^C	68.27 ^A	71.51 ^B	0.040	0.0	40.13 ^C	37.45 ^C
สูตรที่ 2	6.21 ^B	70.21 ^B	76.42 ^B	0.042	0.0	43.25 ^B	40.21 ^B
สูตรที่ 3	8.36 ^A	71.10 ^B	79.46 ^A	0.045	0.0	52.14 ^A	47.12 ^A
สูตรที่ 4	8.04 ^A	71.41 ^C	79.45 ^A	0.042	0.0	40.75 ^C	36.12 ^C

ABC ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

2. การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารทดลอง โดยวิธีใช้สารบ่งชี้

จากการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรโดยใช้สารบ่งชี้ คือ เถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble Ash : AIA) และให้สัตว์ทดลองได้รับวัตถุแห้งจากอาหารทดลองในอัตรา 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่า อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ โปรตีน เยื่อใย NDF และ เยื่อใย ADF สูงที่สุดคือ 69.83±1.39, 71.43±2.24, 74.16±0.08, 75.64±3.60 และ 49.78±1.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้วัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ เยื่อใย NDF และ เยื่อใย ADF ต่ำที่สุดคือ 51.42±1.58, 57.42±0.58, 63.33±0.53 และ 56.03±3.92 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่อาหารทดลองสูตรที่ 1 มีเฉลี่ยการย่อยได้ของโปรตีนและเยื่อใย ADF ต่ำที่สุดเท่ากับ 61.11±1.29 และ 40.84 ±0.10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 39

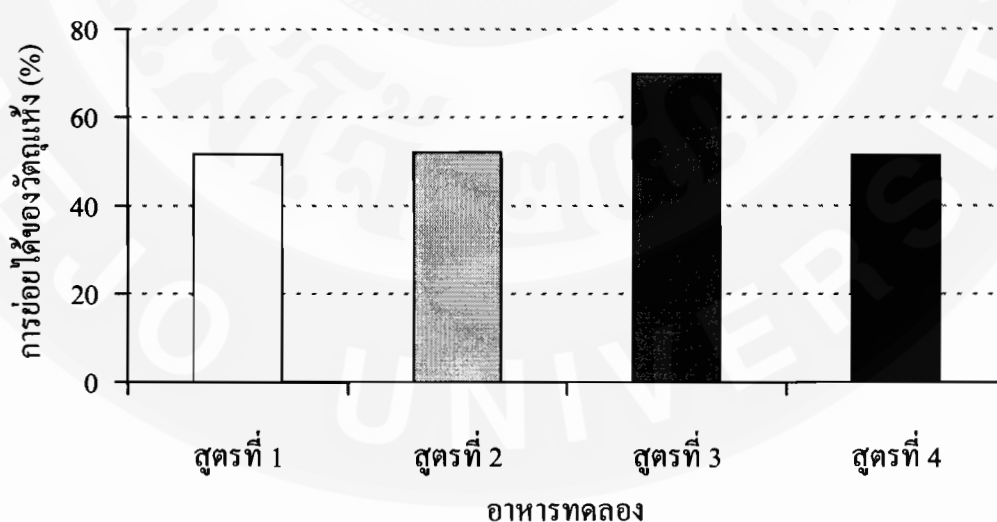
ตาราง 39 ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของโภชนะของอาหารทดลองด้วยวิธีใช้สารบ่งชี้

อาหารทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของโภชนะ (%)				
	DM	OM	CP	NDF	ADF
สูตรที่ 1	51.60 ^C ±0.51	58.80 ^B ±0.07	61.11 ^C ±1.29	62.58 ^C ±0.20	40.84 ^B ±0.10
สูตรที่ 2	52.07 ^B ±4.70	61.61 ^B ±2.16	69.94 ^B ±1.19	72.38 ^B ±0.55	45.52 ^C ±0.12
สูตรที่ 3	69.83 ^A ±1.39	71.43 ^A ±2.24	74.16 ^A ±0.08	75.64 ^A ±3.60	49.78 ^A ±1.23
สูตรที่ 4	51.42 ^B ±1.58	57.42 ^C ±0.58	63.33 ^C ±0.53	56.02 ^D ±3.92	43.85 ^D ±2.14

ABCD ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

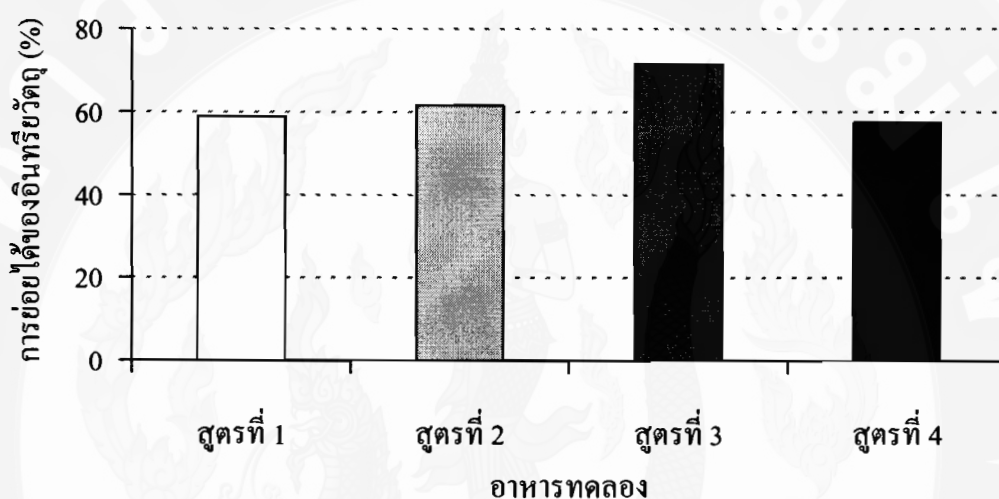
ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุดิบของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 51.60±0.51, 52.07±4.70, 69.83±1.39 และ 51.42±1.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุดิบสูงที่สุดเท่ากับ 69.83±1.39 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุดิบต่ำที่สุดเท่ากับ 51.42±1.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ

11



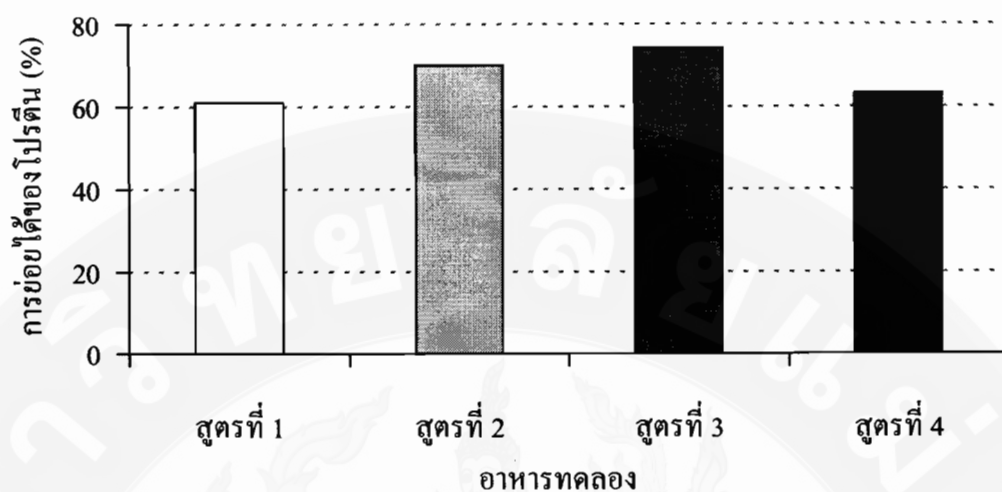
ภาพ 11 ค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบของอาหารทดลอง

ด้านค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของอินทรีวัตถุของกลุ่มทดลอง พบว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของอินทรีวัตถุสูงที่สุดเท่ากับ 71.43 ± 2.24 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของอินทรีวัตถุต่ำที่สุดเท่ากับ 57.42 ± 0.58 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของอินทรีวัตถุของอาหารทดลองมีค่าเท่ากับ 58.80 ± 0.07 , 61.61 ± 2.16 , 71.43 ± 2.24 และ 57.42 ± 0.58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงในภาพ 12



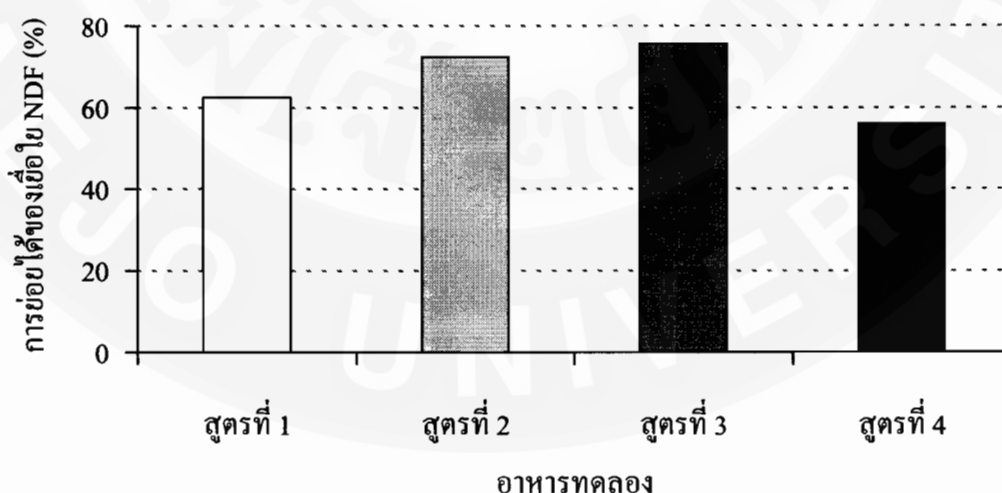
ภาพ 12 ค่าการย่อยได้ของอินทรีวัตถุของอาหารทดลอง

กลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 74.16 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของโปรตีนต่ำที่สุดเท่ากับ 61.11 ± 1.29 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร มีค่าเท่ากับ 61.11 ± 1.29 , 69.94 ± 1.19 , 74.16 ± 0.08 และ 63.33 ± 0.53 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงในภาพ 13



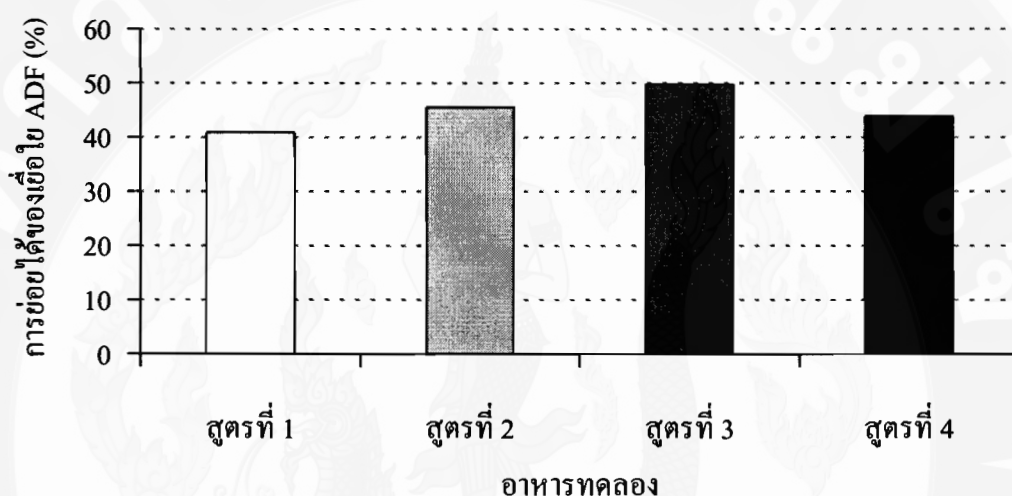
ภาพ 13 ค่าการย่อยได้ของโปรตีนของอาหารทดลอง

ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของเชื้อใย NDF ของอาหารทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) มีค่าเท่ากับ 62.58 ± 0.20 , 72.38 ± 0.55 , 75.64 ± 3.60 และ 56.02 ± 3.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของเชื้อใย NDF สูงที่สุดเท่ากับ 75.64 ± 3.60 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของเชื้อใย NDF ต่ำที่สุดเท่ากับ 56.02 ± 3.92 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพ 14



ภาพ 14 ค่าการย่อยได้ของเชื้อใย NDF ของอาหารทดลอง

ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของเยื่อใย ADF ของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเท่ากับ 40.84 ± 0.10 , 45.52 ± 0.12 , 49.78 ± 1.23 และ 43.85 ± 2.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของเยื่อใย ADF สูงที่สุดเท่ากับ 49.78 ± 1.23 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของเยื่อใย ADF ต่ำที่สุดเท่ากับ 40.84 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงในภาพ 15



ภาพ 15 ค่าการย่อยได้ของเยื่อใย ADF ของอาหารทดลอง

3. การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ภายในกระเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือด

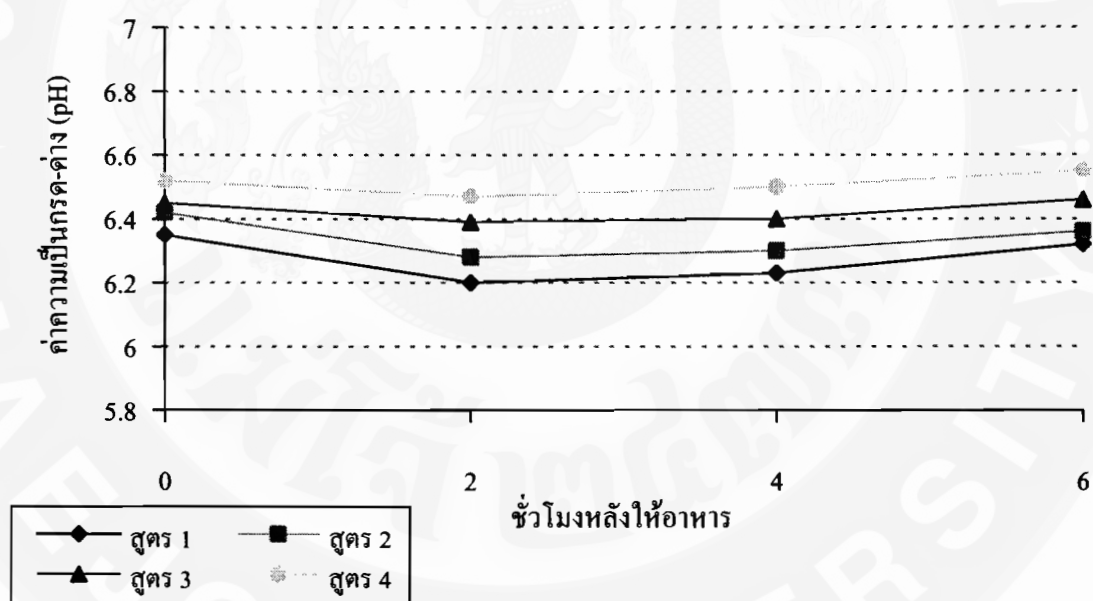
3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะรูเมน

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมน (Ruminal pH) พบว่าทุกกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมนก่อนที่โคกินอาหาร (ชั่วโมงที่ 0) ใกล้เคียงกัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 6.42 ± 0.44 - 6.52 ± 0.37 เฉลี่ย 6.49 ± 0.41 และหลังจากกินอาหาร 2-4 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมนมีค่าลดลง โดยในชั่วโมงที่ 2 หลังโคกินอาหารค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมนมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 6.20 ± 0.81 - 6.47 ± 0.25 เฉลี่ย 6.37 ± 0.53 และค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ที่ชั่วโมงที่ 4 และ 6 ตามลำดับ โดยในชั่วโมงที่ 6 หลังโคกินอาหารค่าความเป็นกรด-ด่างของทุกกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 6.32 ± 0.91 - 6.55 ± 0.22 เฉลี่ย 6.44 ± 0.22 โดยค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง

ของของเหลวในกระเพาะรูเมนความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ดังแสดงในตาราง 40 และภาพ 16

ตาราง 40 ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	อาหารทดลอง			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ชั่วโมงที่ 0	6.35±1.13	6.42±0.44	6.45±0.79	6.52±0.37
ชั่วโมงที่ 2	6.20±0.81	6.28±0.87	6.39±0.51	6.47±0.25
ชั่วโมงที่ 4	6.23±0.63	6.30±0.13	6.40±0.56	6.50±0.18
ชั่วโมงที่ 6	6.32±0.91	6.36±0.77	6.46±0.69	6.55±0.22



ภาพ 16 ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน

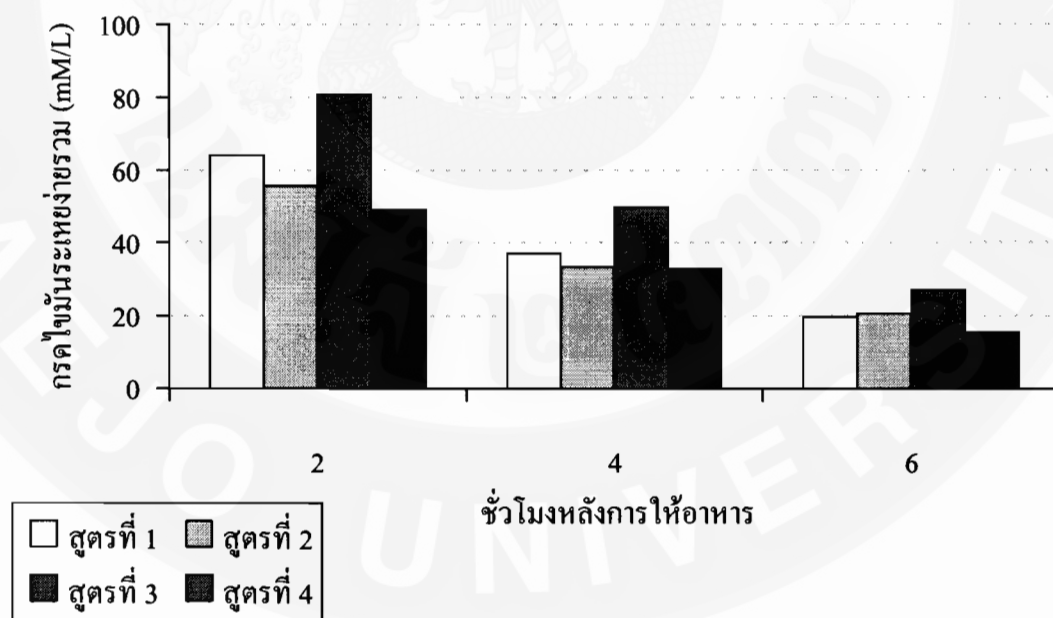
3.2 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายภายในกระเพาะรูเมน

ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวม (กรดอะซิติก กรดโพรปิโอนิก และกรดบิวทีริก) ของโคที่รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าสูงสุดในชั่วโมงที่ 2 หลังจากการกินอาหารซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่าง และกรดไขมันระเหยง่ายรวมที่เกิดจากการหมักอาหารทดลองในกระเพาะรูเมนมีค่าสูงสุดในชั่วโมงที่ 2 หลังจากการกินอาหาร ค่าเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 มีค่าเท่ากับ

64.06, 55.67, 80.77 และ 49.18 mM/L ตามลำดับ ดังภาพ 17 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวมจะลดลงในชั่วโมงที่ 4 และ 6 หลังจากการกินอาหาร โดยโคทดลองที่รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยง่ายรวมสูงที่สุด ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวมที่เพิ่มขึ้นในทุกชั่วโมงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตาราง 41

ตาราง 41 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวมในกระเพาะรูเมน

ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย รวม ($C_2+C_3+C_4$), mM/L	อาหารผสมเสร็จ			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ชั่วโมงที่ 0	69.27	70.41	89.19	60.13
ชั่วโมงที่ 2	133.33	126.08	169.96	109.31
ชั่วโมงที่ 4	106.33	103.74	139.00	92.93
ชั่วโมงที่ 6	89.03	91.11	116.32	75.71

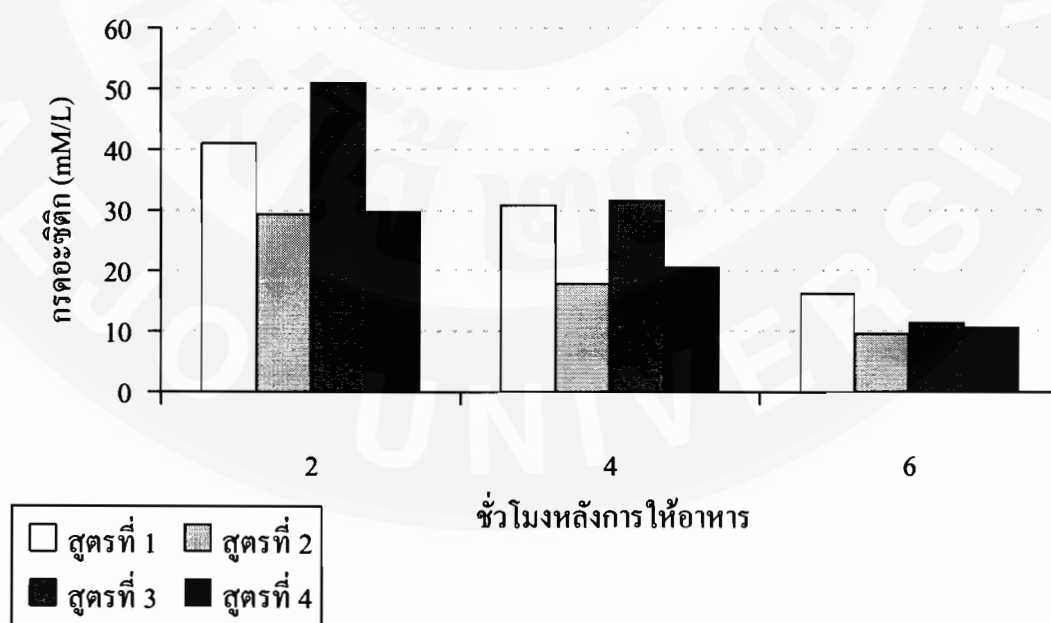


ภาพ 17 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวมในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร

ก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) ปริมาณกรดอะซิดิกในกระเพาะรูเมนของโคทดลองมีค่าเท่ากับ 56.94, 54.05, 65.04 และ 52.97 mM/L ตามลำดับ และหลังจากให้อาหาร 2 ชั่วโมงกรดอะซิดิกจะมีปริมาณสูงที่สุดในกรดไขมันระเหยง่ายรวม โดยกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีปริมาณกรดอะซิดิกที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 50.93 mM/L ดังแสดงในภาพ 18 โดยปริมาณกรดอะซิดิกจะมีค่าลดลงในชั่วโมงที่ 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณกรดอะซิดิกที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ตาราง 42 ปริมาณกรดอะซิดิกในกระเพาะรูเมน

ปริมาณกรดอะซิดิก, mM/L	อาหารผสมเสร็จ			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ชั่วโมงที่ 0	56.94	54.05	65.04	52.97
ชั่วโมงที่ 2	97.94	83.41	115.97	82.71
ชั่วโมงที่ 4	87.75	71.98	96.53	73.59
ชั่วโมงที่ 6	73.11	63.65	76.49	63.57

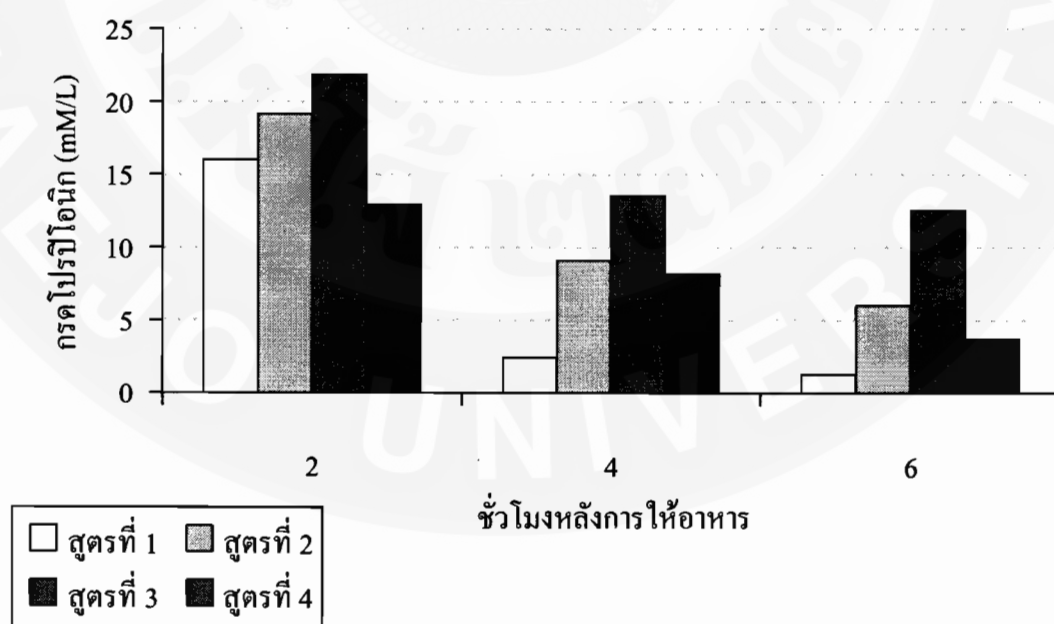


ภาพ 18 ปริมาณกรดอะซิดิกในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร

ปริมาณกรดโปรปิโอนิกเป็นกรดไขมันระเหยง่ายที่พบในปริมาณมากเป็นอันดับ 2 รองจากกรดอะซิติก ในชั่วโมงที่ 2 หลังจากการให้อาหารกลุ่มทดลองมีปริมาณกรดโปรปิโอนิกที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 15.98, 19.17, 21.84 และ 12.92 mM/L ตามลำดับ ค่าปริมาณกรดโปรปิโอนิกจะมีค่าสูงที่สุดที่ชั่วโมงที่ 2 หลังจากการกินอาหารเช่นเดียวกับกรดอะซิติก ค่าเฉลี่ยมีค่าลดลงในชั่วโมงที่ 4 และ 6 สอดคล้องกับค่าปริมาณกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมน ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณกรดโปรปิโอนิกที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตาราง 43 และภาพ 19

ตาราง 43 ปริมาณกรดโปรปิโอนิกในกระเพาะรูเมน

ปริมาณกรดโปรปิโอนิก, mM/L	อาหารผสมเสร็จ			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ชั่วโมงที่ 0	11.33	18.40	21.89	6.90
ชั่วโมงที่ 2	27.31	37.57	43.73	19.82
ชั่วโมงที่ 4	13.76	27.52	35.42	15.10
ชั่วโมงที่ 6	12.62	24.44	34.55	10.64

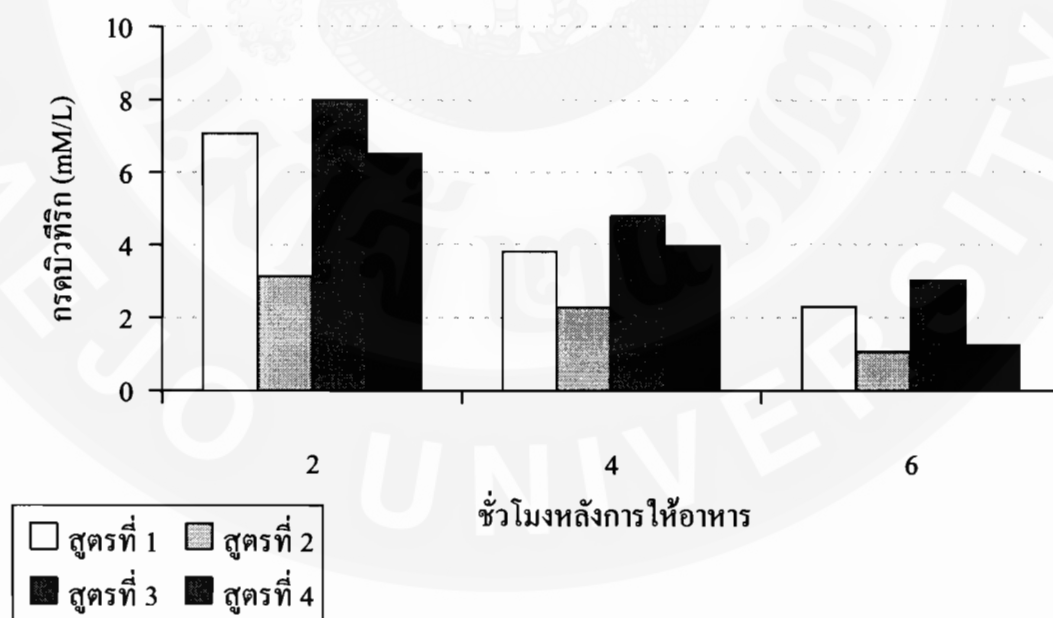


ภาพ 19 ปริมาณกรดโปรปิโอนิกในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร

ปริมาณกรดบิวทีริกที่เกิดจากการหมักอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าต่ำสุด เมื่อเทียบกับกรดอะซิติกและกรดโพรพิอิก ในชั่วโมงที่ 0 (ก่อนกินอาหาร) พบว่าปริมาณกรดบิวทีริกมีค่าเท่ากับ 1.00, 1.96, 2.26 และ 0.26 mM/L ตามลำดับ หลังจากการให้อาหารโคที่กินอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีปริมาณกรดบิวทีริกที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่ 2 ชั่วโมงหลังจากการกินอาหารมีค่าเท่ากับ 8.0 mM/L ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณกรดบิวทีริกที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตาราง 44 และภาพ 20

ตาราง 44 ปริมาณกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมน

ปริมาณกรดบิวทีริก, mM/L	อาหารผสมเสร็จ			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ชั่วโมงที่ 0	1.00	1.96	2.26	0.26
ชั่วโมงที่ 2	8.08	5.10	10.26	6.78
ชั่วโมงที่ 4	4.82	4.24	7.05	4.24
ชั่วโมงที่ 6	3.30	3.02	5.28	1.50



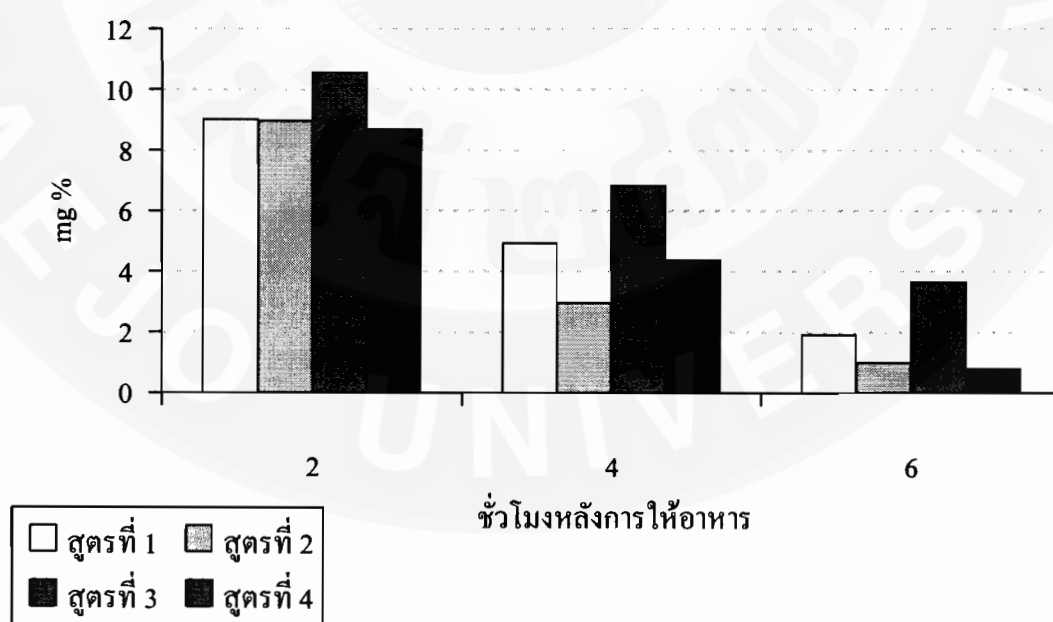
ภาพ 20 ปริมาณกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร

4.3 ปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมน

ปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจากการวัดของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นหลังจากการให้อาหาร 2 ชั่วโมงพบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.02, 8.97, 10.56 และ 8.69 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในชั่วโมงที่ 2 แล้วค่อยๆ ลดลง ดังตาราง 45 และภาพ 21

ตาราง 45 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมน

NH ₃ -N, mg%	อาหารทดลอง			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ชั่วโมงที่ 0	5.21	9.15	9.58	6.45
ชั่วโมงที่ 2	14.23	18.12	20.14	15.14
ชั่วโมงที่ 4	10.14	12.11	16.41	10.84
ชั่วโมงที่ 6	7.12	10.14	13.24	7.23



ภาพ 21 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร

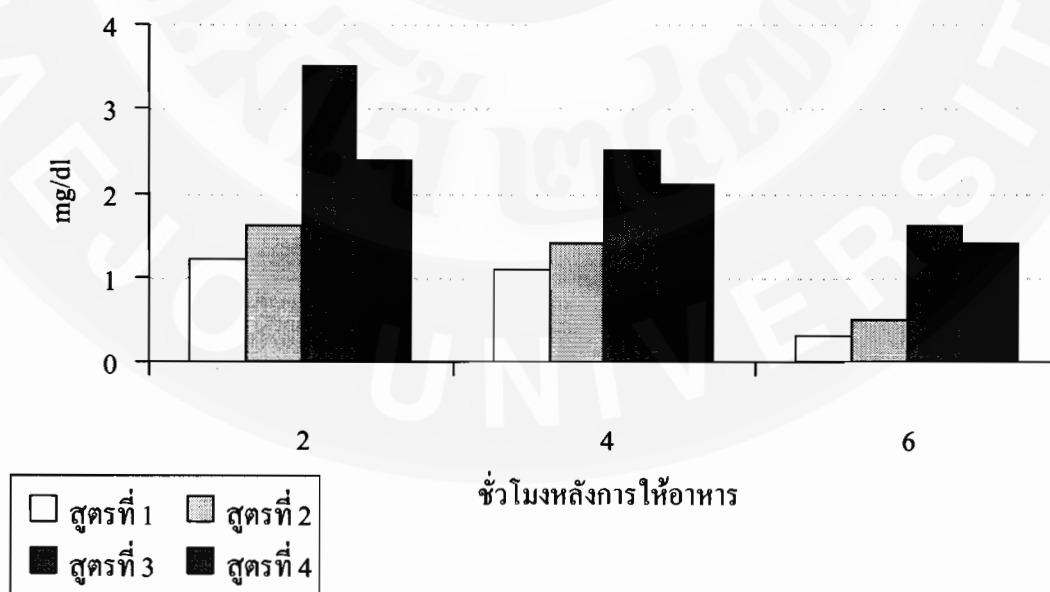
3.4 ปริมาณยูเรียในเลือด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรียในเลือด พบว่า โคที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยยูเรียในเลือดที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 2 หลังการให้อาหาร ดังตารางที่ 20 ค่าเฉลี่ยปริมาณยูเรียในเลือดของโคที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรจะมีค่าลดลงในชั่วโมงที่ 6 หลังจากการให้อาหาร ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณยูเรียในเลือดที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงในตาราง 46 และภาพ 22

ตาราง 46 ปริมาณยูเรียในเลือด

ปริมาณ BUN (mg/dl)	อาหารทดลอง			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ชั่วโมงที่ 0	3.6	10.6	11.3	3.9
ชั่วโมงที่ 2	4.8	12.2	14.8	6.3
ชั่วโมงที่ 4	4.7	12.0	13.8	6.0
ชั่วโมงที่ 6	3.9	11.1	12.9	5.3

^{AB} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)



ภาพ 22 ปริมาณยูเรียในเลือดที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร

4. การเปลี่ยนแปลงจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

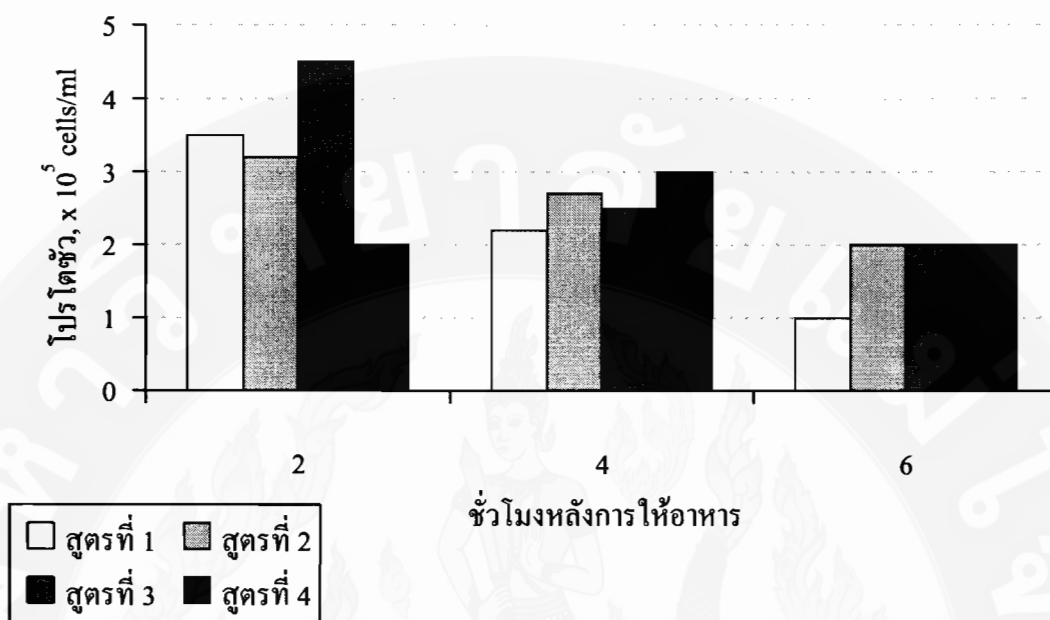
4.1 จำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน

จำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนของโคทดลองโดยทำการวัดที่ 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง หลังการกินอาหาร พบว่า ก่อนการให้อาหารจำนวนจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ได้รับที่ได้รับเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าสูงที่สุดคือ 4.0×10^5 cells/ml โดยใน ชั่วโมงที่ 2 หลังการให้อาหารจำนวนโปรโตซัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงใน ชั่วโมงที่ 4 และ 6 หลังการให้อาหาร

โดยในชั่วโมงที่ 2 หลังการให้อาหารกลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยจำนวนโปรโตซัวที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 4.5×10^5 cells/ml และกลุ่มที่ได้รับเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 30 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 4) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 2×10^5 cells/ml ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของจำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตารางที่ 47 และภาพที่ 23

ตาราง 47 จำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน

จำนวน โปรโตซัว, $\times 10^5$ cells/ml	อาหารทดลอง			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ชั่วโมงที่ 0	2.0	2.0	2.5	1.0
ชั่วโมงที่ 2	5.5	5.2	7.0	3.0
ชั่วโมงที่ 4	4.2	4.7	5.0	4.0
ชั่วโมงที่ 6	3.0	4.0	4.5	3.0



ภาพ 23 จำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร

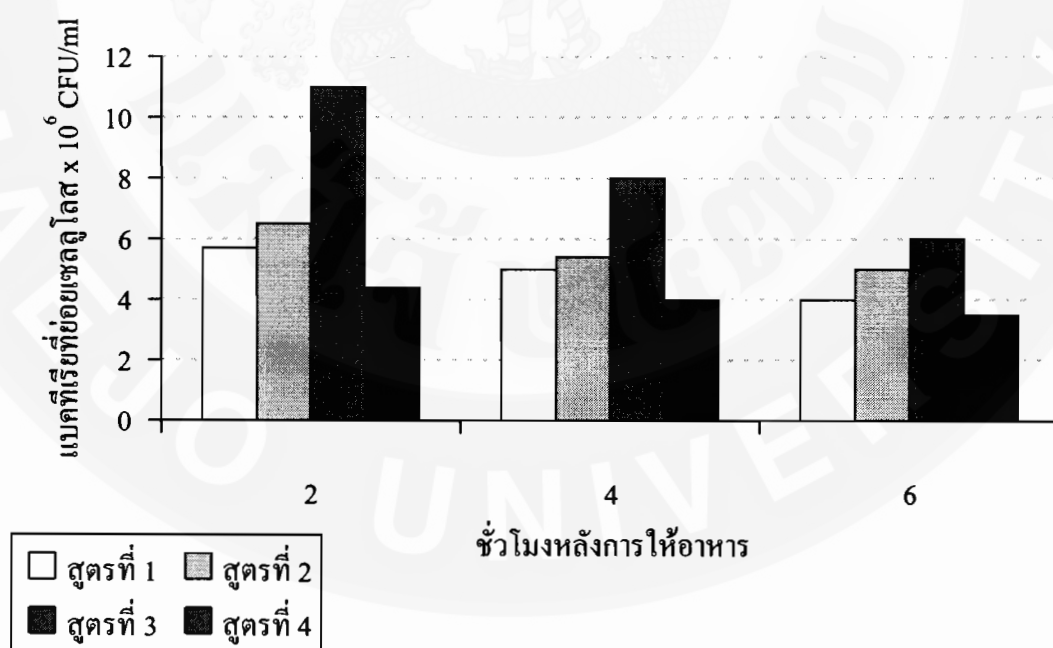
4.2 กลุ่มแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน

จากการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายเยื่อใยได้ในกระเพาะรูเมนโดยดัดแปลงจากวิธี Roll tube (Hungate, 1969) และตรวจนับที่เวลา 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมงหลังการกินอาหาร พบว่าหลังการให้อาหารชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสในกลุ่มที่ได้รับเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดคือ 11.0, 8.0 และ 6.0×10^6 CFU/ml โดยหลังจากการให้อาหารในชั่วโมงที่ 2 จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงในชั่วโมงที่ 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตาราง 48 และภาพ 24

ตาราง 48 กลุ่มแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน

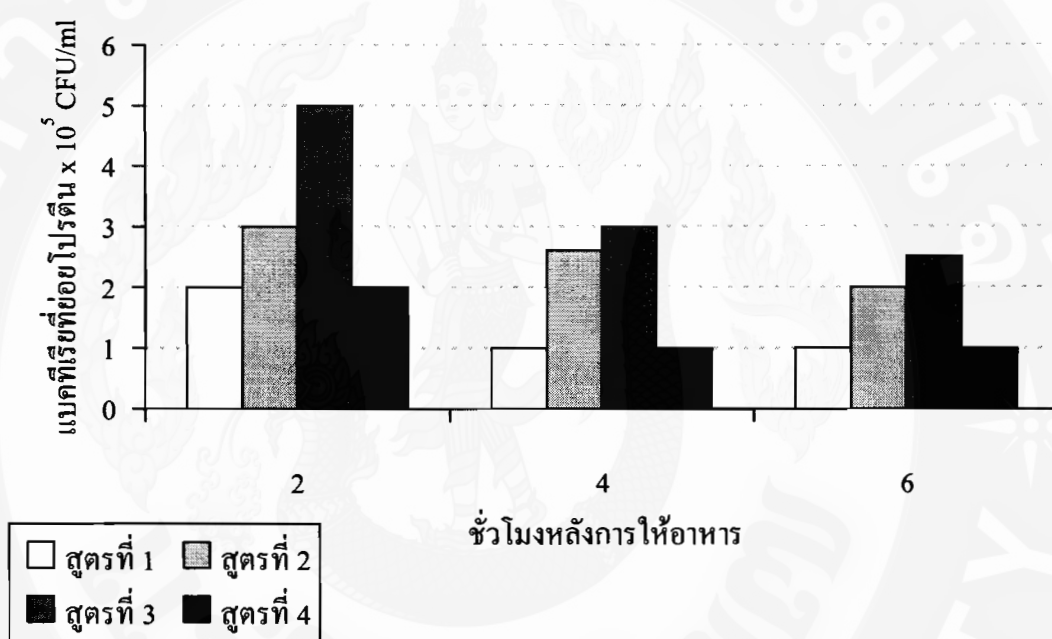
กลุ่มแบคทีเรีย	อาหารทดลอง			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส, $\times 10^6$ CFU/ml				
ชั่วโมงที่ 0	2.0	2.0	4.0	2.0
ชั่วโมงที่ 2	5.7	6.5	11.0	4.4
ชั่วโมงที่ 4	5.0	5.4	8.0	4.0
ชั่วโมงที่ 6	4.0	5.0	6.0	3.5
แบคทีเรียที่ย่อยโปรตีน, $\times 10^4$ CFU/ml				
ชั่วโมงที่ 0	1.0	1.0	1.0	1.0
ชั่วโมงที่ 2	2.0	3.0	5.0	2.0
ชั่วโมงที่ 4	1.0	2.6	3.0	1.0
ชั่วโมงที่ 6	1.0	2.0	2.5	1.0

ABC ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)



ภาพ 24 จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร

จากภาพ 25 จะเห็นได้ว่าจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนเฉลี่ยของกลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 ในช่วงเวลาที่ 2 หลังจากการให้อาหาร มีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 5.0×10^5 CFU/ml และกลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 และ 4 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.0×10^5 CFU/ml ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตาราง 48 และภาพ 25



ภาพ 25 จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหาร

วิจารณ์ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (เศษข้าวโพดหวาน เศษข้าวโพดหวานหมักและเศษข้าวโพดหวานหมักผสมกับกระดิ่งในระดับต่างๆ)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเศษข้าวโพดหวานที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานข้าวโพดหวานกระป๋อง พบว่ามีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุดิบเท่ากับ 19.60 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุดิบที่มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของสดางค์ (2543) ที่รายงานว่าเศษข้าวโพดหวานที่ได้จากโรงงานมีความชื้นสูง มีค่าวัตถุดิบแห้งค่อนข้างต่ำประมาณ 18-21 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF มีค่าเท่ากับ 86.32, 6.34, 65.37 และ 22.15 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุดิบแห้ง ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์โปรตีน และเยื่อใย NDF ของเศษข้าวโพดหวานหมักในการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของสดางค์ (2543) ที่กล่าวว่าเศษข้าวโพดหวานจากโรงงานประกอบด้วยเปลือกปนซึ่งข้าวโพดหวานมีค่าเฉลี่ยโปรตีน และเยื่อใย NDF เท่ากับ 6.86 และ 70.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเศษข้าวโพดหวานหมักมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 3.94 ด้านค่าความเป็นกรด-ด่างของเศษข้าวโพดหวานหมักจากการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของบุญล้อม และคณะ (2543) คือ 4.0 สอดคล้องกับรายงานของ Skeman and Riveros (1990) ที่กล่าวว่าพืชหมักที่ดีควรมีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำกว่า 4.2

จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าเศษข้าวโพดหวานมีค่าเปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้งค่อนข้างต่ำกว่าพืชที่เหมาะสมจะนำมาทำพืชหมัก (19.60 เปอร์เซ็นต์) จึงไม่เหมาะสมที่จะนำเศษข้าวโพดหวานไปทำพืชหมักอย่างเดียวยังรายงานของ McDonald (1981) ที่กล่าวว่า พืชที่จะนำมาหมักเพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีควรมีเปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้งอยู่ระหว่าง 25 – 35% เนื่องจากเป็นสภาพที่มีความเหมาะสมไม่ชื้นจนเกินไป ซึ่งจะส่งเสริมให้มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ และส่งผลให้เกิดการสร้างกรดบิวทิริกซึ่งเป็นกรดที่ไม่ต้องการในการทำพืชหมัก มีผลให้พืชหมักที่ได้มีรสชาติไม่น่ากินและเกิดกลิ่นเหม็น ซึ่ง Acquááh (2002) กล่าวว่า การหมักพืชมีเปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้งต่ำแสดงว่าพืชมีความชื้นสูง สามารถแก้ไขได้โดยทิ้งพืชที่ตัดให้เหี่ยวเฉาในแปลงเพื่อให้ความชื้นลดลงประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ หรือใส่ธัญพืชบดเพื่อดูดซับความชื้นก่อนนำไปหมักเป็นพืชหมัก

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของกระดิ่งที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้งเท่ากับ 30.66 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF มีค่าเท่ากับ 91.56, 20.22, 57.52 และ 36.01 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุดิบแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Dalzell *et al.* (1998) และ El Hassan *et al.* (2000) รายงานว่า

กระถินมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ อินทรีย์วัตถุ โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF มีค่าระหว่าง 89.7-91.5, 18.9-26.0, 34.6-48.4 และ 19.2-23.6 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุดิบแห้ง ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแต่ละรายงานอาจเป็นผลจากสภาพภูมิแวดล้อม การให้น้ำ การใส่ปุ๋ย อายุในการเก็บเกี่ยว และสัดส่วนของกิ่ง ก้าน และใบกระถินเป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร คือ เศษข้าวโพดหวานหมัก (สูตรที่ 1) เศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 10 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 2) เศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) และเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 30 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 4) พบว่า พืชหมักมีคุณค่าอาหารดีพอสมควร โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้งของกลุ่มทดลองมีค่าเท่ากับ 18.55, 18.81, 19.88 และ 21.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้งเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของกระถินที่เพิ่มขึ้น ตรงข้ามกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุของอาหารทดลองที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับกระถินในอาหารทดลองเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากกระถินมีเปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้งที่สูงกว่า

1. การศึกษาการสลายตัวของโภชนาในอาหารทดลอง โดยใช้วิธีถุงไนลอน

1.1 ค่าการสลายตัวของวัตถุดิบในอาหารทดลอง

ค่าการสลายตัวของวัตถุดิบในอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าสูงขึ้นเมื่อช่วงระยะเวลาเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบในอาหารทดลองทุกสูตรได้ดี โดยในทุกช่วงระยะเวลาการสลายตัวของวัตถุดิบของกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้นค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุดิบในช่วงระยะเวลาการแช่บ่มที่ 12 และ 24 ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ในช่วงระยะเวลาการแช่บ่มที่ 96 อาหารทดลองที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินสับ 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุดิบสูงที่สุดเท่ากับ 74.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลจากอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีส่วนผสมของกระถินสับจึงมีผลให้ค่าการสลายตัวของวัตถุดิบสูงขึ้น เช่นเดียวกับจินดา และคณะ (2529) ที่พบว่ากระถินมีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในกระเพาะรูเมนโดยวิธี *In sacco* สูงกว่าถั่วอัลฟาฟ่า ซึ่งน่าจะเป็นผลจากพืชหมักที่มีใบกระถินมีโปรตีนสูงขึ้น มีผลทำให้มีแหล่งพลังงานและแอมโมเนียที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการย่อยได้ของวัตถุดิบมากขึ้น แต่การเพิ่มกระถิน 30 เปอร์เซ็นต์กลับมีค่าการสลายตัวของวัตถุดิบลดลง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากกระถินที่ใช้หมักเป็นกิ่งกระถินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1

เซนติเมตร ส่วนกึ่งที่มีขนาดใหญ่มีเปลือกไม้ที่มีส่วนประกอบของลิกนินที่ย่อยไม่ได้อยู่สูง จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ลดลงเมื่อเพิ่มใบกระถินสูงมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์

อาหารทดลองสูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 มีส่วนของวัตถุแห้งที่ละลายได้ทันที (A) ในกระเพาะรูเมนมีค่าใกล้เคียงกันคือ 13.52 และ 13.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอาหารทดลองสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 มีส่วนของวัตถุแห้งที่ละลายได้ทันที (A) ต่ำกว่าเล็กน้อยคือ 10.00 และ 12.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษาในครั้งนี้ค่า A ของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรแตกต่างกัน ($P < 0.01$) จึงมีผลต่อการสลายตัวของวัตถุแห้งน้อย ส่วนใหญ่น่าจะมาจากส่วนของวัตถุแห้งที่ไม่ละลายทันที แต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) เพราะค่า B คือส่วนที่ไม่ละลายทันทีแต่เมื่อเวลาผ่านไปจะถูกหมักย่อยสลายในกระเพาะรูเมน ซึ่งเป็นส่วนของเยื่อใยเป็นส่วนใหญ่ การย่อยสลายเยื่อใยในกระเพาะรูเมนนั้นจำเป็นต้องอาศัยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการย่อยสลายเยื่อใยที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารนั้นด้วย (Van Straalen *et al.*, 1993) จากการศึกษาครั้งนี้อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่า B สูงที่สุด (83.33 เปอร์เซ็นต์) มีผลให้มีค่าศักยภาพในการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งสูงสุด (A+B) คือ 96.93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้ง

อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าอัตราการย่อยสลาย (c) ของวัตถุแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 0.061 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง สูงกว่าอาหารทดลองสูตรที่ 1, 2 และ 4 (0.024, 0.027 และ 0.012) นั่นคืออาหารทดลองสูตรที่ 3 มีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าอาหารทดลองสูตรที่ 1, 2 และ 4 สอดคล้องกับเมธา (2533) รายงานว่าค่าอัตราการย่อยสลาย (c) เป็นตัวบ่งชี้ความเร็วของส่วนอนุภาคที่ถูกย่อยได้ถูกปลดปล่อยออกจากอาหาร ทำให้อาหารไม่อัดแน่นอยู่ในกระเพาะรูเมนนานเกินไป นอกจากนี้ค่า c สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราการไหลผ่านของอาหารได้ คืออาหารชนิดใดมีค่า c สูง แสดงว่าอาหารนั้นมีอัตราการย่อยสลายได้สูง อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีช่วงเวลาที่วัตถุแห้งเริ่มถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (L) เมื่ออาหารเข้าสู่กระเพาะรูเมนทันที (0 ชั่วโมง) สอดคล้องกับประสิทธิภาพการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่อัตรา 0.02 และ 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$ และ $ED_{0.05}$) ของอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งในชั่วโมงที่ 4 และ 24 แต่เมื่อชั่วโมงแช่บ่มนานขึ้นค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งของอาหารทดลองสูตรที่ 1, 2 และ 4 ไม่แตกต่างกันมากนัก และมีค่าต่ำกว่าอาหารทดลองสูตรที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งดังที่กล่าวมา

1.2 การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในอาหารทดลอง

ค่าการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อชั่วโมงการแช่บ่มนานขึ้น และในชั่วโมงการแช่บ่มที่ 72 และ 96 ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ยกเว้นในชั่วโมงการแช่บ่มที่ 8 และ 48 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และในชั่วโมงแช่บ่มที่ 4, 12 และ 24 ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดในทุกชั่วโมงการแช่บ่ม

ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรพบว่าอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีส่วนของอินทรีย์วัตถุที่ละลายได้ทันที (A) ในกระเพาะรูเมนสูงที่สุดเท่ากับ 8.15 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนของอินทรีย์วัตถุที่ไม่ละลายทันทีแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) สูงที่สุดคือ 76.35 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้มีค่าศักยภาพในการย่อยสลายได้ของอินทรีย์วัตถุสูงสุด (A+B) คือ 84.50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าอัตราการย่อยสลาย (c) ของอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดเท่ากับ 0.091 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง รวมทั้งมีช่วงเวลาที่อินทรีย์วัตถุเริ่มถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (L) เมื่ออาหารเข้าสู่กระเพาะรูเมน 0 ชั่วโมง สอดคล้องกับประสิทธิภาพการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุที่อัตรา 0.02 และ 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$ และ $ED_{0.05}$) ของอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในชั่วโมงที่ 4 - 24 แต่เมื่อชั่วโมงแช่บ่มนานขึ้นค่าเฉลี่ยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุของอาหารทดลองสูตรที่ 1, 2 และ 4 ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ต่ำกว่าอาหารทดลองสูตรที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งดังที่กล่าวมา

1.3 การสลายตัวของโปรตีน

ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของโปรตีนของอาหารทดลองในชั่วโมงการแช่บ่มที่ 48, 72 และ 96 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และในชั่วโมงการแช่บ่มที่ 4, 8, 12 และ 24 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของโปรตีนสูงที่สุดในทุกชั่วโมงการแช่บ่ม ซึ่งน่าจะเป็นผลจากพืชหมักที่มีใบกระถินมีโปรตีนสูงขึ้น มีผลทำให้มีแหล่งพลังงานและแอมโมเนียที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการย่อยได้ของวัตถุแห้งมากขึ้น (Geerts *et al.*, 2004) สอดคล้องกับปราโมทย์ (2545) กล่าวว่า การสลายตัวของโปรตีนในกระเพาะรูเมน เริ่มจากจุลินทรีย์ย่อยโปรตีนได้แอมโมเนียและพลังงานซึ่งจุลินทรีย์นำไปใช้ได้ จากนั้นแอมโมเนียถูกนำไปสร้างเป็นจุลินทรีย์โปรตีนร่วมกับกรดอะมิโน ซึ่งได้มาจากการย่อยคาร์โบไฮเดรต หากมี

อาหารโปรตีนและพลังงานสมดุลจะเกิดการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนและกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งตัวสัตว์สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้อย่างเหมาะสม

ค่าเฉลี่ยศักยภาพในการย่อยสลายได้สูงสุดของโปรตีน (A+B) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 สูงที่สุดคือ 99.85 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาอัตราการย่อยสลาย (c) ของโปรตีนของอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.052 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง แสดงให้เห็นว่ามีอัตราการไหลผ่านของสูงอาหารซึ่งสามารถใช้ค่า c เป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราการไหลผ่านของอาหารได้ คือ อาหารชนิดใดมีค่า c สูงแสดงว่าอาหารนั้นมีการย่อยสลายได้สูง (De Bore *et al.*, 1987) อาหารทุกสูตรมีช่วงเวลาที่โปรตีนเริ่มถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (L) เมื่ออาหารเข้าสู่กระเพาะรูเมน 0 ชั่วโมง แสดงว่าจุลินทรีย์สามารถเข้าย่อยสลายอาหารและนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีเมื่ออาหารเข้าสู่กระเพาะรูเมน มีผลให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายของโปรตีนที่อัตรา 0.02 และ 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$ และ $ED_{0.05}$) ของอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุดทุกชั่วโมง

1.4 การสลายตัวของเยื่อใย NDF

ในทุกชั่วโมงการแช่บ่มค่าเฉลี่ยการสลายตัวของเยื่อใย NDF ในอาหารทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของเยื่อใย NDF สูงที่สุด รองลงมาคืออาหารทดลองสูตรที่ 1, 2 และ 4 แสดงให้เห็นว่าการเสริมกระดินลงในเศษข้าวโพดหวานหมักมีผลช่วยให้ค่าการสลายตัวของเยื่อใย NDF สูงขึ้น แต่การเพิ่มใบกระดินถึงระดับ 30% จะมีผลให้การย่อยได้ของโภชนะหรือสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะลดลง อาจจะมีผลจากกระดินที่ใช้หมักเป็นกึ่งกระดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ส่วนกึ่งที่มีขนาดใหญ่มีเปลือกไม้ที่มีส่วนประกอบของลิกนินที่ย่อยไม่ได้สูง จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง สอดคล้องกับรายงานของปัญญา และคณะ (2540) ที่กล่าวว่ากระดินมีลิกนินที่ค่อนข้างสูงเท่ากับ 6.72 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้ง สอดคล้องกับเทอดชัย (2548) รายงานว่าปริมาณเยื่อใยในอาหารที่เพิ่มขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณลิกนินที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งลิกนินจะเข้าจับตัวกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ทำให้เอนไซม์ของจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลง ดังนั้นอาหารที่มีลิกนินเพิ่มขึ้นการย่อยจึงน้อยลง

อาหารทดลองทั้ง 4 สูตร มีค่าเฉลี่ยการละลายได้ของเยื่อใย NDF (A) มีค่าเท่ากับ 10.71, 13.10, 17.79 และ 16.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเยื่อใย NDF ที่ละลายได้ทันที (A) มีผลต่อการสลายตัวของเยื่อใย NDF ได้น้อยมาก ส่วนใหญ่จะมาจากส่วนของเยื่อใย NDF ที่ละลายแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) หรือ คือส่วนที่ไม่ละลายทันที แต่เมื่อเวลาผ่าน

ไปจะถูกหมักย่อยไปเรื่อยๆ ในกระเพาะรูเมน เนื่องจากจะเป็นส่วนของเยื่อใยเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการย่อยสลายของเยื่อใยในกระเพาะรูเมนนั้นจำเป็นต้องอาศัยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการย่อยสลายเยื่อใยที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารนั้นด้วย (Van Straalen *et al.*, 1993) จากการศึกษาครั้งนี้อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่า B สูงที่สุด (65.41 เปอร์เซ็นต์) มีผลให้มีค่าศักยภาพในการย่อยสลายได้ของเยื่อใย NDF สูงสุด (A+B) คือ 83.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุ

อาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าอัตราการย่อยสลาย (c) ของเยื่อใย NDF สูงที่สุดเท่ากับ 0.054 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง และมีช่วงเวลาที่เยื่อใย NDF เริ่มถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (L) เมื่ออาหารเข้าสู่กระเพาะรูเมนทันที (0 ชั่วโมง) สอดคล้องกับประสิทธิภาพการย่อยสลายของเยื่อใย NDF ที่อัตรา 0.02 และ 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$ และ $ED_{0.05}$) ของอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยการสลายตัวของเยื่อใย NDF ในชั่วโมงที่ 72 และ 96

1.5 การสลายตัวของเยื่อใย ADF

ค่าเฉลี่ยการสลายตัวของเยื่อใย ADF ของอาหารทดลองในทุกชั่วโมงการแช่บ่มมีความมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ยกเว้นในชั่วโมงการแช่บ่มที่ 4 ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และในทุกชั่วโมงการแช่บ่มอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของเยื่อใย ADF สูงที่สุด ค่าเฉลี่ยการสลายของเยื่อใย ADF ของอาหารทดลองสูตรที่ 2, 3 และ 4 มีค่าใกล้เคียงกัน เป็นผลจากอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีเศษข้าวโพดหวานเป็นแหล่งอาหารหยาบเพียงอย่างเดียว แต่อาหารทดลองสูตรที่ 2, 3 และ 4 มีการเสริมกระถินลงไปเพื่อช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับเศษข้าวโพดหวานหมัก จึงทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าอาหารทดลองสูตรที่ 1 สังเกตได้จากส่วนของเยื่อใย ADF ที่ละลายแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) และมีค่าศักยภาพในการย่อยสลายได้ของเยื่อใย ADF (A+B) ของอาหารทดลองสูตรที่ 2, 3 และ 4 มีค่าสูงกว่าอาหารทดลองสูตรที่ 1 ซึ่งน่าจะเป็นผลจากพืชหมักที่มีใบกระถินมีโปรตีนสูงขึ้น มีผลทำให้มีแหล่งพลังงานและแอมโมเนียที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการย่อยได้ของโภชนะมากขึ้น (Van Straalen *et al.*, 1993)

เมื่อพิจารณาค่าอัตราการย่อยสลาย (c) ของเยื่อใย ADF ของอาหารทดลองสูตรที่ 2, 3 และ 4 (0.042, 0.045 และ 0.042 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง) ก็มีค่าสูงกว่าอาหารทดลองสูตรที่ 1 (0.040 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง) สอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพการย่อยสลายของเยื่อใย ADF ที่อัตรา 0.02 และ 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$ และ $ED_{0.05}$) ของอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุด ส่วนอาหาร

ทดลองสูตรที่ 2, 1 และ 4 มีประสิทธิภาพการย่อยสลายของเยื่อใย ADF ตามลำดับ โดยการเสริม กระดินลงในเศษข้าวโพดหมักมีแนวโน้มทำให้มีค่าการสลายตัวของเยื่อใย ADF เพิ่มขึ้น สอดคล้อง กับเทอดชัย (2548) รายงานว่าปริมาณเยื่อใยในอาหารที่เพิ่มขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณลิกนิน ที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งลิกนินจะเข้าจับตัวกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ทำให้เอนไซม์ของจุลินทรีย์เข้า ย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลง ดังนั้นอาหารที่มีลิกนินเพิ่มขึ้นการย่อยจึงน้อยลง

2 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารทดลอง โดยวิธีใช้สารบ่งชี้

จากการศึกษาพบว่าของอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าการย่อยได้ของโภชนะในอาหาร ทดลองโดยใช้เถ้าที่ไม่ละลายในกรด (AIA) มีค่าการย่อยได้ของโภชนะ (วัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF) สูงที่สุด 69.83 ± 1.39 , 71.43 ± 2.24 , 74.16 ± 0.08 , 75.64 ± 3.60 และ 49.78 ± 1.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้วัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ เยื่อใย NDF และ เยื่อใย ADF ต่ำที่สุด (51.42 ± 1.58 , 57.42 ± 0.58 , 63.33 ± 0.53 และ 56.03 ± 3.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่อาหารทดลองสูตรที่ 1 มีเฉลี่ยการย่อยได้ของโปรตีน และ เยื่อใย ADF ต่ำที่สุด (40.84 ± 0.10 และ 61.11 ± 1.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

การย่อยได้ของโภชนะทุกชนิดในอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุด ซึ่งน่าจะเป็นผลจาก พืชหมักที่มีใบกระดินเป็นส่วนประกอบในสัดส่วนที่เหมาะสม และกระดินเป็นพืชที่มีโปรตีน สูงขึ้น มีผลทำให้จุลินทรีย์มีแหล่งพลังงานและแอมโมเนียซึ่งสามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์ เซลล์จุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการย่อยได้ของวัตถุดิบมากขึ้น (Geerts *et al.*, 2004) แต่ การเพิ่มใบกระดินในพืชหมักเพิ่มขึ้นถึงระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลให้การย่อยได้ของโภชนะหรือ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะลดลง ซึ่งน่าจะเป็นผลจากสัดส่วนของโปรตีนและพลังงานที่ ไม่ได้สัดส่วนกัน โดยมีแหล่งพลังงานไม่เพียงพอที่จะนำโปรตีนที่มีอยู่มากไปใช้ประโยชน์ได้อย่าง เต็มที่ (เทอดชัย, 2548) นอกจากนี้ อาจจะมีผลจากกระดินที่ใช้หมักเป็นกึ่งกระดินขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ส่วนกึ่งที่มีขนาดใหญ่มีเปลือกไม้ที่มีส่วนประกอบของลิกนินที่ย่อย ไม่ได้สูง จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ลดลงเมื่อเพิ่มใบกระดินสูงมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของปัญญา และคณะ (2540) ที่กล่าวว่าใบกระดินมีลิกนินที่ค่อนข้างสูงเท่ากับ 6.72 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุดิบ สอดคล้องกับเทอดชัย (2548) รายงานว่าปริมาณเยื่อใยในอาหารที่ เพิ่มขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณลิกนินที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งลิกนินจะเข้าจับตัวกับเซลลูโลสและ เฮมิเซลลูโลส ทำให้เอนไซม์ของจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลง ดังนั้น อาหารที่มีลิกนินเพิ่มขึ้นการย่อยจึงน้อยลง

3. การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ภายในเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือด

3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะรูเมน

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนของโคที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ พบว่าโดยค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างของเหลวในกระเพาะรูเมนมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังจากการกินอาหาร โดยในช่วงที่ 2 หลังจากการกินอาหารค่าความเป็นกรด-ด่างของทุกสูตรอาหารมีค่าลดลง และค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นในช่วงที่ 4 และ 6 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลจากอาหารทดลองทุกสูตรมีปริมาณเยื่อใยที่เหมาะสมซึ่งมีผลให้เกิดการหลั่งของน้ำลายออกมาเพื่อคลุกเคล้าอาหารและช่วยในการเคี้ยวเอื้อง ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งเทอดชัย (2548) รายงานว่าระดับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตหรือการมีชีวิตอยู่ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนคือค่าระหว่าง 6.5-7.0 โดยทั่วไปแล้วค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะต่ำในช่วง 2-6 ชั่วโมงหลังจากการกิน

3.2 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายภายในกระเพาะรูเมน

ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก) จะมีค่าสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 2 หลังจากการกินอาหาร และจะเริ่มลดลงในชั่วโมงที่ 4 และ 6 ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายสามารถใช้แสดงถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากโภชนาในอาหารได้ (บุญล้อม, 2541) โดยอาหารทดลองสูตรที่ 3 น่าจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเนื่องจากมีค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวมสูงที่สุด ซึ่งกรดไขมันระเหยง่ายจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานสำคัญของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ปริมาณกรดอะซิติกในของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่เวลาต่างๆ กันคือ 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมงหลังจากการกินอาหาร พบว่าก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) กรดอะซิติกมีปริมาณสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 2 หลังจากการกินอาหาร โดยกลุ่มที่รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุด และปริมาณกรดอะซิติกจะเริ่มลดลงหลังชั่วโมงที่ 4 และ 6 หลังจากการกินอาหารเช่นเดียวกับค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวม ซึ่งเป็นผลมาจากจุลินทรีย์เข้าใช้ประโยชน์จากโภชนาที่ละลายได้เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนเซลล์ก่อน จากนั้นจึงใช้ประโยชน์จากโภชนาที่ละลายได้แต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Owens and Zinn (1988) ที่รายงานว่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมนมีค่าสูงขึ้นหลังจากการกินอาหาร โดยจะมี

ค่าสูงที่สุดที่เวลาไม่เกิน 4-6 ชั่วโมง สำหรับการทดลองนี้อาหารทดลองทุกสูตรมีค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยง่ายสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 2 หลังจากการให้อาหาร และสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนที่มีค่าต่ำในชั่วโมงที่ 2 ซึ่งเป็นผลจากอาหารทดลองมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้น

ปริมาณกรดโปรปีโอนิกมีมากเป็นอันดับ 2 รองจากกรดอะซิติก ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดโปรปีโอนิกมีค่าเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 2 หลังจากการกินอาหารมีทิศทางเดียวกันกับกรดอะซิติก ปริมาณกรดบิวทีริกที่ผลิตได้จากอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรดไขมันระเหยง่ายชนิดอื่นๆ กลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงของกรดบิวทีริกสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 2 หลังจากการกินอาหาร เมื่อเทียบกับปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้นจากการหมักอาหารจะเห็นได้ว่าทุกกลุ่มทดลองมีค่าสัดส่วนของกรดอะซิติก:กรดโปรปีโอนิก:กรดบิวทีริก ($C_2:C_3:C_4$) ไม่แตกต่างกันมากนักมีค่าเท่ากับ 79:26:4, 70:27:4, 81:36:5 และ 69:22:4 โดยปริมาณกรดอะซิติกจะมีค่าสูงที่สุดในปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมด ซึ่งเป็นผลมาจากอาหารทดลองมีปริมาณเชื้อยีสที่เหมาะสม สอดคล้องกับวิโรจน์ (2546) กล่าวว่าในอาหารปกติทั่วไปจะมีสัดส่วนของกรดอะซิติก 65 เปอร์เซ็นต์ กรดโปรปีโอนิก 20 เปอร์เซ็นต์ และกรดบิวทีริก 15 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับวิธีการให้อาหาร สัดส่วนของอาหาร ถ้าให้อาหารที่มีแหล่งคาร์โบไฮเดรตอย่างง่ายมากและมีปริมาณเชื้อยีสน้อย จะมีผลให้การผลิตกรดอะซิติกน้อยลงแต่การผลิตกรดโปรปีโอนิกจะเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Ishler *et al.* และ McDonald *et al.* (1995) ที่รายงานสอดคล้องกันว่าสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นลดลงมีผลให้การผลิตกรดอะซิติกน้อยลง แต่การผลิตกรดโปรปีโอนิกและกรดบิวทีริกจะเพิ่มขึ้น

3.3 ปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมน

ค่าเฉลี่ยแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในชั่วโมงที่ 0, 2, 4 และ 6 ของโคกลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 สูงที่สุด ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 2 สอดคล้องกับค่าความกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน แสดงว่าจุลินทรีย์สามารถนำเอาแหล่งไนโตรเจนจากอาหารไปใช้ในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มจำนวน และเมื่อมีเซลล์จุลินทรีย์มากขึ้นก็ส่งผลให้การย่อยได้ดียิ่งขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับ Geerts *et al.* (2004) กล่าวว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นภายหลังจากกินอาหาร 2 ชั่วโมงเนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเริ่มมีการย่อยสลายอาหารพวกโปรตีน โดยเฉพาะแบคทีเรียพวกที่สามารถผลิตเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนให้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน ความเข้มข้นของ

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของอาหารโปรตีนแต่ละชนิด และ Owens and Zinn (1988) กล่าวว่าโคที่กินอาหารเสริมยูเรียจะมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงที่สุดที่ 1-2 ชั่วโมงหลังจากกินอาหาร เนื่องจากยูเรียเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนและละลายน้ำได้ดี เอนไซม์ยูรีเอส (Urease) จากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน จะเร่งการย่อยสลายยูเรียเกิดแอมโมเนียได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่โคกินอาหารเสริมโปรตีนจากพืชปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นสูงที่สุด 3-5 ชั่วโมงหลังจากกินอาหาร เนื่องจากแหล่งโปรตีนจากพืชประกอบด้วยโปรตีนแท้ค่อนข้างสูง มีส่วนที่เป็นไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนอยู่น้อย มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่าสารไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ และโปรตีนแท้จากแหล่งต่างๆ มีการละลายได้แตกต่างกัน โปรตีนที่ละลายได้มากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะหมักย่อยได้มากและรวดเร็วกว่า จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนของโคที่ได้รับอาหารทดลองในสูตรต่างๆ อยู่ในระดับที่เหมาะสม สอดคล้องกับเมธา (2540) กล่าวว่าระดับที่เหมาะสมของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนควรอยู่ในระดับ 10-20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์

3.4 ปริมาณยูเรียในเลือด

กลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าเฉลี่ยปริมาณยูเรียในเลือด (ชั่วโมงที่ 0, 2, 4 และ 6) สูงที่สุด ปริมาณยูเรียในเลือดมีค่าสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 2 หลังจากการกินอาหารเช่นเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของเหลวจากกระเพาะรูเมนที่กล่าวไว้ข้างต้น สอดคล้องกับ Higginbotham *et al.* (1989) ที่กล่าวว่าค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่ายูเรียในเลือดเพิ่มขึ้นด้วย ระดับยูเรียในเลือดจะเพิ่มขึ้นหลังจากการกินอาหารในชั่วโมง 2-4 เนื่องจากเป็นช่วงที่เกิดกระบวนการย่อยสลายอาหารโปรตีนได้ในระดับสูง นอกจากนี้ Church (1979) ได้อธิบายการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้องไว้ว่า โดยทั่วไปแล้วโปรตีนจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วในกระเพาะรูเมนโดยการทำงานของจุลินทรีย์ได้ผลผลิตสุดท้ายคือแอมโมเนียโดยประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์จะถูกไปในการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์โปรตีน ส่วนแอมโมเนียที่เหลือจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปสู่กระแสเลือดผ่านไปยังตับ เพื่อเข้าสู่วัฏจักรยูเรีย

4. การเปลี่ยนแปลงจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

จำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนของโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถิน 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าสูงที่สุด ซึ่งมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของเหลวจากกระเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือดที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่าจำนวนของโปรโตซวานั้นจะมีความสัมพันธ์กับค่าการย่อยได้ของโภชนะ และระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน น่าจะเป็นผลมาจากอาหารสูตรที่ 3 มีอัตราการย่อยสลายอาหารประเภทแป้ง และน้ำตาลได้อย่างเหมาะสม ทำให้สภาวะในกระเพาะรูเมนมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน (Hungate, 1966) โดยระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนยังมีผลต่อการเพิ่มจำนวนโปรโตซัว นอกจากนี้จำนวนโปรโตซัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณการกินได้ กับอัตราการไหลผ่านออกของอาหารจากกระเพาะรูเมนด้วย (Jouany and Ushid, 1999) หากมีจำนวนโปรโตซัวสูงจะทำให้มีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนสูงตามไปด้วย เพราะโปรโตซัวจะมีความสามารถในการทำให้เกิดกระบวนการดีอะมิเนชัน (Deamination) ดังนั้นหากมีกิจกรรมดีอะมิเนชันสูง ก็จะส่งผลให้มีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เป็นผลผลิตสุดท้ายของการย่อยสลายสารอาหารโปรตีนสูงตามไปด้วย (Hino and Russell, 1987)

ส่วนกลุ่มแบคทีเรียที่สำคัญในกระเพาะรูเมนนั้น พบว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสสูงที่สุด ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) การมีจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสสูง แสดงว่าอาหารทดลองมีเชื้อยีสที่ เหมาะสม เนื่องจากแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสเป็นแบคทีเรียที่มีมากที่สุด ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่กินอาหารที่มีเชื้อยีส สอดคล้องกับไชยวรรณ (2538) กล่าวว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้จะเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่มีเชื้อยีสระดับสูง จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสทำให้มีการย่อยได้ของเชื้อยีส NDF และ ADF เพิ่มขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับ Weimer (1996) ที่พบว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้จะมีความสามารถในการสร้างเอนไซม์เซลลูเลสในระดับสูง ทำให้มีการย่อยสลายอาหารคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างให้ได้เซลลูโลสได้อย่างเหมาะสม เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์

กลุ่มประชากรแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนเพิ่มขึ้นตามระดับกระถินที่เพิ่มขึ้น และอยู่ในช่วงที่ Hungate (1966) รายงานไว้คือ $10^4 - 10^7$ CFU/ml ทั้งนี้เพราะสัตว์ได้รับโภชนะโปรตีนที่เพิ่มขึ้นตามระดับของกระถินที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับระดับการย่อยโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในกลุ่มที่มีการเสริมด้วยกระถิน ซึ่งทำให้เกิดสมดุลนิเวศวิทยาภายในกระเพาะรูเมน ทำให้มีการนำแหล่งไนโตรเจน

จากแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนร่วมกับคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ในกระเพาะรูเมน ไปสังเคราะห์เป็นเซลล์จุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับ Ali *et al.* (1997) ที่ได้ทำการศึกษาผลของแหล่งและระดับโปรตีนต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย พบว่าจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนจะเพิ่มขึ้นตามระดับโปรตีนที่เสริมในสูตรอาหาร

การเพิ่มกระถินในพืชหมักเพิ่มขึ้นถึงระดับ 30เปอร์เซ็นต์ มีผลให้จำนวนจุลินทรีย์น้อยลง ทั้งนี้อาจเกิดจากกระถินที่ใช้หมักเป็นกึ่งกระถินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ซึ่งในส่วนของกึ่งกระถินจะมีเปลือกไม้ซึ่งมีลิกนินที่ย่อยได้ยากเป็นส่วนประกอบอยู่สูง ให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโกษะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มใบกระถินสูงมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของปัญญา และคณะ (2540) ที่กล่าวว่ากระถินมีปริมาณลิกนินค่อนข้างสูงเท่ากับ 6.72 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้ง และเทอดชัย (2548) รายงานว่าปริมาณเชื้อใยในอาหารที่เพิ่มขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณลิกนินที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งลิกนินจะเข้าจับตัวกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ทำให้เอนไซม์ของจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลง ดังนั้นอาหารที่มีลิกนินเพิ่มขึ้นการย่อยได้จึงน้อยลง

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษากการย่อยได้ของโกษะของอาหารทดลองด้วยวิธีการใช้ถุงไนลอน และการทดลองด้วยวิธีใช้สารบ่งชี้ จะเห็นได้ว่าผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าการย่อยได้ของโกษะ (วัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ โปรตีน เชื้อใย NDF และเชื้อใย ADF) ของอาหารทดลองที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าการย่อยได้ของโกษะสูงที่สุด รองลงมาคือเศษข้าวโพดหวานหมัก (สูตรที่ 1) และเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 2) ส่วนอาหารที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินในระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 4) มีค่าการย่อยได้ของโกษะต่ำที่สุด ด้านการศึกษากการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตในกระเพาะรูเมนคือ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน ปริมาณยูเรียในเลือด จำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส และจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนก็สอดคล้องกับการศึกษากการย่อยได้ของโกษะ คืออาหารทดลองสูตรที่ 3 เป็นอาหารทดลองที่มีการย่อยได้ของโกษะดีที่สุด

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. การหมักกระถินสับร่วมกับเศษข้าวโพดหวานหมักมีผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์วัตถุดิบ โปรตีน และเยื่อใย ADF เพิ่มขึ้น แต่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เยื่อใย NDF และอินทรียวัตถุมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนของกระถินที่เพิ่มขึ้น
 2. อาหารทดลองที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวของวัตถุดิบ อินทรียวัตถุ โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF สูงที่สุดในทุกชั่วโมงการแช่บ่ม โดยค่าการสลายตัวของโภชนะจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อชั่วโมงแช่บ่มนานขึ้น และอาหารทดลองสูตรที่ 3 มีค่าศักยภาพการย่อยสลาย (A+B) ของวัตถุดิบ อินทรียวัตถุ โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF สูงที่สุด ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 96.93, 84.50, 99.85, 83.20 และ 79.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
 3. อาหารทดลองที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรียวัตถุ โปรตีน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF โดยวิธีใช้สารบ่งชี้สูงที่สุด ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)
 4. อาหารทดลองที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายสูงที่สุด โดยมีสัดส่วนของกรดอะซิติก : กรดโปรปิโอนิก : กรดบิวทิริก ($C_2:C_3:C_4$) ของอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าเท่ากับ 69:16:12, 64:20:15, 65:20:13 และ 64:20:13 ตามลำดับ
- โคที่ได้รับอาหารทดลองที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระถินในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน และค่ายูเรียในเลือดที่ 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมงสูงที่สุด ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน และปริมาณยูเรียในเลือดที่เพิ่มขึ้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

5. ที่ชั่วโมง 0, 2, 4 และ 6 หลังจากการให้อาหารจำนวนโปรโตชีวในกระเพาะรูเมนของโคที่ได้รับอาหารทดลองที่มีเศษข้าวโพดหวานหมักร่วมกับกระดินในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) มีค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของจำนวนโปรโตชีวในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยความแตกต่างของจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส และแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)



ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเศษข้าวโพดหวานมีความขึ้นมากในการทำฟีดหมักจึงควรเพิ่มฟางข้าว, รำละเอียด หญ้าแห้งหรือกระถินสับเพื่อช่วยดูดซับความชื้น ทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มวัตถุดิบ ช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร
2. นอกจากนี้หากจะนำเศษข้าวโพดหวานหมักเพียงอย่างเดียวให้โคกินควรผสมฟางข้าว, หญ้าแห้งหรืออาหารชั้นลงไปด้วยเพื่อช่วยเพิ่มความน่ากินอาหาร

บรรณานุกรม

- กัญจนะ มาภิจิตร. 2551. การใช้กระถินเป็นอาหารโคนม. **แพะวัวเศรษฐกิจ**. (กรกฎาคม). 13-15.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2550. **เนื้อที่ปลูก ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และข้าวโพดฝักอ่อนในประเทศไทยปี 2544-2549**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.doae.go.th>. (9 กันยายน 2551).
- กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2539. การส่งออกข้าวโพดหวานแช่แข็งและกระป๋อง. กรุงเทพฯ: กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร.
- กรมวิชาการเกษตร. 2545. **เกษตรกรที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดหวาน**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 58 น.
- จินดา สนิทวงศ์ฯ. 2539. ข้าวโพดและเศษเหลือจากข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์. **ทะเบียนผลงานทางวิชาการ**. 39(2): 35.
- จินดา สนิทวงศ์ฯ, ศศิธร ถิ่นนคร, อรรถยา เกียรติสุนทร และชาญชัย มณีคุลย์. 2529. การใช้กระถินสดในการขุนโคหลังบ้าน. น. 60-70. ใน **ประมวลเรื่องการประชุมทางวิชาการปศุสัตว์ ครั้งที่ 2**. กรุงเทพฯ: กรมปศุสัตว์.
- จินดา สนิทวงศ์ฯ, สุวิทย์ อินทฤทธิ์ และสถิต มั่งมีชัย. 2541. การใช้ขังข้าวโพดหวานเป็นอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโครีคนมในช่วงหน้าแล้ง. น. 1-11. ใน **รายงานผลงานวิจัยประจำปีของกองอาหารสัตว์**. กรุงเทพฯ: กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ฉลอง วชิราภากร. 2546. **โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น**. ขอนแก่น: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 230 น.
- จรูญ สุขเกษม, ขวลิศ ชโลธร, คุณิต มานะจุติ และกนิษฐา เอื้องสวัสดิ์. 2537. การเจริญเติบโตและผลผลิตของกระถินณรงค์และกระถินยักษ์ในจังหวัดเชียงใหม่. **เกษตร**. 10(3): 226-234.
- ชูศักดิ์ จอมพุท และทิวา พาโลกทม. 2547. **พืชเศรษฐกิจ : ข้าวโพด**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 55-73 น.
- ไชยวรรณ วัฒนจันทร์. 2532. การศึกษาเปรียบเทียบแบคทีเรียที่ย่อยสลาย Cellulose ในกระเพาะรูเมนของกระบือและโคที่ได้รับอาหารชนิดต่างๆ. ขอนแก่น: ปัญหาพิเศษ, สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 76 น.
- ณรงค์ โคมเจลา. 2523. กระถินยักษ์. **วิทยาศาสตร์เกษตร**. 13(2): 161-170.

- ทรงศักดิ์ จำปาหวะดี และยุทธชัย อุทัยแพน. 2542. **คู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์อาหารสัตว์และประเมินคุณภาพอาหารสัตว์**. มหาสารคาม: ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 124 น.
- เทอดชัย เวียร์ศิลป์. 2542. **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง**. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 357 น.
- _____. 2548. **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง**. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 357 น.
- เทอดชัย เวียร์ศิลป์ และ U. ter Meulen. 2542. วิธีศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้องและสุกร. น. 291-312. ใน **ประมวลผลงานด้านวิชาการเกษตรเนื่องในวโรกาสมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษาครบ 6 รอบ**. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ธนากร ฤทธิ์ไธสง. 2549. **การทำให้แห้งมูลสัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ เค แอนด์ เค บั๊ค. 122 น.
- นิรนาม. 2549. ข้าวโพดหวานป้อนโรงงาน ..ตลาด.. ต้องการผลผลิตอีกเพียบ. **รักษ์เกษตร**. 6(61): 79-82.
- บุญล้อม ชีวอิสระกุล. 2541. **โภชนศาสตร์สัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 6. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 170 น.
- บุญล้อม ชีวอิสระกุล และทิพย์วรรณ ปรพัฒนานนท์. 2531. คุณค่าทางอาหารและการใช้เปลือกและต้นข้าวโพดฝักอ่อนเป็นอาหารสัตว์. การใช้วัสดุในท้องถิ่นเป็นอาหารสัตว์. ใน **รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ ณ จ.เชียงใหม่**. น. 323. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 323 น.
- บุญเสริม ชีวอิสระกุล. 2539. **พืชหมัก**. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 24 น.
- บุญเสริม ชีวอิสระกุล และบุญล้อม ชีวอิสระกุล. 2529. สมรรถภาพในการผลิตของโครุ่นที่ ได้รับฟางข้าวเสริมใบกระถินและรำละเอียดเปรียบเทียบกับฟางปรุงแต่งและรำ. **เกษตร**. 2(1) : 1-16.
- บุญล้อม ชีวอิสระกุล, บุญเสริม ชีวอิสระกุล และสมคิด พรหมมา. 2543. การปรับปรุงคุณภาพและการเก็บถนอมอาหารหยาบ. น. 192-205. ใน **เอกสารการสอนชุดวิชาหลักโภชนศาสตร์สัตว์และอาหารสัตว์ หน่วยที่ 9-15**. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราช.

- ปัญญา ธรรมศาล, ประเสริฐ โพธิ์จันทร์ และสุนน โพธิ์จันทร์. 2540. การใช้ใบกระถินแห้งเป็นอาหารหยาบขุนแกะ. **สัตวบาล**. 7(39): 79-85.
- ปราโมช สีตะโกเศศ. 2543. การผลิตโคนม และ โคนือ. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว
คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 246 หน้า
- ปราโมทย์ แพ่งคำ. 2545. อาหารโคกับสิ่งแวดล้อม. **สัตวบาล**. 11(54): 20-24.
- ปราโมทย์ แพ่งคำ, เจ บี เหลียง และ เอ แซด จีแลน. 2543. ความสามารถในการย่อยได้ในกระเพาะรูเมนและลำไส้เล็ก ของใบกระถิน (*Leucaena leucocephala*) และใบปอ (*Hibiscus cannabinas*) โดยเทคนิค Nylon bag และ Mobile bag. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย)**. 8(2): 29-35.
- มนต์ชัย ดวงจินดา. 2537 . การใช้โปรแกรม SAS เพื่อวิเคราะห์งานวิจัยทางสัตว. ขอนแก่น: ภาควิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 129 น.
- เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. กรุงเทพฯ: ฟีนีเพลบลิชชิง จำกัด. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 471 น.
- เมธา วรรณพัฒน์. 2540. โคนมกับวิกฤติการณ์อาหาร โคนม: ปัญหาและการแก้ไข. **โคนม**. 16(2): 6-8.
- พรศรี ชัยรัตนายุทธ์ และทิพยา สิงห์ลักษณ์. 2531. การใช้ขังข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง : การใช้วัสดุในท้องถิ่นเป็นอาหารสัตว์. น. 323. ใน รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ จังหวัดเชียงราย. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วรรณ อ่างทอง. 2545. การย่อยได้ ค่าพลังงาน และระดับที่เหมาะสมของใบกระถินหมักในอาหารโคนม. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 127 น.
- วรรณภา เสนาคี. 2549. อุตสาหกรรมข้าวโพดหวานของไทยไปไกลกว่า 5,000 ล้านบาทแล้ว. **โลกของพืชผัก**. 30(3): 197-205.
- วลัยกานต์ เจียมเจตจำรุณ. 2542. การใช้เศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดฝักอ่อนและข้าวโพดหวานเป็นอาหารสัตว์ [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.dld.go.th>. (5 สิงหาคม 2549)
- วิโรจน์ ภัทรจินดา. 2546. โคนม. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 435 น.
- วีระศักดิ์ ดวงจันทร์. 2550. ความสำคัญ ตลาด พันธุ์ การปลูก ข้าวโพดหวาน. **เทคโนโลยีเกษตรแนวใหม่**. 7(82): 80-82.

- สดางค์ ภูมิสุทธาผล. 2543. ผลของการใช้การปรับวัตถุแห้งและการใช้สารเสริมต่อกระบวนการหมัก และคุณค่าทางโภชนาของเปลือกและขังข้าวโพดหวานหมักในโคนม. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 80 น.
- สายขิม แสงโชติ และนวลมณี กาญจนพิบูลย์. 2532. การหมักต้นและเศษเหลือของข้าวโพดฝักอ่อนเสริมด้วยใบกระถินโดยใช้จุลินทรีย์เพื่อใช้เป็นอาหารโคนม. กรุงเทพฯ: กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์.
- สายขิม แสงโชติ, ทิพา บุญชะวีโรจ และนวลมณี กาญจนพิบูลย์. 2551. คุณค่าทางโภชนาของยอดอ้อยหมักผสมใบกระถินในอัตราต่าง ๆ กัน. แพะวัวเศรษฐกิจ. (กรกฎาคม): 56-60.
- สายัณห์ ทัดศรี. 2540. พืชอาหารสัตว์เขตร้อนการผลิตและการจัดการ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 375 น.
- สุรศักดิ์ จิตตะโคตร. 2542. ผลของการใช้แคะซาเรียแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลืองต่อปริมาณการกินได้ เมทาบอลิซึมในกระเพาะเล็ก กระบวนการหมักในกระเพาะหมัก การย่อยได้ และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในโคนมที่ได้รับฟางหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบ. ขอนแก่น: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 250 น.
- เสริมศักดิ์ สุวรรณศิลป์. 2543. พืชอาหารสัตว์และการจัดการทุ่งหญ้า. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 298 น.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.oae.go.th>. (9 กันยายน 2551).
- อำพล วรวิธรรม. 2544. การใช้กากเมล็ดฝ้ายเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. สัมมนาปริญญาโทสาขาสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 37 น.
- Acquah, G. 2002. **Principles of Crop Production: Theory: Techniques and Technology.** New Jersey: Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River. 460 p.
- Akingbade, A.A., I.V. Nsahlai, M.L.K. Bonsi, C.D. Morris and L.P. du Toit. 2001. Reproductive performance of South African indigenous goats inoculated with DHP-degrading rumen bacteria and maintained on *Leucaena leucocephala* grass mixture and natural pasture. **Small Rum. Res.** 39(1): 73-85.
- Ali, D.E., T. Khaliq and M. Sarwar. 1997. Influence of various sources of non-protein nitrogen source on *in vitro* fermentation pattern of rumen microbes. **J. Anim. Sci.** 10: 357.

- Anonymous. 1984. **Leuceana : Promising Forage and Tree Crop for the Tropics**. 2nd ed. Washington, D.C.: NETA. National Academy Press.
- AOAC. 1984. **Official Method of Analysis**. 14th ed. Virginia, USA.: Association of Analytical Chemists. 379 p.
- Bail, M.G., J.K. Ha, W.Y. Kim and In K. Han. 1997. Effect of different levels of concentrate in complete rations on nutrient digestibilities and ruminal metabolism in sheep and growth performance in Korean Native Bull. **J. Anim. Sci.** 10: 371.
- Baxter, H.D., M.J. Montgomery and J.R. Owens. 1980. Digestibility and feed value of corn silage fed with boot stage wheat silage and alfalfa silage. **J. Dairy Sci.** 63: 255-261.
- Boniface, A.N., R.M. Murry, and P.J. Hogan. 1986. Optimum level of ammonia in the rumen liquor of cattle fed tropical pasture hay. **Proc. Aust. Soc. Anim.** 16: 151-154.
- Beuvink, J.M.W. and S.F. Spoelatra. 1992. Interactions between substrate, fermentation end products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrate by mixed rumen microorganisms *in vitro*. **Appl. Microbial Biotechnol.** 37(4): 505-509.
- Brewbaker, J.L. 1995. **New Crop FactSHEET : Leuceana**. Purdue University. Center for New Crop and Plant Products. Department of Agriculture, Handbook. 239 p.
- Bryant, M.P. and N. Small. 1986. The anaerobic monotrichous butyric acid-producing curved rod-shaped from the rumen of cattle. **J. Bacterial.** 71:43.
- Chen, X.B. 2003. **Neway excel, An excel application program for processing feed degradability data, UserManual**. [Online]. Available [http:// www.macauley.ac.uk /IFRU/ resrc_fcurve.html](http://www.macauley.ac.uk/IFRU/resrc_fcurve.html) (20 February 2006).
- Church, D.C.. 1969. **Digestive Physiology and Nutrition of Ruminant**. Vol. I. Corvallis, Oregon, USA.: O & B Books.
- Dalzell, S.A., J.L. Stewart, A. Tolere and D.M. McNeil. 1998. Chemical comparison of Leucaena and implications for forage quality. pp. 277-246. **In Leucaena – Adaptation, Quality and Farming System**. Proceedings of a Workshop Held in Hanoi.
- De Boer G., J.J. Murphy and J.J. Kennelly. 1987. Mobile nylon bag for estimating intestinal availability of rumen undegradable protein. **J. Dairy Sci.** 70(5): 977-982.

- De Boever, J.L., B.G. Cottyn, F.X. Buysse, F.X. Wainman and J.M. Vanacker. 1986. The use of an enzymatic technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of compound feedstuffs for ruminants. **Anim. Feed Sci. Technol.** 14(3): 203-214.
- Depies, K.K and L.E. Armentano. 1995. Partial replacement of alfalfa fiber with fiber from ground corn cobs or wheat middlings. **J. Dairy Sci.** 78: 1328-1335.
- Dhiman, T.R. and L.D. Satter. 1997. Yield response of dairy cows fed different proportions of alfalfa silage and corn silage. **J. Dairy Sci.** 80(9): 2069-2082.
- Doane, P.H., P. Schofield and A.N. Pell. 1997. Neutral detergent fiber disappearance and gas and volatile fatty acid production during the *in vitro* fermentation of six forages. **J. Anim. Sci.** 75(12): 3342-3352.
- El Hassan, S.M., A. L. Kassi, C.J. Newbold and R.J. Wallaxe. 2000. Chemical composition and degradation characteristics of foliage of some African multipurpose trees. **Anim. Feed Sci. Technol.** 86: 27-37.
- Emery, R.S., L.D. Brown and J.W. Thomas. 1964. Comparison of corn cob and hay in ground restricted-roughage rations affecting milk composition. **J. Dairy Sci.** 47(12): 1322-1324.
- Galyean, M. 1989. **Laboratory Produce in Animal Nutrition Research.** U.S.A.: Department of animal sciences. New Mexico State University.
- Geerts, N. E., D. L. De Brabander, J. M. Vanancker, J. L. De Boever and S.M. Botterman. 2004. Milk urea concentration as affected by complete diet feeding and protein balance in the rumen of dairy cattle. **Liv. Prod. Sci.** 85: 263-273.
- Goering, H.K. and P.N. Van soest. 1970. **Forage Fiber Analysis.** Washington, DC.: Department of Agriculture, Handbook. 379 p.
- Higginbotham, G. E. , J. T. Huber, M.V. Wallentine, N.P. Johnston and D. Andrus. 1989. Influence of protein percentage and degradability on performance of lactating cows during moderate temperature. **J. Dairy Sci.** 72(7): 1818-1823.
- Hino, T. and J.B. Russell. 1987. Relative contribution of ruminal bacteria and protozoa to the degradation of protein *in vitro*. **J. Anim. Sci.** 64: 261-270.
- Hungate, R.E. 1966. **Rumen and Its Microbe.** New York: Academic Press.

- _____. 1969. A roll tube method for cultivation of strict anaerobes. pp. 313:117. In **Method in Microbiology**. New York: Academic Press.
- Isher, V., J. Hegemeister and G. Varga. 1996. **From Feed to Milk Understanding Rumen Function**. The Pennsylvania State University Extension Circular. 422 p.
- Jaster, E.H., D.F. Bell and G.C. McCoy. 1983. Evaluation of sweet corn residue as roughage for dairy heifers. **J. Dairy Sci.** 66(11): 2349-2355.
- Jouany, J.P. and K. Ushida. 1999. The role of protozoa in feed digestion (a review) Asian - Avst. **J. Anim. Sci.** 12(1): 113.
- Kaufmann, W., H. Hagemeister and G. Dirksen. 1982. Adaptation to change in dietary composition level and frequency of feeding. pp 587-602. In Y. Ruckebusch and P. Thivend (eds). **Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants**. Westport: AIV. Pub. Com.
- Khandaker, Z.H. and A.M.N. Tareque. 1997. Effect of rumen degradable protein (RDP) in straw based ration of purine derivatives excretion and microbial nitrogen supply in cattle. **J. Anim. Sci.** 10: 364.
- Leng, R.A. 1997. Tree Foliage in Ruminant Nutrition. FAO, Rome. 100p. Liang, J.B., M. Matsumoto, and B.A. Young. 1994. Purine derivative excretion and ruminal microbial yield in Malaysian cattle and swamp buffalo. **Anim. Feed Sci. Technol.** 47: 189-199.
- Leng, R.A. and J.V. Nolan. 1984. Symposium : Protein nutrition of the lactating nitrogen metabolism in the rumen. **J. Dairy Sci.** 67(5): 1072-1089.
- Lopez-Guisa, J.M., L.D. Satter and M. Panciera. 1991. Utilization of ensiled corn crop residues by Holstein heifer. **J. Dairy Sci.** 74(9): 3160-3166.
- McDonald, P. 1981. **The Biochemistry of Silage**. New York: John Wiley and Sons.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh and C.A. Morgan. 1995. **Animal Nutrition**. 5th ed. New York : Longman Publishing Group. 607 p.
- Menke, K.H. and H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. **Anim. Res. Devel.** 28: 7-55.
- Mustafa, A.F., F. Hassanat and R.R. Benhiaume. 2004. *In situ* forestomach and intestinal nutrient digestibility of sweet corn residue. **Anim. Feed Sci. and Tech.** 144: 287-293.

- Oljen, J. W. and K.K. Bolsen. 1980. Wheat, Barley, Oat and corn silages for growing steer. **J. Technol.** 51: 958-965.
- Ørskov, E.R. and I.McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage (sheep). **J. Agri Sci. Camb.** 92(2): 499-503.
- Owens, F.N. and R. Zinn. 1988. Protein metabolism of ruminant animals. *In* : D.C. Church (ed). **The Ruminant Animal : Digestive Physiology and Nutrition.** Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall. . 564 p.
- Pell, A.N. and P. Schofield. 1993. Computurized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **J. Dairy Sci.** 76(4): 1063-1073.
- Preston, T.R., and R.A. Leng. 1987. **Matching Ruminant Production System with available Resources in the Tropics and Sub-Tropics.** Armidale, Australia: Penambul Books. 245 p.
- Ramu, A., R. T. Janardhana and G.V. Raghavan. 1997. Proteolytic activity in rumen of sheep and goats fed complete feeds containing water washed neem seed-cake. **Indian J. Anim. Sci.** 67: 930-931.
- Satter, L.D., and R.E. Slyer. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production *in vitro*. **Brit. J. Nutri.** 32: 199-208.
- Scholljegerdes, E.J., P.A. Ludden and B.W. Hess. 2004. Site and extent of digestion and amino acid flow to the small intestine in beef cattle consuming limited amounts of forage. **J. Anim. Sci.** 82: 1146-1156.
- Shelton, H.M. and J.L. Brewbaker. 1994. *Leucaena leucocephala* the most widely used forage tree legume. pp. 15-29. *In* R.C. Gutteridge and H.M. Shelton (eds). **Forage Legumes in Tropical Agriculture.** Wallingford: CAB International.
- Skermen, P. J. and F. Riveros. 1990. **Tropical Grasses.** Rome, Italy : Food and Agriculture Organization of the United Nations. 853 p.
- Soper, I.G., F.G. Owen and M.K. Nielsen. 1976. Hydroxide treated corn cob fed with corn silage in complete rations. **J. Dairy Sci.** 60(4): 596-601.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1984. **Principles and Procedures of Statistics.** 2nd ed. New York: McGraw Hill Book Co. Inc. 633 p.

- Stewart, C.S. 1997. Factors affecting the cellulolytic activity of rumen contents. **Appl. Environ Microbial** 33(4): 497-502.
- Stür, W.W., H.M. Shelton and R.C. Gutteridge (eds). 1994. Defoliation management of forage tree legums. pp. 158-167. In: **Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture**. Wallingford: CAB International.
- Thomas, E.D., P. Mandevu, C.S. Ballard, C.J. Sniffen, M.P. Carter and J. Becht. 2001. Comparison of corn silage hybrids for yield, nutrient composition, *in vitro* digestibility, and milk yield by dairy cows. **J. Dairy Sci.** 84(10): 2217-2226.
- Van Straalen W.M., F.M.H. Dooper, A.M. Antoniewicz, I. Kosmala and A.M. Van Vuuren. 1993. Intestinal digestibility in dairy cows of protein from grass and clover measured with mobile nylon bag and other methods. **J. Dairy Sci.** 76(10): 2970-2981.
- Weimer, P.J. 1996. Why don't ruminant bacteria digest cellulose faster?. **J. Dairy Sci.** 79(8):1496-1502.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

เทคนิคทางจุลชีววิทยาในการศึกษาจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

เทคนิคทางจุลชีววิทยาในการศึกษาจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

1. การศึกษาเกี่ยวกับ Microscopic direct count (Galyean, 1989) ได้แก่ Protozoa count

1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1.1.1 สารเคมี

- Nomal Saline (0.85% w/v)
- Formalin (10 % v/v)
- น้ำกลั่น

1.1.2 อุปกรณ์

- Haemocytometer ขนาดกว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 1 มิลลิเมตร และลึก 0.1 มิลลิเมตร
- ขวดพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่าง ขนาด 30 มิลลิลิตร พร้อมฝาปิด
- สไลด์ พร้อม Cover glass
- บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
- กระดาษทิชชู
- หลอดทดลองขนาด 20 มิลลิลิตร
- ปิเปต
- กล้องจุลทรรศน์

1.2 การเตรียม Formalin 10 % in Nomal Saline (fix solution)

1. เตรียม Nomal Saline ให้มีความเข้มข้น 0.85% (w/v)
2. เตรียม Formalin ให้มีความเข้มข้น 10 % (v/v) โดยใช้ Nomal Saline (0.85%) เป็นตัวทำละลาย เช่น ถ้าต้องการเตรียมปริมาตร 100 มิลลิลิตรจะใช้

Nomal Saline 90 มิลลิลิตร

Formalin 10 มิลลิลิตร

1.3 การเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาใช้ในการศึกษา

ทำการสุ่มเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมนในช่วงเวลาต่างๆ โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมนประมาณ 1 มิลลิลิตร และเติมด้วย Formalin 10 เปอร์เซ็นต์ 9 มิลลิลิตรทันที หลังจากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C หรืออุณหภูมิห้อง เพื่อรอการนับจำนวนประชากรจุลินทรีย์ต่อไป

1.4 วิธีการนับจุลินทรีย์

โปรโตซัว (Protozoa count)

1. ทำการนับจากการเก็บตัวอย่างได้เลย โดยไม่ต้องทำการเจือจางอีก โดยใช้กำลังขยาย 100 เท่า โดยนับทั้งหมด 400 ช่องเล็ก (1 ช่องใหญ่) และทำการนับจำนวน 2 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ยจำนวนโปรโตซัวโดยใช้สูตร

$$\text{จำนวนโปรโตซัว} = \text{ค่าเฉลี่ยที่นับได้} \times \text{Square factor} \times \text{Dilution factor}$$

เมื่อ Square factor มีค่าเท่ากับ 1×10^4

2. การศึกษากลุ่มของแบคทีเรียที่สำคัญโดยดัดแปลงจากวิธี Roll tube technique (Hungate, 1969)

กลุ่มแบคทีเรียที่ศึกษา มี 3 กลุ่มสำคัญ ได้แก่

1. แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส
2. แบคทีเรียที่ย่อยโปรตีน

2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมี

- Cellulolytic medium
- Proteolytic medium
- 0.1 N HCl
- 0.1 N NaHCO₃
- น้ำกลั่น

2.1.2 อุปกรณ์

- ขวดพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่าง ขนาด 30 มิลลิลิตร พร้อมฝาปิด
- ปีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
- Erlenmayer Flask ขนาด 1 และ 2 ลิตร
- จุกยาง
- กระดาษฟอล์ย
- ขากรวดของ
- ปิเปต

2.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ และส่วนประกอบ

2.2.1 Cellulose medium

- Bacto casitone	1.0	กรัม
- Mineral A	15.0	มิลลิลิตร
- Mineral B	15.0	มิลลิลิตร
- Claritified rumen fluid	20.0	มิลลิลิตร
- Agar	2.0	กรัม
- Resazurin	0.0001	กรัม
- Cellulose powder	1.0	กรัม
- NaHCO ₃	0.4	กรัม
- Cysteine Hydrochloride	0.05	กรัม
- น้ำกลั่น	100	มิลลิลิตร
pH 6.8-7.0		

2.2.2 Proteolytic medium

- Mineral A	15.0	มิลลิลิตร
- Mineral B	15.0	มิลลิลิตร
- Claritified rumen fluid	20.0	มิลลิลิตร
- Agar	2.0	กรัม
- Tryptose	0.3	กรัม
- Casein	0.5	กรัม
- Resazurin	0.0001	กรัม
- NaHCO ₃	0.4	กรัม
- Cysteine Hydrochloride	0.05	กรัม
- น้ำกลั่น	100	มิลลิลิตร
pH 6.8-7.0		

การเตรียม Mineral A

- K ₂ HPO ₄	3	กรัม
- น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร

การเตรียม Mineral B

- K_2PO_4	3	กรัม
- $(NH_4)_2SO_4$	6	กรัม
- NaCl	6	กรัม
- $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.6	กรัม
- $CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.2	กรัม
- น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร

การเตรียม Clarified rumen fluid (CRF)

1. นำของเหลวจากกระเพาะรูเมนประมาณ 1 ลิตร กรองด้วยผ้ากรอง 4 ชั้น และนำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ด้วยความเร็ว 30100 x g นาน 30 นาที เก็บเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวใส นำไปเก็บที่อุณหภูมิ $-20^{\circ}C$ ได้นาน 30 วัน เพื่อใช้ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อต่อไป

หมายเหตุ – ควรมีการเตรียม CRF ของสัตว์ทุกตัวที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน

2.3 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ทำการชั่งและตวงสารต่างๆ ตามสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อเฉพาะของแต่ละกลุ่ม
3. เมื่อทำการปรับ pH ได้แล้วให้นำขวดที่มี Agar บรรจุอยู่มารองรับสารละลายอาหารเลี้ยงเชื้อในปริมาตร 5 มิลลิลิตร
4. ผ่านก๊าซ CO_2 เข้าไปในขวดอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละขวดนาน 1 นาที หลังจากนั้นปิดด้วยจุกยาง และใช้กระดาษฟอลด์หุ้มรองจุกยาง และรัดด้วยยางรัดของให้แน่น
5. นำไป Autoclave ที่ $121^{\circ}C$ นาน 15 นาที
6. นำขวดอาหารเลี้ยงเชื้อไปแช่ใน Water bath ที่มีอุณหภูมิ $55^{\circ}C$ โดยใช้ระดับน้ำใน Water bath มีระดับสูงกว่าระดับอาหารเลี้ยงเชื้อในขวด เพื่อรอการเลี้ยงเชื้อต่อไป

2.4 การเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

- 2.4.1 ล้างเก็บตัวอย่างมากรองด้วยผ้าขาวบาง 4 ชั้น และรีบบรรจุลงขวดเก็บตัวอย่างขนาด 60 มิลลิลิตรจนเต็ม
- 2.4.2 นำมาแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ $4^{\circ}C$ เพื่อนำมาที่ห้องปฏิบัติการจุลินทรีย์โดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้
- 2.4.3 นำตัวอย่างที่เก็บมาทำการเจือจางเพื่อทำการเลี้ยงเชื้อต่อไป

2.5 การเจือจางของเหลวจากกระเพาะรูเมน

ทำการเจือจางของเหลวจากกระเพาะรูเมนให้มีความเจือจางลดลงระดับละ 10 เท่า ตามลำดับ ตั้งแต่ 10^0 , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} ไปจนถึง 10^{-10}

2.6 การเลี้ยงเชื้อ

2.6.1 เลือกขวด Dilution ที่เหมาะสมกับกลุ่มแบคทีเรียที่ต้องการจะนับ เช่น

- แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสเลือกใช้ 10^{-4} และ 10^{-5}
- แบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนเลือกใช้ 10^{-4} และ 10^{-5}

2.6.2 การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ใน Cellulose medium

- ใช้ปิเปตดูดสารละลายที่ระดับความเจือจางที่กำหนดใส่ในงานเลี้ยงเชื้อ จากนั้นเทอาหาร Cellulose medium ตามปริมาตรที่เลือกบนตัวอย่างให้ทั่วรอให้อาหารแข็ง

- นำไปบ่ม (Incubated) ที่ 39°C เป็นเวลา 7 วัน

2.6.3 การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ใน Casein

- ทำเช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยง Cellulose medium ยกเว้นระดับความเจือจางและปริมาตรตัวอย่างที่ใช้

- ใช้ปิเปตดูดสารละลายที่ระดับความเจือจางที่กำหนดใส่ในงานเลี้ยงเชื้อ จากนั้นเทอาหาร Casein medium ตามปริมาตรที่เลือกบนตัวอย่างให้ทั่วรอให้อาหารแข็ง

- นำไปบ่ม (Incubated) ที่ 39°C โดย Casein medium ใช้เวลา 7 วัน

2.7 การตรวจนับจำนวนแบคทีเรีย (Colony forming unit/CFU)

2.7.1 แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสให้นับเฉพาะโคโลนีที่มี Clear zone รอบ ๆ
แบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนให้นับเฉพาะโคโลนีที่มี Clear zone รอบ ๆ

2.7.2 การคำนวณ Colony forming unit (CFU) ต่อของเหลวในกระเพาะรูเมน 1 มิลลิลิตร

$$\text{CFU/ml} = (1 \times \text{จำนวนโคโลนีที่นับได้}) / (\text{ปริมาตรที่ใช้} \times \text{Dilution factor})$$



ภาคผนวก ข
ตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวก 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของวัตถุแห้งใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 4

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	620.43	206.81	4.83
Row	3	279.08	93.03	2.17
Column	3	402.37	134.12	3.13
Error	6	257.16	42.86	
Total	15	1559.04		

ตารางภาคผนวก 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของวัตถุแห้งใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 8

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	203.07	67.69	3.65
Row	3	39.06	13.02	0.70
Column	3	245.68	81.89	4.42
Error	6	111.12	18.52	
Total	15	598.93		

ตารางภาคผนวก 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของวัตถุแห้งใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 12

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	538.27	179.42	12.65
Row	3	185.93	61.98	4.37
Column	3	45.49	15.83	1.12
Error	6	85.1	14.18	
Total	15	856.79		

ตารางภาคผนวก 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของวัตถุแห้งใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 24

Source	df	SS	MS	F
Row	3	29.47	9.82	0.87
Column	3	30.27	10.09	0.90
Treatment	3	38.28	12.76	1.13
Error	6	67.63	11.24	
Total	15	165.65		

ตารางภาคผนวก 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของวัตถุแห้งใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 48

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	18.96	6.65	0.15
Row	3	115.51	38.50	1.04
Column	3	785.57	261.86	7.09
Error	6	221.66	36.94	
Total	15	1139.7		

ตารางภาคผนวก 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของวัตถุแห้งใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 72

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	348.5	116.17	3.67
Row	3	43.95	14.65	0.46
Column	3	400.33	133.44	4.21
Error	6	190.13	31.69	
Total	15	982.91		

ตารางภาคผนวก 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของวัตถุแห้งใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 96

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	349.9	116.63	4.44
Row	3	37.85	12.62	0.48
Column	3	32.23	10.74	0.41
Error	6	157.55	26.26	
Total	15	577.52		

ตารางภาคผนวก 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 4

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	710.33	236.78	12.86
Row	3	32.39	10.79	0.59
Column	3	84.85	28.28	1.54
Error	6	110.50	18.42	
Total	15	938.06		

ตารางภาคผนวก 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 8

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	65.91	21.97	1.09
Row	3	162.91	54.30	2.69
Column	3	342.31	114.10	5.65
Error	6	121.16	20.19	
Total	15	165.65		

ตารางภาคผนวก 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 12

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	810.95	270.32	42.44
Row	3	116.91	39.97	6.12
Column	3	64.77	21.59	3.39
Error	6	38.22	6.37	
Total	15	1030.84		

ตารางภาคผนวก 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 24

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	1009.52	336.51	16.48
Row	3	87.83	29.28	1.43
Column	3	351.63	117.21	5.74
Error	6	122.49	20.42	
Total	15	1571.49		

ตารางภาคผนวก 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 48

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	136.14	45.38	1.44
Row	3	65.30	21.77	0.69
Column	3	542.66	180.89	5.73
Error	6	189.56	31.59	
Total	15	933.66		

ตารางภาคผนวก 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 72

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	391.14	130.38	7.70
Row	3	34.15	11.38	0.67
Column	3	301.32	100.44	5.94
Error	6	101.53	16.92	
Total	15	828.13		

ตารางภาคผนวก 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 96

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	253.85	84.62	5.14
Row	3	15.28	5.09	0.31
Column	3	38.33	12.78	0.78
Error	6	98.77	16.46	
Total	15	406.23		

ตารางภาคผนวก 15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของโปรตีนใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 4

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	164.52	54.84	43.64
Row	3	3.96	1.32	1.05
Column	3	18.72	6.24	4.97
Error	6	7.54	1.26	
Total	15	194.74		

ตารางภาคผนวก 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของโปรตีนใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 8

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	304.49	101.50	39.34
Row	3	14.91	4.97	1.93
Column	3	63.89	21.30	8.25
Error	6	15.48	2.58	
Total	15	398.77		

ตารางภาคผนวก 17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของโปรตีนใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 12

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	103.09	34.36	10.72
Row	3	40.95	13.65	4.26
Column	3	10.60	3.53	1.10
Error	6	19.23	3.21	
Total	15	173.88		

ตารางภาคผนวก 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของโปรตีนใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 24

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	1009.52	336.51	16.48
Row	3	87.83	29.28	1.43
Column	3	351.63	117.21	5.74
Error	6	122.49	20.42	
Total	15	1571.47		

ตารางภาคผนวก 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของโปรตีนใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 48

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	277.81	92.60	4.87
Row	3	3.67	1.22	0.06
Column	3	104.08	34.69	1.83
Error	6	113.98	19.00	
Total	15	499.54		

ตารางภาคผนวก 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของโปรตีนใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 72

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	461.45	153.82	7.31
Row	3	3.98	1.33	0.06
Column	3	120.76	40.25	1.91
Error	6	126.21	21.04	
Total	15	712.40		

ตารางภาคผนวก 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของโปรตีนใน
อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 96

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	449.90	149.97	9.71
Row	3	5.08	1.69	0.11
Column	3	50.12	16.71	1.08
Error	6	92.68	15.45	
Total	15	597.78		

ตารางภาคผนวก 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อไข NDF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 4

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	14.80	4.93	1.88
Row	3	17.46	5.82	2.22
Column	3	13.83	4.61	1.76
Error	6	15.73	2.62	
Total	15	61.82		

ตารางภาคผนวก 23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อไข NDF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 8

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	223.69	74.56	9.18
Row	3	156.56	52.19	6.42
Column	3	147.45	49.15	6.05
Error	6	48.76	8.13	
Total	15	576.46		

ตารางภาคผนวก 24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อไข NDF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 12

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	269.81	89.94	3.02
Row	3	102.79	34.26	1.15
Column	3	144.74	48.25	1.62
Error	6	178.43	29.74	
Total	15	695.77		

ตารางภาคผนวก 25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อใย NDF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 24

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	456.1	152.03	5.51
Row	3	208.55	69.52	2.52
Column	3	728.21	242.74	8.80
Error	6	165.53	27.59	
Total	15	1558.39		

ตารางภาคผนวก 26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อใย NDF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 48

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	25.13	8.38	0.13
Row	3	229.93	76.64	1.18
Column	3	1454.18	484.73	7.49
Error	6	388.35	64.73	
Total	15	2097.58		

ตารางภาคผนวก 27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อใย NDF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 72

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	180.60	60.20	1.68
Row	3	56.34	18.78	0.52
Column	3	556.03	188.68	5.26
Error	6	215.14	35.86	
Total	15	1018.11		

ตารางภาคผนวก 28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อยีส NDF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 96

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	330.38	110.13	3.30
Row	3	46.22	15.14	0.46
Column	3	43.63	14.54	0.44
Error	6	200.26	33.38	
Total	15	620.49		

ตารางภาคผนวก 29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อยีส ADF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 4

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	29.47	9.82	0.87
Row	3	30.27	10.09	0.90
Column	3	38.28	12.76	1.13
Error	6	67.63	11.27	
Total	15	165.65		

ตารางภาคผนวก 30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อยีส ADF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 8

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	710.33	236.78	12.86
Row	3	32.88	10.79	0.59
Column	3	84.85	28.28	1.54
Error	6	110.5	18.42	
Total	15	938.06		

ตารางภาคผนวก 31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อยีส ADF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 12

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	810.95	270.32	42.44
Row	3	116.91	38.97	6.12
Column	3	64.77	21.59	3.39
Error	6	38.22	6.37	
Total	15	10.30		

ตารางภาคผนวก 32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อยีส ADF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 24

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	103.09	34.36	10.72
Row	3	40.95	13.65	4.26
Column	3	10.60	3.53	10.10
Error	6	19.23	3.21	
Total	15	173.88		

ตารางภาคผนวก 33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อยีส ADF
ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 48

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	164.52	54.85	43.64
Row	3	3.96	1.32	1.05
Column	3	18.72	6.24	4.97
Error	6	7.54	1.26	
Total	15	194.74		

ตารางภาคผนวก 34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อยีส ADF ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 72

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	538.27	179.42	12.65
Row	3	185.93	61.98	4.37
Column	3	47.49	15.83	1.12
Error	6	85.10	14.18	
Total	15	856.79		

ตารางภาคผนวก 35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการสลายตัวของเชื้อยีส ADF ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในชั่วโมงที่ 96

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	304.49	101.50	39.34
Row	3	14.61	4.97	1.93
Column	3	63.89	21.30	8.25
Error	6	15.48	2.58	
Total	15	398.77		

ตารางภาคผนวก 36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของวัตถุแห้งที่ละลายได้ทันที (A) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	94.52	31.50	14.74
Row	3	53.21	17.74	8.30
Column	3	7.96	2.65	1.24
Error	6	12.82	2.14	
Total	15	168.52		

ตารางภาคผนวก 37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของวัตถุแห้งที่ไม่ละลายแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	548.98	182.99	20.04
Row	3	39.56	13.19	1.44
Column	3	6.63	2.21	0.24
Error	6	54.78	9.13	
Total	15	649.95		

ตารางภาคผนวก 38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของศักยภาพในการย่อยสลายวัตถุแห้ง (A+B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	542.58	180.86	19.81
Row	3	39.56	13.19	1.44
Column	3	6.63	2.21	0.24
Error	6	54.78	9.13	
Total	15	643.55		

ตารางภาคผนวก 39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอัตราการย่อยสลายวัตถุแห้ง (c) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	0.0029	0.0010	10.36
Row	3	0.0018	0.0006	6.36
Column	3	0.0010	0.0003	3.45
Error	6	0.0006	0.0001	
Total	15	0.0061		

ตารางภาคผนวก 40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการย่อยสลาย
วัตถุแห้งที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	120.59	40.20	4.14
Row	3	27.41	9.14	0.94
Column	3	191.32	63.77	6.57
Error	6	58.24	9.71	
Total	15	397.56		

ตารางภาคผนวก 41 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการย่อยสลาย
วัตถุแห้งที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	98.99	33.00	0.66
Row	3	65.14	21.71	0.43
Column	3	401.79	133.93	2.67
Error	6	300.79	50.13	
Total	15	866.10		

ตารางภาคผนวก 42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอินทรีย์วัตถุที่ละลายได้
ทันที (A) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	3.71	1.24	0.20
Row	3	18.75	6.25	1.00
Column	3	18.76	6.25	1.00
Error	6	37.5	6.25	
Total	15	78.71		

ตารางภาคผนวก 43 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอินทรียวัตถุที่ไม่ละลายแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	175.48	58.49	11.16
Row	3	70.42	23.47	4.48
Column	3	5.96	1.99	0.38
Error	6	31.46	5.24	
Total	15	283.31		

ตารางภาคผนวก 44 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของศักยภาพในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ (A+B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	304.747	101.59	19.38
Row	3	70.42	23.47	4.48
Column	3	5.96	1.99	0.38
Error	6	31.46	5.24	
Total	15	412.60		

ตารางภาคผนวก 45 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุ (c) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	0.057	0.0019	9.50
Row	3	0.0029	0.0010	4.83
Column	3	0.0016	0.0005	2.67
Error	6	0.0012	0.0002	
Total	15	1.0114		

ตารางภาคผนวก 46 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	370.16	123.39	5.60
Row	3	17.55	5.85	0.27
Column	3	198.56	66.19	3.00
Error	6	132.29	22.05	
Total	15	718.55		

ตารางภาคผนวก 47 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	345.29	115.10	23.88
Row	3	30.93	10.31	2.14
Column	3	175.8	58.60	12.16
Error	6	28.92	4.82	
Total	15	580.94		

ตารางภาคผนวก 48 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของโปรตีนที่ละลายได้ทันที (A) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	1329.56	443.19	59091.56
Row	3	0.02	0.01	1.00
Column	3	0.02	0.01	1.00
Error	6	0.05	0.01	
Total	15	1329.64		

ตารางภาคผนวก 49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของโปรตีนที่ไม่ละลายแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	3646.28	1215.43	133.66
Row	3	6.13	2.04	0.22
Column	3	35.80	11.93	1.31
Error	6	54.56	9.09	
Total	15	3742.76		

ตารางภาคผนวก 50 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของศักยภาพในการย่อยสลายโปรตีน (A+B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	1719.42	573.14	63.03
Row	3	6.13	2.04	0.22
Column	3	35.80	11.93	1.31
Error	6	54.56	9.09	
Total	15	1815.91		

ตารางภาคผนวก 51 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอัตราการย่อยสลายโปรตีน (c) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	0.0036	0.0012	5.54
Row	3	0.0017	0.0006	2.62
Column	3	0.0006	0.0002	0.92
Error	6	0.0013	0.0002	
Total	15	0.0072		

ตารางภาคผนวก 52 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการย่อยสลาย
โปรตีนที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	467.72	155.91	21.08
Row	3	1.82	0.61	0.08
Column	3	49.75	16.58	2.24
Error	6	44.38	7.40	
Total	15	563.67		

ตารางภาคผนวก 53 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการย่อยสลาย
โปรตีนที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	240.68	80.23	17.24
Row	3	3.99	1.33	0.29
Column	3	53.77	17.92	3.85
Error	6	27.92	4.65	
Total	15	326.36		

ตารางภาคผนวก 54 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเชื้อไข NDF ที่ละลายได้
ทันที (A) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	538.27	179.42	12.65
Row	3	185.93	61.98	4.37
Column	3	47.49	15.83	1.12
Error	6	85.10	14.18	
Total	15	856.79		

ตารางภาคผนวก 55 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเชื้อใย NDF ที่ไม่ละลายแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	989.13	329.71	100.17
Row	3	6.98	2.33	0.71
Column	3	93.25	31.08	9.44
Error	6	19.75	3.29	
Total	15	1109.12		

ตารางภาคผนวก 56 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของศักยภาพในการย่อยสลายเชื้อใย NDF (A+B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	3175.04	1058.35	318.30
Row	3	6.96	2.32	0.70
Column	3	93.98	31.33	9.42
Error	6	19.95	3.33	
Total	15	3295.93	318.30	

ตารางภาคผนวก 57 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอัตราการย่อยสลายเชื้อใย NDF (c) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	0.0013	0.0004	3.25
Row	3	0.0047	0.0016	11.75
Column	3	0.0005	0.0002	1.25
Error	6	0.0008	0.0001	
Total	15	0.0074		

ตารางภาคผนวก 58 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการย่อยสลาย
เชื้อใย NDF ที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	665.79	221.93	8.23
Row	3	72.41	24.14	0.89
Column	3	114.81	38.27	1.42
Error	6	161.84	26.97	
Total	15	1014.85		

ตารางภาคผนวก 59 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการย่อยสลาย
เชื้อใย NDF ที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	498.73	166.24	16.44
Row	3	11.74	3.91	0.39
Column	3	97.61	32.54	3.22
Error	6	60.66	10.11	
Total	15	668.73		

ตารางภาคผนวก 60 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเชื้อใย ADF ที่ละลายได้
ทันที (A) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	682.29	227.43	45.17
Row	3	9.26	3.09	0.61
Column	3	77.90	25.97	5.16
Error	6	30.21	5.04	
Total	15	799.66		

ตารางภาคผนวก 61 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเชื้อย ADF ที่ไม่ละลายแต่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	204.49	68.16	26.02
Row	3	6.59	2.20	0.84
Column	3	48.23	16.08	6.14
Error	6	15.72	2.62	
Total	15	275.03		

ตารางภาคผนวก 62 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของศักยภาพในการย่อยสลายเชื้อย ADF (A+B) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	85.16	28.39	3.38
Row	3	39.58	13.19	1.57
Column	3	140.32	46.77	5.57
Error	6	50.39	8.40	
Total	15	315.45		

ตารางภาคผนวก 63 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอัตราการย่อยสลายเชื้อย ADF (c) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	0.0057	0.0019	9.50
Row	3	0.0029	0.0010	4.83
Column	3	0.0016	0.0005	2.67
Error	6	0.0012	0.0002	
Total	15	1.0114		

ตารางภาคผนวก 64 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการย่อยสลาย
เชื้อใย ADF ที่อัตรา 0.02 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.02}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	419.16	139.72	24.69
Row	3	41.21	13.74	2.43
Column	3	179.69	59.90	10.59
Error	6	33.95	5.66	
Total	15	674.01		

ตารางภาคผนวก 65 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของประสิทธิภาพการย่อยสลาย
เชื้อใย ADF ที่อัตรา 0.05 ส่วนต่อชั่วโมง ($ED_{0.05}$) ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	403.30	134.43	29.84
Row	3	201.81	67.27	14.93
Column	3	68.25	22.76	5.05
Error	6	27.06	4.51	
Total	15	700.40		



ภาคผนวก ค
ภาพภาคผนวก



ภาพภาคผนวกที่ 1 ขั้นตอนการทำพืชมัก : ขั้นตอนที่ 1 สับกระถิน



ภาพภาคผนวกที่ 2 ขั้นตอนการทำพืชมัก : ขั้นตอนที่ 2 ชั่งน้ำหนักของเศษข้าวโพดหวานและ
กระถินสับ



ภาพภาคผนวกที่ 3 ขั้นตอนการทำพืชมัก : ขั้นตอนที่ 3 คลุกเคล้าให้เข้ากัน



ภาพภาคผนวกที่ 4 ขั้นตอนการทำพืชมัก : ขั้นตอนที่ 4 บรรจุลงในถุง



ภาพภาคผนวกที่ 5 โปรโตซัวที่กำลังขยาย 10X



ภาพภาคผนวกที่ 6 โปรโตซัวที่กำลังขยาย 40X



ภาคผนวก ง
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายมนตรี จำปาดี
วัน/เดือน/ปีเกิด	1 พฤษภาคม 2525
ภูมิลำเนา	กาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2546 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ส่วศาสตร์) วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี พ.ศ. 2548 วิทยาศาสตรบัณฑิต (ส่วศาสตร์) คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
ผลงานวิจัย	1. มนตรี จำปาดี วารุณี ศรีนุช สมปอง สรวมศิริ และไพโรจน์ ศิลม้น. 2550. การย่อยได้ของเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักร่วมกับไบโกระดินในระดับต่างๆ โดยวิธี Total Collection. น. 121-126. ใน รายงานประชุมเชิงวิชาการ การนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 1, 26 ตุลาคม 2550. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 2. วารุณี ศรีนุช มนตรี จำปาดี สมปอง สรวมศิริ และไพโรจน์ ศิลม้น. 2550. การสลายตัวของโกษนะในเปลือกส้มหมักโดยใช้ชุดหมักกระเพาะเทียม. น. 143-149. ใน รายงานประชุมเชิงวิชาการ การนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 1, 26 ตุลาคม 2550. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 3. วารุณี ศรีนุช มนตรี จำปาดี สมปอง สรวมศิริ และไพโรจน์ ศิลม้น. 2551. ผลของระดับไบโกระดินที่หมักร่วมกับเปลือกและซังข้าวโพดหวานต่อผลผลิตของการหมักในกระเพาะรูเมนของโคนม. น. 76. ใน บทคัดย่อการประชุมทางวิชาการ (ร่วมฉลองแม่โจ้ครบรอบ 75 ปี), 4 - 5 ธันวาคม 2551. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยแม่โจ้