บทนำ

ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อาหารหยาบเป็นอาหารหลักของสัตว์กระเพาะรวม ซึ่งเกษตรกรมักใช้หลาย ๆ ชนิดในการเลี้ยงสัตว์เหล่านี้ เช่น พืชตระกูลหญ้า พืชตระกูลถั่ว อาหารหยาบเหล่านี้มีจำนวนมากในฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนมักมีไม่เพียงพอ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวเกษตรกรส่วนใหญ่จึงหันมาใช้ผลพลอยได้และเศษเหลือจากทางการเกษตร เช่น ต้นและเปลือกข้าวโพดฝักอ่อน ต้นและเปลือกข้าวโพดหวาน ฟางข้าว และฟางถั่วเหลืองเป็นแหล่งอาหารหยาบทดแทน ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยมีปริมาณฟางข้าวในแต่ละปีไม่ต่ำกว่า 36-40 ล้านตัน และเกษตรกรทั่วไปใช้ฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโค-กระบือในช่วงขาดแคลนเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามคุณค่าทางโภชนะและการย่อยได้ของฟางข้าวค่อนข้างต่ำ ในขณะที่พันธุ์สัตว์กระเพาะรวมได้รับการพัฒนาให้เติบโตและให้ผลผลิตมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงอาหารสัตว์ให้มีคุณภาพมากขึ้นตามไปด้วย ปัจจุบันมีนักวิชาการหลายท่านได้มีการปรับปรุงฟางข้าวให้มีคุณค่าทางโภชนะสูงขึ้นด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ เช่น ทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ เพื่อนำไปเลี้ยงสัตว์กระเพาะรวมให้มีผลผลิตที่ดี และลดต้นทุนการผลิต แต่ส่วนใหญ่นิยมปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยวิธีทางเคมี โดยเฉพาะการปรุงแต่งด้วยยูเรียซึ่งทำให้มีโปรตีน และการย่อยได้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีนี้ทำให้ฟางข้าวมีความน่ากินต่ำเนื่องจากมีกลิ่นฉุนของแก๊สแอมโมเนีย ดังนั้นจึงเห็นควรศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวด้วยวิธีทางเคมีและชีวภาพแบบอื่น ๆ ในการเพิ่มคุณภาพ และความน่ากินของฟางข้าวให้มากขึ้นและสามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในทางปฏิบัติระดับฟาร์ม

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ฟางข้าวมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้าง (Structural carbohydrate) ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยจุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยนอกตัวเซลล์ให้ได้สารประกอบน้ำหนักโมเลกุลต่ำก่อนแล้วจึงถูกดูดซึมเข้าไปย่อยสลายในเซลล์ต่อไป ให้ผลิตผลที่สำคัญ คือ กรดไขมันที่ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) ซึ่งกรดไขมันที่ระเหยง่ายนี้จะถูกดูดซึมผ่านกระเพาะรูเมน เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับตัวสัตว์ อย่างไรก็ตามในฟางข้าวยังประกอบด้วยสารอื่นที่สำคัญ ได้แก่ ลิกนิน และซิลิกา ซึ่งเป็นส่วนของผนังเซลล์ที่ย่อยไม่ได้ อันเป็นตัวจำกัดการย่อยได้ของฟางข้าว และยังถือได้ว่าฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำที่ขาดโปรตีน พลังงาน แร่ธาตุ และวิตะมิน ซึ่งมีผลทำให้การหมักย่อยสลายเซลลูโลสโดยจุลินทรีย์ช้าลง จึงส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์กระเพาะรวม ดังนั้นจึงมีวิธีการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวหลายวิธีในอันที่จะปรับปรุงการย่อยได้ โปรตีน รวมทั้งความน่ากินให้สูงขึ้น ได้แก่ วิธีทางกล เคมี และทางชีวภาพ ปัจจุบันที่ถือว่าเป็นวิธีทางเคมีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าว คือ การปรุงแต่งด้วยยูเรีย โดยยูเรียจะไปมีผลทำให้การย่อยได้ของฟางข้าว

เพิ่มขึ้น เนื่องจากแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของยูเรีย เมื่อละลายน้ำแล้วมีฤทธิ์เป็นด่าง ช่วยย่อยสลายบางส่วนของเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และซิลิกา ทำให้การจับตัวของโครงสร้างในผนังเซลล์พืชอยู่ในสภาพเหลวมากขึ้น เป็นเหตุให้เอนไซม์จากจุลินทรีย์และตัวสัตว์เข้าย่อยโภชนะที่อยู่ภายในเซลล์ได้สะดวกขึ้น อย่างไรก็ตามการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวด้วยการปรุงแต่งด้วยยูเรีย แม้จะทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้นแต่ก็พบว่าเพิ่มขึ้นไม่มาก ประกอบกับมีความน่ากินต่ำอันเกิดจากสาเหตุของแก๊สแอมโมเนีย ในขณะที่วิธีทางชีวภาพซึ่งเป็นแนวทางที่นอกเหนือจากการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะแล้ว ยังจะช่วยเพิ่มความน่ากินโดยการใช้เชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกและแบคทีเรียย่อยสลาย ซึ่งจะช่วยสร้างกรดแลคติกในฟางปรุงแต่ง และทำให้มีความน่ากินมากขึ้น ยังมีรายงานวิจัยน้อยมาก และยังไม่สามารถเป็นวิธีการที่จะนำไปปฏิบัติได้จริงในระดับฟาร์ม ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงดำเนินการตั้งแต่การศึกษาประสิทธิภาพของการหมัก ประเมินคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวที่ผ่านการปรับคุณภาพด้วยวิธีทางเคมีและชีวภาพ และสมรรถภาพการผลิตของโคขุนที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวที่ผ่านการปรับคุณภาพเป็นแหล่งเยื่อใยในสูตรอาหารผสมเสร็จเพื่อต้องการ เปรียบเทียบคุณภาพของฟางข้าวทั้งในแง่คุณค่าทางโภชนะ ความน่ากิน สมรรถภาพการผลิตของโคขุน รวมทั้งต้นทุนในการผลิต โดยจะทำให้วิธีการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวด้วยวิธีที่ศึกษานี้เป็นข้อมูลเพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรหรือผู้สนใจทั่วไปรวบรวมฟางข้าวซึ่งมีกระจัดกระจายทั่วไปเป็นจำนวนมากมาทำการปรุงแต่ง และจำหน่ายเพื่อการค้าให้กับผู้เลี้ยงโคทั่วไปได้อย่างเป็นรูปธรรม

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณภาพของฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีเคมีและชีวภาพ
2. เพื่อศึกษาสมรรถภาพการผลิตของโคขุนที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพเป็นแหล่งเยื่อใยในสูตรอาหาร

ขอบเขตของโครงการวิจัย

การศึกษามี 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวที่ผ่านการปรับคุณภาพด้วยวิธีเคมีและชีวภาพ โดยใช้ยูเรีย กากน้ำตาล และหัวเชื้อจุลินทรีย์ในสัดส่วนต่างๆ เป็นสารเติมแต่ง ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษาถึงสมรรถภาพการผลิตของโคเพศผู้ขุนที่ใช้ฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการต่างๆ เป็นอาหารหยาบเปรียบเทียบกับข้าวโพดหวาน ซึ่งเป็นแหล่งอาหารหยาบที่นิยมใช้ทั่วไป

สถานที่ทำการทดลอง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

ระยะเวลาทำการวิจัย

ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2551 สิ้นสุดโครงการวิจัยเดือนกันยายน 2552 รวมระยะเวลาการทดลอง 1 ปี

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกมากทั่วทุกภาคของประเทศไทย มีเนื้อที่เพาะปลูกที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ในปี 2544 - 2545 ประมาณ 61,006,316 ไร่ และได้ผลผลิต 25,607,931 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2545) โดยทั่วไปสัดส่วนของผลผลิตเมล็ดข้าวต่อฟางข้าวประมาณ 1:1 ดังนั้นจึงประมาณได้ว่าในปีเพาะปลูก 2544-2545 จะทำให้มีฟางข้าวมากถึง 25.6 ล้านตัน แหล่งที่มาของฟางข้าวหากเก็บเกี่ยวด้วยแรงคน ฟางข้าวจะกองอยู่บริเวณลานตากข้าวตามหมู่บ้าน หรือกองสุมกันบริเวณบ้านหรือนา แต่ถ้าเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร ฟางข้าวจะถูกทิ้งไว้ในนาข้าว แต่ปัจจุบันมีการอัดฟางข้าวเป็นฟ่อนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ฟางข้าวมีคุณค่าทางโภชนะ (ตารางที่ 1) และความน่ากินต่ำ จึงไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ในทางอาหารสัตว์เท่าที่ควร และยังมีการเผาทิ้งอีกเป็นจำนวนมาก แต่ถ้าหากเราสามารถปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวให้สูงขึ้น ก็น่าที่จะทำให้สามารถเอาฟางข้าวที่มีอยู่เป็นจำนวนมากมายมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่

คุณค่าทางโภชนะของฟางข้าว เนื่องจากคุณภาพของฟางข้าวขึ้นอยู่กับ พันธุ์ข้าว การเพาะปลูก ฤดูกาล การสุกแก่ของฟางข้าว ความสูงของต้นข้าวเมื่อเก็บเกี่ยว สัดส่วนของใบกับลำต้น การรวบรวมและเก็บรักษา การจัดการดูแล ตลอดจนความอุดมสมบูรณ์ของดินและน้ำ เป็นต้น จึงทำให้มีผู้รายงานคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวแตกต่างกันไป (ตารางที่1) อย่างไรก็ตาม พบว่า โดยทั่วไปคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวในประเทศไทยมีโปรตีนประมาณ 3 – 5 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนผสมของผนังเซลล์ประมาณ 79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส 33 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 26 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 7 เปอร์เซ็นต์ และซิลิกา 13 เปอร์เซ็นต์ โดยลิกนินและซิลิกาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำให้การย่อยได้ของฟางข้าวลดลง นอกจากนี้ ฟางข้าวยังมีคิวติน และออกซาเลท ประกอบอยู่ในปริมาณมากกว่าฟางชนิดอื่น ๆ (เมธา, 2533) ดังแสดงในตารางที่ 2

จากส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่เซลลูโลสจับตัวกับลิกนินในรูปของลิกโนเซลลูโลส รวมทั้งการที่ภายในผนังเซลล์ยังมีซิลิกาประกอบอยู่ สารดังกล่าวจะมีผลเสียต่อการย่อยได้ของฟางข้าว อาจเกิดจาก Phenolic acid ที่มีอยู่ในลิกนิน จะยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์จากจุลินทรีย์ที่จะทำปฏิกิริยาการย่อยได้ของเยื่อใย (เสาวลักษณ์, 2542)

Doyle *et al*., (1986) กล่าวว่า การย่อยได้ของฟางข้าวในห้องปฏิบัติการมีค่าประมาณ 35-50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ สมคิด และคณะ (2527) รายงานว่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในห้องปฏิบัติการ มีค่าเท่ากับ 50.5 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาโดยอนุรัตน์ (2528) พบว่าโภชนะที่ย่อยได้ของฟางข้าวมีค่าค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 3) นอกจากนี้ฟางข้าวยังประกอบไปด้วยแร่ธาตุที่จำเป็นในระดับต่ำ มีธาตุแคลเซียมอยู่ประมาณ 0.25-0.55 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในรูปที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้น้อย ส่วนธาตุฟอสฟอรัสมีในระดับค่อนข้างต่ำมาก คือ ประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เพียงพอที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) และค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุแห้งในห้องปฏิบัติการ (IVOMD, %) ของฟางข้าว

ส่วนประกอบทางเคมี	ที่มา				
	สมคิดและคณะ (2527)	Roxas, *et al.* (1984)	Roxas, *et al.* (1985)	Sannasgagla, *et al.* (1985)	Cheva-Isarakul, *et al.*(1985)
โปรตีน	3.1	4.8-8.7	3.7-9.5	3.7-4.2	2.2-5.8
ไขมัน	2.2	-	-	-	-
เยื่อใย	42.3	28.0-33.0	-	-	-
แป้งและน้ำตาล	35.9	-	-	-	-
เถ้า	16.4	21.0-28.0	16.0-23.0	-	15.0-24.0
NDF	-	54.0-71.0	61.0-70.0	69.8-72-5	68.0-79.0
ADF	-	41.0-61.0	-	47.9-50.2	49.0-57.0
เฮมิเซลลูโลส	-	1.0-9.0	-	-	-
เซลลูโลส	-	14.0-35.0	24.0-38.0	-	-
ลิกนิน	-	5.0-12.0	4.0-8.0	6.8-8.1	3.7-5.9
ซิลิกา	-	14.0-23.0	14.0-19.0	7.8-8.3	-
IVOMD	50.5	30.0-46.0	36.0-55.0	36.7-39.3	37.0-54.0

ที่มา: ถนัด (2531)

ตารางที่ 2 ปริมาณเยื่อใยส่วนต่าง ๆ ของฟางข้าวต่างชนิดกัน (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)

ชนิด	ส่วนที่อยู่ภายในเซลล์	ผนังเซลล์	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	ซิลิกา
ฟางข้าว	21	79	33	26	7	13
ฟางข้าวบาร์เลย์	19	81	44	27	7	3
ฟางข้าวสาลี	20	80	39	36	10	6
ฟางข้าวโอ๊ต	27	73	41	16	11	3
ตอซังข้าวฟ่าง	26	74	31	30	11	3
ชานอ้อย	18	82	40	29	13	2

ที่มา : เมธา (2533)

ตารางที่ 3 โภชนะที่ย่อยได้ของฟางข้าว

การย่อยได้	% ของวัตถุแห้ง
ส่วนประกอบและโภชนะที่ย่อยได้	
วัตถุแห้งรวม	92.5
โปรตีนย่อยได้	0.60
โภชนะที่ย่อยได้รวม	41.50
สัดส่วนโภชนะ	68.20
สัมประสิทธิ์การย่อยได้	
โปรตีน	16.00
ไขมัน	40.00
เยื่อใย	62.00
ไนโตรเจนฟรีเอกซ์เทรก	48.00

ที่มา: อนุรัตน์ (2528)

การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าว

การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวสามารถทำได้หลายวิธี แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. วิธีกลหรือวิธีทางกายภาพ ได้แก่ การสับ การบด การอัดเม็ด และการแช่น้ำ เป็นต้น การสับหรือการบดฟางไม่ควรให้ชิ้นเล็กจนเกินไป เนื่องจากจะทำให้การย่อยได้ลดลง การบดและการอัดเม็ดอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำ จะทำให้การกินได้และน้ำหนักของสัตว์เพิ่มขึ้น แต่ไม่ทำให้การย่อยได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสับ การบด และการอัดเม็ด เป็นวิธีการลดขนาดของฟางข้าว เมื่อสัตว์กินเข้าไปแล้ว อาหารจะผ่านทางเดินอาหารในอัตราที่เร็วขึ้น ทำให้จุลินทรีย์และน้ำย่อยจากตัวสัตว์เข้าทำปฏิกิริยากับอาหารได้น้อยลง สำหรับการแช่น้ำแม้จะช่วยกำจัดสารออกซาเลทออกไปได้ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็ทำให้โภชนะตัวอื่นๆ สูญเสียไปด้วย แต่ก็มีข้อดีที่ทำให้ฟางมีความชื้นและอ่อนนุ่มทำให้สัตว์กินฟางได้มากกว่าฟางแห้ง

นอกจากนี้การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวทางกายภาพหรือวิธีกล อาจทำได้โดยการอบไอน้ำหรืออบภายใต้ความดัน จะช่วยให้การย่อยได้ดีขึ้นเพราะไปมีผลทำให้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสแตกตัวออก นอกจากนี้ยังมีวิธีฉายรังสีแกมมา ซึ่งสามารถเพิ่มการย่อยได้ของพืชอาหารสัตว์โดยเฉพาะโภชนะของคาร์โบไฮเดรท แต่ไม่มีผลต่อปริมาณการกิน อย่างไรก็ตามการปรับปรุงคุณค่าทางอาหารโดยวิธีทางกายภาพยกเว้นการสับ ใช้ต้นทุนการผลิตสูง ใช้อุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน และไม่เหมาะจะนำไปปฏิบัติในระดับฟาร์ม

ตารางที่ 4 กรรมวิธีต่าง ๆ ในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าว

กรรมวิธีในการปรับปรุงคุณค่าโภชนะของฟาง			
จุ่ม / แช่	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สับ/บด / สารเคมี	-การเติมน้ำย่อย
การบด	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	อัดเม็ด / โซเดียมไฮดรอกไซด์	การใช้เชื้อรา
การอัดเม็ด	โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์	อัดเม็ด / ยูเรีย	พวกไวท์รอท
การต้ม	แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	- นึ่ง / สารเคมี	การใช้เชื้อเห็ด
การนึ่งภายใต้ความดัน	แอมโมเนียแห้ง	อุณหภูมิสูง / โซเดียมไฮดรอกไซด์	
การใช้รังสีแกมม่า	แอมโมเนียเหลว		
	โซเดียมคาร์บอเนท		
	โซเดียมคลอไรด์		
	ก๊าซคลอรีน		
	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์		

ที่มา: เมธา (2528)

2. วิธีการทางเคมี มีการใช้สารเคมีต่าง ๆ ทั้งในรูปของแข็ง ของเหลว และแก๊ส มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าว สารเคมีที่ใช้แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

2.1 กรด โดยกรดจะไปไฮโดรไลท์เฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ ทำให้ได้น้ำตาลหลายชนิดออกมา มีบ้างที่ทำให้พันธะระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรทแยกออก สารเคมีที่ศึกษากันได้แก่ กรดซัลฟุริก และกรดเกลือ เป็นต้น

2.2 ด่าง ด่างที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนีย หรือยูเรีย เป็นต้น สำหรับเกษตรกรในประเทศไทยนิยมใช้ยูเรีย 5 กิโลกรัมละลายในน้ำ 100 ลิตรราดลงในฟางข้าว 100 กิโลกรัม แล้วหมักทิ้งไว้ประมาณ 3 สัปดาห์ก่อนนำไปเลี้ยงสัตว์ เมธา (2533) รายงานว่า การใช้สารประกอบพวกไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ หรือยูเรีย มีข้อดี คือ สารประกอบพวกนี้จะเป็นแหล่งที่ให้ไนโตรเจน (non protein nitrogen, NPN) อีกทั้งการหมักฟางด้วยยูเรียยังช่วยเพิ่มการย่อยได้อีกด้วย ถนัด (2531) รายงานว่า การหมักฟางด้วยยูเรียจะทำให้เกิดการสลายตัวได้แก๊สแอมโมเนียซึ่งทำปฏิกิริยาต่อน้ำได้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่าง และเข้าไปทำลายพันธะของลิกนินที่จับกับเซลลูโลส หรือเฮมิเซลลูโลสทำให้เอ็นไซม์จากจุลินทรีย์สามารถเข้าไปย่อยโภชนะภายในเซลล์ได้ง่ายขึ้น

การปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวในบางท้องที่ของประเทศไทยอาจใช้สารละลายยูเรียถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ดังรายงานของสมคิด และคณะ (2525) ที่ปรุงแต่งฟางข้าวด้วยยูเรีย 6 เปอร์เซ็นต์ และผสมกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงโครุ่นพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ ฟรีเชียน สายเลือด 50-75 เปอร์เซ็นต์ พบว่าโคมีอัตราการเจริญเติบโตวันละ 431 กรัม ซึ่งเทียบเท่ากับการเลี้ยงด้วยหญ้าแห้งและหญ้าสด โดยใช้อาหารข้นที่มีโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์ เสริมวันละ 1.5 กิโลกรัม และดีกว่าการเลี้ยงด้วยฟางข้าวและหญ้าหมักซึ่งเสริมด้วยอาหารข้นเช่นเดียวกัน ($P<0.05$) ส่วนปริมาณอาหารที่โคกินต่อวันคิดเป็นน้ำหนักแห้งเท่ากับ 4.91 กิโลกรัม (2.53 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักตัว) ซึ่งมากกว่าการเลี้ยงด้วยหญ้าสด หญ้าแห้ง และหญ้าหมัก ($P<0.05$) สำหรับประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเท่ากับ 11.16 ซึ่งดีเทียบเท่าเลี้ยงด้วยหญ้าแห้ง หญ้าสด และหญ้าหมัก แต่ดีกว่าฟาง ($P<0.05$) สำหรับฟางที่ปรุงแต่งโดยวิธีดังกล่าวมีการย่อยได้ 53 เปอร์เซ็นต์ และมีโปรตีนที่ย่อยได้ 2.69 เปอร์เซ็นต์ (ที่วัตถุแห้ง 57 เปอร์เซ็นต์)

เมธา (2533) กล่าวถึง ผลดีของการทำฟางปรุงแต่งด้วยยูเรียหรือฟางหมักยูเรียไว้ดังนี้

1. เพิ่มโปรตีนหยาบของฟางจาก 3 – 4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 7 – 9 เปอร์เซ็นต์ ของสิ่งแห้ง
2. เพิ่มการย่อยได้ของสิ่งแห้งของจากฟาง 46 เปอร์เซ็นต์ เป็น 50 – 55 เปอร์เซ็นต์
3. ทำให้สัตว์กินฟางได้เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 30 – 40 เปอร์เซ็นต์
4. เป็นการเพิ่มพลังงานสุทธิที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้
5. การใช้ร่วมกับอาหารข้นอื่น ๆ จะทำให้อัตราการเจริญเติบโต การให้นมสูงขึ้น

สำหรับลักษณะที่ดีของฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย มีดังนี้

1. มีสีน้ำตาลเข้มกว่าปกติ
2. มีกลิ่นแอมโมเนีย
3. มีความชื้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์
4. มีลักษณะอ่อนนุ่ม และไม่มีเชื้อรา

สำหรับสารเคมีชนิดอื่นๆ ที่กล่าวมามีรายงานการใช้น้อยมาก อาจเป็นเพราะมีราคาสูง และเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ เช่น การใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ Rounds *et al*. (1976) ได้สรุปผลของการใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์แช่ซังข้าวโพด พบว่า แม้ทำให้การย่อยได้ดีพอๆ กับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่โอกาสที่จะนำเอามาใช้ในฟาร์มโดยเกษตรกรจริง ๆ คงเป็นไปได้ยากเพราะราคาค่อนข้างสูง Goering *et al*. (1973) รายงานถึงการใช้สารประกอบคลอรีนต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของอาหารหยาบ พบว่า แม้การใช้โซเดียมคลอไรด์ทำให้การย่อยได้ของอาหารหยาบเพิ่มขึ้น แต่การใช้สารประกอบคลอรีนค่อนข้างจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้

3. การใช้วิธีกลร่วมกับวิธีเคมี เนื่องจากการหั่นและการบด จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น ย่อมมีผลทำให้สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยาได้ทั่วถึงขึ้น ส่งผลให้การย่อยได้ดีขึ้น เช่น การใช้ยูเรียร่วมกับการอัดเม็ดของฟาง จะช่วยให้การย่อยได้ดีขึ้น เพราะความร้อนในระหว่างการอัดจะช่วยให้ยูเรียสลายตัวเป็นแอมโมเนีย เข้าทำปฏิกิริยากับฟางดีขึ้น

4. วิธีทางชีวภาพ เป็นวิธีที่ปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยใช้สารชีวภาพต่างๆ เช่น เชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดโทษ และเอนไซม์ย่อยสลายต่าง ๆ ถนัด (2531) กล่าวว่า การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยวิธีทางชีวภาพ ได้แก่ การนำเชื้อรา เช่น เชื้อเห็ดฟาง มาเลี้ยงให้เจริญเติบโตบนฟางข้าวในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้เกิดการย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสหรือลิกนิน ก่อนนำไปเลี้ยงสัตว์ มีผลทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น แต่ทำให้อินทรีย์วัตถุของฟางข้าวลดลง และบางครั้งสัตว์จะไม่ยอมกินอาหาร และต้องระมัดระวังถึงการผลิตสารพิษของเชื้อรา จึงทำให้ไม่เป็นที่นิยมในการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าว

นอกจากนี้การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวทางชีวภาพอาจใช้เอนไซม์สังเคราะห์ เช่น เซลลูเลส เฮมิเซลลูเลส เพ็คติเนส และเบต้ากลูคาซิเดส เป็นต้น ดังงานทดลองของ Willes *et al*. (1980) ที่ศึกษาถึงการย่อยได้ของวัตถุแห้งทั้งในห้องปฏิบัติการและในตัวสัตว์ เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของความเข้มข้นของโซดาไฟ และระยะเวลาที่ใช้ร่วมกับเอนไซด์เฮมิเซลลูเลส เพ็คติเนส และเบต้ากลูคาซิเดส เพื่อที่จะปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของฟางบด ซึ่งหมักเป็นเวลา 30 วัน พบว่าการย่อยได้ ของฟางข้าวที่แช่ด้วยโซดาไฟ 5 เปอร์เซ็นต์ และใส่เอนไซม์หลังจากแช่โซดาไฟในระดับ 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลใกล้เคียงกัน ส่วน 1 เปอร์เซ็นต์โซดาไฟให้ผลด้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็ดีกว่าไม่แช่โซดาไฟ การเพิ่มเอนไซม์เพียงอย่างเดียวมีผลให้การย่อยได้ลดลง และไม่มีความแตกต่างกันระหว่างเอนไซม์ที่ใช้

อย่างไรก็ตาม พบว่า รายงานการทดลองด้านการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวด้วยวิธีทางชีวภาพมีค่อนข้างน้อย จึงจำเป็นต้องศึกษาเทียบเคียงกับการผลิตไซเลจหรือพืชอาหารหมัก ด้วยวิธีชีวภาพ และได้รับการยอมรับว่าเมื่อใส่เชื้อแบคทีเรียปรับปรุงคุณภาพของไซเลจ พบว่า มีแนวโน้มช่วยปรับปรุงคุณภาพของหญ้าหมักโดยทำให้ความเป็นกรดด่าง และแอมโมเนียไนโตรเจนลดลง และจะทำให้โคกินอาหารหมักในสภาพแห้งได้มากขึ้น (Yan *et al*.,1996)

McAllister *et al*. (1995) ศึกษาคุณภาพของพืชอาหารหมักจากบาร์เลย์โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์เชิงการค้า SILA–BAC ® (1174) และ X 2637 เปรียบเทียบกับพืชหมักที่ไม่มีหัวเชื้อ พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง กรดบิวทีริก และกรดแลคติก ไม่แตกต่างกัน แต่มีผลทำให้การเจริญเติบโตของแกะทดลองดีขึ้นในกลุ่มที่ได้รับพืชอาหารหมักที่เสริมหัวเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเกิดจากการกินได้ในรูปวัตถุแห้งของพืชอาหารที่หมักด้วยหัวเชื้อค่อนข้างมากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปการกินได้ของพืชอาหารหมักจะมีค่าต่ำกว่าหญ้าสด 4-50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความเป็นกรด-ด่าง ความชื้น สารจำพวกเอมีน และแอมโมเนีย (Erdman,1987)

Woolford (1984) รายงานว่า การผลิตไซเลจที่มีคุณภาพดีควรเติมแบคทีเรียกรดแลคติก $10^6 - 10^7$ CFU/กรัมของพืช และนอกจากนี้การใช้หัวเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกผสม จะช่วยเพิ่มปริมาณกรดแลคติก ทำให้ไซเลจมีความน่ากิน ขณะที่การเติมหัวเชื้อหนึ่งสายพันธ์ ไม่สามารถทำให้ไซเลจมีคุณภาพดีขึ้น

Chen *et al*. (1994) รายงานว่าการใช้เอนไซม์ Alfazyme ร่วมกับ *Lactobacillus plantarum* และ *Pediococcus acidilactici* ใน hay crop ซึ่งประกอบด้วย Timothy(*Phleum pratense* L.), Alfalfa (*Medicago sativa* L.), Ladino clover (*Trifolium repen* L.) และ Arlington red clover (*Trifolium pratense* L.) พบว่า ไซเลจที่ได้มีความเป็นกรด-ด่าง 4.03 มีปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นประมาณ 19.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดอะซิติกลดลงประมาณ 36.0 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนระหว่างกรดแลคติกต่อกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นประมาณ 42.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับไซเลจที่ไม่เติมเอนไซม์และหัวเชื้อ แสดงว่า เอนไซม์ย่อยสลายสามารถทำลายองค์ประกอบของ hay crop ให้เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำ เพื่อเป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียกรดแลคติก นอกจากนี้ ไซเลจยังมีปริมาณโปรตีนสูงกว่ากลุมควบคุมและพืชอาหารสด รวมทั้งมีค่าบัฟเฟอร์ริ่งคาพาซิตี้สูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไซเลจนั้นสามารถรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างให้มีการเปลี่ยนแปลงให้น้อยที่สุด ทำให้สามารถเก็บรักษาไซเลจได้เป็นเวลานาน

กรณีการใช้เอนไซม์ย่อยสลายในไซเลจ พบว่า เอ็นไซม์ที่ใช้อยู่ในกลุ่มย่อยสลายเซลลูโลส (Cellulolytic enzyme) กลุ่มย่อยสลายเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulolytic enzyme) และกลุ่มย่อยสลาย อะไมโลส (Amylolytic enzym) จะไปทำลายองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชพวกลิกโนเซลลูโลสและเม็ดแป้งในเซลล์พืช ปลดปล่อยน้ำตาลออกมา เพื่อเป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์พวกแบคทีเรีย กรดแลคติกในช่วงต้นของการหมักส่งผลให้ระดับความเป็นกรดด่างของไซเลจลดลง อย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นยังพบว่า การเติมเอ็นไซม์ยังช่วยเพิ่มค่าการย่อยได้ของไซเลจในระบบทางเดินอาหารสัตว์อีกด้วย (Mc Donald *et al*., 1991)

สำหรับเอนไซม์เซลลูเลสเป็นกลุ่มเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลกลูโคส โดยเอนไซม์เซลลูเลสมักจะพบในเชื้อราจำพวก White rod fungi หรือในแบคทีเรีย Bacillus sp. และ Pseudomonase sp. เป็นต้น (Malburg *et al*.,1992) และ Smith *et al*.,(1973) รายงานว่าเอ็นไซม์เซลลูเลสจากจุลินทรีย์โดยทั่วไปสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 37-50 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5-8

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้มี 2 การทดลอง คือ ศึกษาประสิทธิภาพของการหมักและคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีทางเคมีและชีวภาพ และศึกษาสมรรถภาพการผลิตของโคขุนที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพเป็นแหล่งเยื่อใยในสูตรอาหาร

การทดลองที่ 1

ศึกษาประสิทธิภาพของการหมักและคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีทางเคมีและชีวภาพ

อุปกรณ์

การทดลองครั้งนี้ใช้ เครื่องมือ อุปกรณ์ รวมทั้งสารเคมี ดังนี้

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าว ได้แก่ ฟางข้าวในเขตพื้นที่จังหวัดปทุมธานี กากน้ำตาล หัวเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรีย (Lactic acid bacteria, LAB) หัวเชื้อบาซิลลัส (Bacillus spp.) พลาสติกชนิดกันอากาศ ภาชนะพลาสติกสำหรับบรรจุฟางปรุงแต่ง

2. อุปกรณ์ในการวัดค่าพีเอช (ความเป็นกรดด่าง) ได้แก่ เครื่องพีเอชมิเตอร์พร้อมบัฟเฟอร์ บิกเกอร์ กระดาษกรอง กระบอกตวง ขวดรูปชมพู่ กรวยกรอง และตู้เย็น

3.อุปกรณ์ในการวัดค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ได้แก่ เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectophotometer) พร้อม Simple Cell ใช้บรรจุตัวอย่างสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง ปิเปตพร้อม Tip Micropipette ใช้สำหรับดูดตัวอย่างสารละลาย แก้วพลาสติก กระบอกตวง ขวดรูปชมพู่ กรวยกรอง กระดาษกรอง ตู้เย็น ขวดพลาสติกเก็บตัวอย่าง เครื่อง Votex ไมโครไปเปต หลอดทดลองขนาดเล็ก หม้อต้มน้ำ เตาแก๊ส กระติกน้ำพร้อมน้ำแข็ง สาร DNS เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ สาร D-Glucose และน้ำกลั่น

4. อุปกรณ์ในการวัดค่าบัพเฟอร์ริ่งคาพาซิตี้ ได้แก่ เครื่องพีเอชมิเตอร์พร้อมบัฟเฟอร์ บิกเกอร์ กระดาษกรอง และเครื่องกวนสารอัตโนมัติ บิวเรตและขาตั้งบิวเรต สารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล และกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล น้ำกลั่น และตู้เย็น

5. อุปกรณ์ในการวัดค่าปริมาณวัตถุแห้งในพืชหมัก ได้แก่ เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ถ้วยฟลอยด์ ตู้อบ โถดูดความชื้นพร้อมซิลิกาเจล และคีมจับ

6. อุปกรณ์ในการวัดค่าโปรตีน ได้แก่ เครื่องย่อย Kjeldahl เครื่องดูดควันพิษ เครื่องกลั่น เครื่องไตรเตรท ขวดรูปชมพู่ เจดาลฟลาส กรดซัลฟุริกเข้มข้น สารเร่งปฏิกิริยา (catalyst mixture) สารโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 45 เปอร์เซ็นต์ และกรดซัลฟุริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มอล

7. อุปกรณ์ในการวัดค่าผนังเซลล์ ได้แก่ เครื่องต้มย่อย บิกเกอร์ขนาด 600 ซีซี กรวยกรอง (buchner funnel) ขวดกรอง (filtering flask) ถ้วยครูซิเบิล ปั๊มสูญญากาศ (vacuum pump) ตู้อบลมร้อน เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง โถดูดความชื้น สารละลาย สารละลาย NDS และอะซีโตน (acetone)

8. อุปกรณ์ในการวัดค่าลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ เครื่องต้มย่อย บิกเกอร์ขนาด 600 ซีซี กรวยกรอง (buchner funnel) ขวดกรอง (filtering flask) ถ้วยครูซิเบิล ปั๊มสูญญากาศ (vacuum pump) ตู้อบลมร้อน เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง สารละลาย ADS สารเดคาไฮโดรแนปทาลีน (decahydronaphthalene) และอะซีโตน (acetone)

วิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบสปริทพลอท (split plot design) ที่จัดกลุ่มการทดลอง (main- plot) แบบสุ่มสมบูรณ์ และจัดระยะเวลาของการหมักเป็น sub plot สำหรับการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของการหมัก ส่วนการวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าว ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 15 กลุ่ม (treatment) แต่ละกลุ่มมี 3 ซ้ำ (replication) คือ

กลุ่มที่ 1 ฟางข้าว + น้ำกลั่น
กลุ่มที่ 2 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + ยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มที่ 3 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล 3.65 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มที่ 4 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 1.5 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มที่ 5 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มที่ 6 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มที่ 7 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 1.5 เปอร์เซ็นต์ + Lactic acid bacteria
กลุ่มที่ 8 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ + Lactic acid bacteria
กลุ่มที่ 9 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ + Lactic acid bacteria
กลุ่มที่ 10 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 1.5 เปอร์เซ็นต์ + Bacillus spp.
กลุ่มที่ 11 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ + Bacillus spp.
กลุ่มที่ 12 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ + Bacillus spp.
กลุ่มที่ 13 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 1.5 เปอร์เซ็นต์ +
Lactic acid bacteria + Bacillus spp.
กลุ่มที่ 14 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์ +
Lactic acid bacteria + Bacillus spp.

กลุ่มที่ 15 ฟางข้าว + น้ำกลั่น + กากน้ำตาล + ยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ +

Lactic acid bacteria + Bacillus spp.

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 นำฟางมาสับให้มีขนาด 2-2.5 เซนติเมตร มาบรรจุลงในถุงพลาสติกที่ป้องกันอากาศได้ตามกลุ่มทดลองที่กำหนด โดยบรรจุถุงละ 60 กรัม เติมสารละลายกากน้ำตาล และยูเรียระดับต่าง ๆ ตามกลุ่มทดลองที่กำหนด จากนั้นเติมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในปริมาณ 10^7 CFU/ฟางข้าว 1 กรัม

2.2 ผสมให้เข้ากันแล้วปิดผนึกด้วยเครื่องผนึกสุญญากาศ และเก็บรักษาฟางหมักไว้ที่อุณหภูมิห้อง รอการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล สุ่มตัวอย่างฟางหมักแต่ละกลุ่มทดลองในวันที่ 1 (2 ชั่วโมงหลังการหมัก) 6 25 และ 60 วัน ของการหมักเพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการหมัก ได้แก่ ค่าพีเอช (Bolsen *et al*.,1990) ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (Somogyi, 1952) และค่าบัฟเฟอริ่งคาพาซิตี้ (Bolsen *et al*.,1990) และวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนะ ได้แก่ วัตถุแห้ง โปรตีนรวม NDF ADF (อังคณาและดวงสมร, 2539)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะที่ศึกษา ตามแผนการทดลองที่กำหนด และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนท์โดยวิธี Turkey (มนต์ชัย, 2544)

การทดลองที่ 2

ศึกษาสมรรถภาพการผลิตของโคขุนที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพเป็นแหล่งเยื่อใยในสูตรอาหาร

อุปกรณ์

การทดลองครั้งนี้ใช้ อุปกรณ์ และสัตว์ทดลอง ดังนี้

1.อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวตามกลุ่มทดลอง ได้แก่ ฟางข้าวในเขตพื้นที่จังหวัดปทุมธานี กากน้ำตาล หัวเชื้อบาซิลลัส (Bacillus spp.) พลาสติกชนิดกันอากาศ ถังภาชนะพลาสติกสำหรับบรรจุฟางปรุงแต่งขนาดใหญ่

2. อาหารสัตว์ ด้านอาหารหยาบใช้เปลือกข้าวโพดหวาน ฟางปรุงแต่งด้วยวิธีต่างๆ ส่วนในด้านอาหารข้นใช้อาหารผสมสำเร็จรูปเชิงการค้ามีระดับโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์

3.สัตว์ทดลอง ใช้โคเพศผู้ลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน อายุประมาน 18 เดือน จำนวนทั้งสิ้น 8 ตัว

4. เครื่องชั่งน้ำหนักโคพิกัด 2,000 กิโลกรัม

5. เครื่องชั่งน้ำหนักอาหารพิกัด 10 50 และ 100 กิโลกรัม

วิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบ 4 x 4 ลาตินสแคว์ (latin square design) ที่มี 2 จตุรัส (2 replicated latin square) โดยมีกลุ่มทดลอง ดังรายละเอียดข้างล่าง และที่มาของการคัดเลือกกลุ่มทดลองในกรณีใช้ฟางปรุงแต่งมาจากกลุ่มทดลองที่ดีที่สุดจากการทดลองในขั้นตอนการทดลองที่ 1

กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุมที่ใช้เปลือกข้าวโพดหวานเป็นแหล่งอาหารหยาบที่ใช้เป็นอาหารหยาบปกติในฟาร์มโคนม ของคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญรี

กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ได้รับฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ได้รับฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ และกากน้ำตาล 3.6 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มที่ 4 กลุ่มที่ได้รับฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ กากน้ำตาล 3.6 เปอร์เซ็นต์ และจุลินทรีย์บาซิลลัส (Bacillus spp.) จำนวนเซลล์ 10^7 cfu ต่อฟางข้าว 1 กรัม

2. การเตรียมการทดลอง

2.1 เตรียมอาหารหยาบชนิดต่างๆ ตามกลุ่มการทดลองที่กำหนดไว้ โดยตัดให้มีขนาดประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร

2.2 เตรียมสารละลายยูเรีย โดยละลายยูเรีย 5 ส่วนในน้ำ 100 ส่วน (W/V)

2.3 เตรียมสารละลายกากน้ำตาล โดยละลายกากน้ำตาล 3.6 ส่วนในน้ำ 100 ส่วน (W/V)

2.4 เตรียมสารละลายยูเรีย+กากน้ำตาล โดยละลายยูเรีย 5 ส่วนโดยน้ำหนักและกากน้ำตาล 3.6 ส่วนโดยน้ำหนักในน้ำ 100 ส่วนโดยปริมาตร

2.5 เตรียมจุลินทรีย์บาซิลลัส โดยเพาะเลี้ยง *Bacillus subtilis* ในอาหารเหลว Nutrient broth ให้เชื้อเติบโตอยู่ในระยะทวีคูณ (log phase) จากนั้นเจือจางด้วยสารละลาย 0.85% NaCl ให้ได้ปริมาณเชื้อ 10^7 CFU/ml

2.6 เตรียมการหมักฟางข้าว ตามกลุ่มการทดลองที่กำหนดไว้

2.7 เตรียมอาหารข้น โดยใช้อาหารผสมสำเร็จรูปเชิงการค้ามีระดับโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์

2.8 เตรียมโคทดลองโดยใช้โคนมเพศผู้ลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียนที่มีระดับเลือดและขนาดใกล้เคียงกัน อายุประมาณ 18 เดือน ทำการถ่ายพยาธิและฉีดวัคซีนป้องกันโรคที่จำเป็น

2.9 เตรียมคอกทดลองแบบขังเดี่ยวโดยวิธีผูกยืนโรงให้เหมาะสมกับการเลี้ยงโคเพศผู้ที่ไม่ตอน

3. ขั้นตอนการทดลอง

3.1 สุ่มโคตามกลุ่มหรือทรีตเมนต์เข้าคอกทดลองเพื่อปรับสภาพให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมและชนิดของอาหารที่โคต้องได้รับ ก่อนการบันทึกข้อมูลจริงเป็นเวลา 7 - 10 วัน

3.2 ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นการทดลองก่อนได้รับอาหารตามทรีตเมนต์กำหนด 2 ครั้ง ก่อนให้อาหาร โดยถือเอาค่าเฉลี่ยน้ำหนักจากทั้ง 2 ครั้งเป็นน้ำหนักเริ่มการทดลอง

3.3 ระหว่างการทดลองให้อาหารทดลองตามความต้องการตามรายตัวโดยแบ่งให้วันละ 3 ครั้ง คือ เช้า บ่าย และเย็น (07.30 13.30 และ 17.30 น.)

3.4 ให้น้ำดื่มและแร่ธาตุแขวนให้กินอย่างอิสระ

3.5 ชั่งน้ำหนักโคเพื่อปรับปริมาณอาหารที่ให้ทุก 2 สัปดาห์ โดยชั่งน้ำหนักในช่วงเย็นก่อนการให้อาหาร รวมทั้งชั่งน้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง

3.6 เก็บข้อมูลการทดลองเป็นเวลา 6 เดือน ในด้านปริมาณอาหารที่ให้กิน น้ำหนักตัวสัตว์ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และข้อมูลด้านสุขภาพอื่น ๆ ที่ปรากฏ

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะที่ศึกษาตามแผนการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (มนต์ชัย, 2544)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของการหมักและคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีทางเคมีและชีวภาพ โดยการการเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าว

ด้านองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพ

พีเอช (pH) ในพืชหมัก (Silage) ค่า pH เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของพืชหมักที่สำคัญอย่างยิ่ง ค่า pH ที่ลดลงรวดเร็วภายหลักการหมัก และคงระดับอยู่ได้เป็นเวลานาน หมายถึงพืชหมักจะยังคงคุณภาพได้นานเช่นกัน (Kung and Shaver, 1997) ในฟางปรุงแต่งที่ใช้ยูเรียร่วมกับกากน้ำตาล และหัวเชื้อจุลินทรีย์เป็นสารเสริมค่า pH อาจจะไม่สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพได้ชัดเจนแต่จะแสดงให้ทราบถึง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักหรือปรุงแต่งได้ผลการทดลองพบว่า วิธีการ ระยะเวลา และอิทธิพลร่วมของวิธีการและเวลาในการหมักหรือปรุงแต่งฟางข้าว มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH อย่างชัดเจน ($P<0.01$) pH มีค่าสูงในฟางที่ปรุงแต่งโดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของยูเรียระดับสูง หรือสารละลายยูเรียระดับสูง พร้อมกับการใช้กากน้ำตาล และหัวเชื้อจุลินทรีย์เป็นสารเสริม ในขณะที่ฟางข้าวที่ปรุงแต่งโดยใช้สารละลายกากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวมีค่า pH ต่ำที่สุด ดังตารางที่ 5

ค่า pH ในฟางข้าวที่ปรุงแต่งด้วยสารละลายเข้มข้น เมื่อผลจากแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของยูเรียซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเบส ทำให้มีค่า pH สูง ในขณะที่ฟางที่ปรุงแต่งด้วยกากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวมีค่า pH ต่ำ อาจเป็นผลจากจุลินทรีย์ซึ่งปนเปื้อนมากับฟางข้าวสามารถใช้น้ำตาลผลิตเป็นกรดกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ มีค่า pH ใกล้เคียงความเป็นกลาง อาจจะเป็นผลจากการแตกตัวให้แอมโมเนียมของยูเรียได้น้อยกว่าการใช้ยูเรียระดับสูง ประกอบกับเชื้อจุลินทรีย์ที่เสริมลงไปในฟางปรุงแต่งสามารถเจริญเติบโตและผลิตกรดได้ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดค่อนข้างมากจนถึง pH ค่อนข้างเป็นกลาง จึงทำให้ค่า pH ของฟางกลุ่มนี้ไม่สูงมากนัก ด้านอิทธิพลของระยะเวลาต่อค่า pH ที่เกิดขึ้นในฟางปรุงแต่ง พบว่าส่วนใหญ่ pH เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 6 วันแรกของการปรุงแต่ง จากนั้นในช่วง 6-25 วัน ค่า pH ค่อนข้างคงที่ และลดลงชัดเจนเมื่ออายุการหมัก หรือปรุงแต่งที่ 60 วัน ยกเว้นในฟางข้าวปกติ และฟางข้าวที่ปรุงแต่งด้วยสารละลายกากน้ำตาลที่มีค่า pH ต่ำลงภายใน 6 วันแรกของการหมัก และค่อนข้างคงระดับไว้จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง อย่างไรก็ตามฟางข้าวที่ปรุงแต่งด้วยสารละลายยูเรียความเข้มข้นสูง ยังคงมีค่า pH สูงตั้งแต่การปรุงแต่งจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง แสดงว่า ภายใต้สภาวะ pH สูง เชื้อจุลินทรีย์สามารถเติบโต และผลิตกรดออกมาได้น้อย จึงทำให้ pH คงระดับสูงอยู่ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 1)

ตารางที่ 5 ลักษณะทางเคมีของฟางข้าวที่ปรุงแต่งโดยวิธีแตกต่างกัน

กลุ่มทดลอง/วิธีการหมัก (วัน)	ลักษณะทางเคมี		
	pH	Reducing sugar (%DM)	BC (milliequi NaOH/100g DM)
1	6.20	3.56	18.94
2	7.97	5.67	35.28
3	6.24	9.81	19.42
4	7.45	5.20	36.59
5	7.75	6.58	32.51
6	8.13	7.11	43.95
7	6.91	5.45	40.41
8	7.31	5.39	43.99
9	8.01	7.68	42.43
10	6.92	5.30	35.47
11	7.21	5.46	36.46
12	8.00	6.88	50.07
13	6.98	5.06	35.96
14	7.61	5.32	41.67
15	7.93	5.59	48.13
ระยะเวลาในการหมัก (วัน)			
0	6.60	8.46	13.48
7	7.87	5.89	35.31
25	7.73	4.60	29.53
60	7.03	5.07	70.02
ระยะเวลานัยสำคัญ[1/]			
กลุ่ม	**	**	**
ระยะเวลาในการหมัก	**	**	**
อิทธิพลร่วม	**	**	**

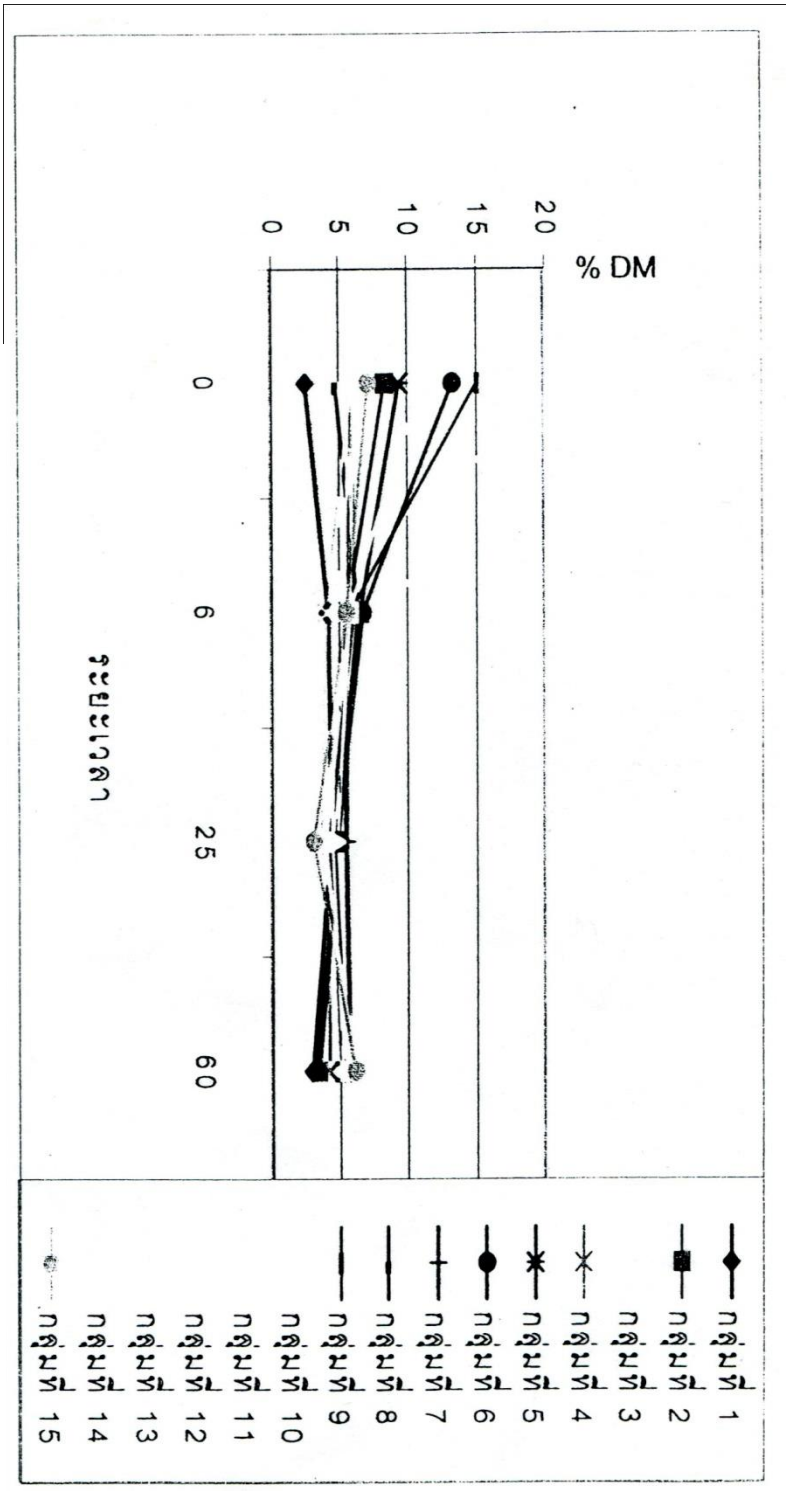
[abcdefg] = อักษรกำกับในแถวเดียวกันแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

[1/]** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

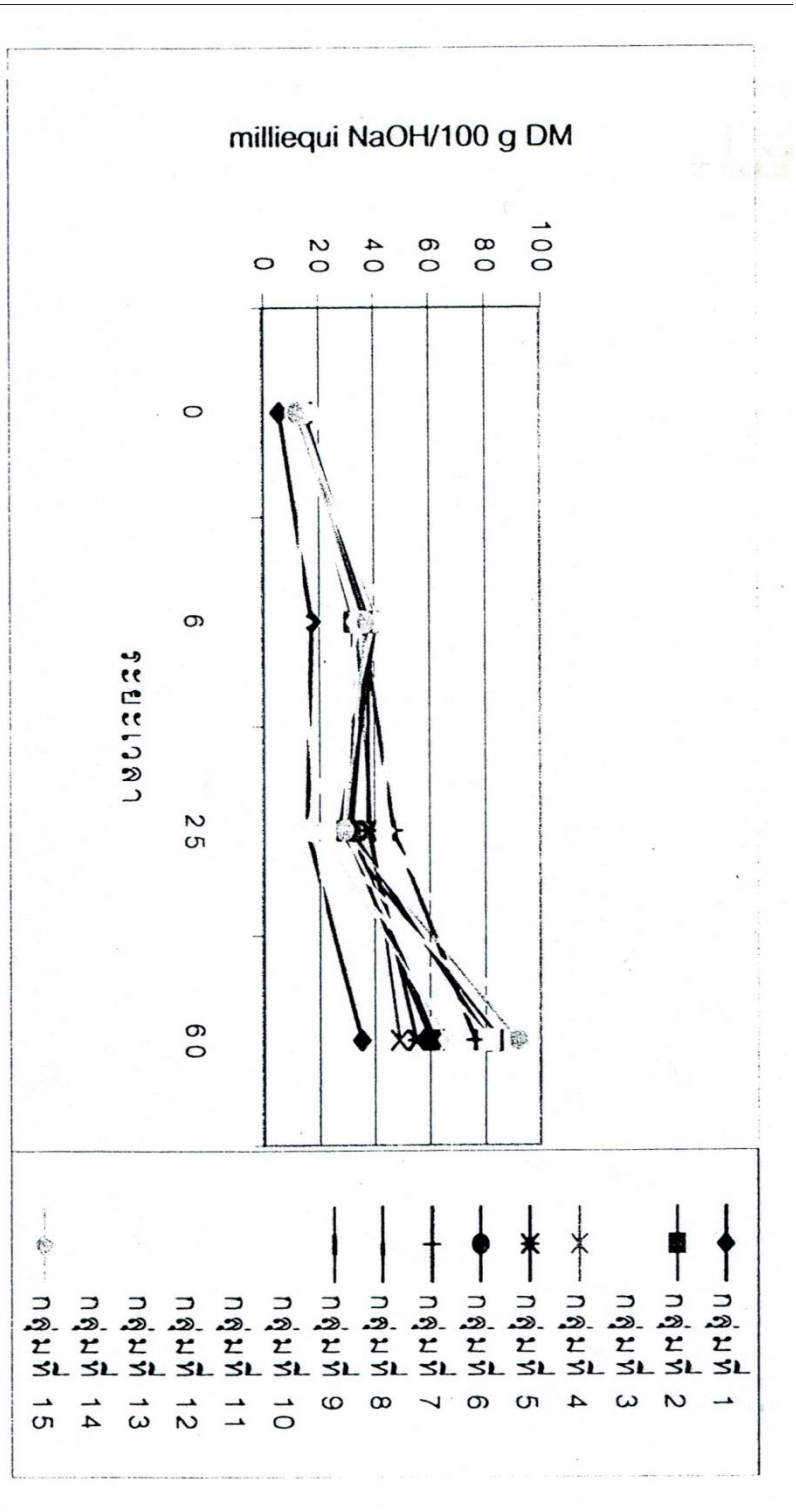
ค่าพีเอชของน้ำยางสดที่ผ่านการเติมสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 1 ในปริมาณต่างๆ กัน

น้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) น้ำตาลรีดิวซ์เป็นน้ำตาลที่หมู่แอลดีไฮด์ หรือหมู่คีโทถูกออกซิไดส์ได้ (พจน์ และคณะ, 2540) น้ำตาล รีดิวซ์จะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ได้ง่าย ผลจากการทดลองพบว่า วิธีการ ระยะเวลา อิทธิพลร่วมของ วิธีการ และระยะเวลา การปรุงแต่งมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในฟางข้าว ($P<0.01$) ระดับน้ำตาลมีค่าสูงขึ้นตามระดับของยูเรียที่ใช้เสริมในฟางสูงขึ้น แต่ภายหลังการปรุงแต่งเป็นเวลา 6 วัน ระดับน้ำตาลของฟางปรุงแต่งทุกกลุ่มมีค่าลดลงชัดเจน ($P<0.01$) จากนั้นระดับของน้ำตาลส่วนใหญ่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในช่วงการปรุงแต่งที่ 6-25 วัน จากนั้นมีแนวโน้มลดลงในกลุ่มที่ปรุงแต่งโดยใช้สารละลายยูเรียร่วมกับกากน้ำตาล ในขณะที่ระดับน้ำตาลดังกล่าวสูงขึ้นค่อนข้างมาก ในฟางปรุงแต่งที่เสริมยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะในกลุ่มที่เสริมหัวเชื้อทั้งจุลินทรีย์กรดแลคติก และบาซิลลัส ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการเสริมหัวเชื้อจุลินทรีย์ มีศักยภาพในการสลายเซลลูโลส หรือคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ยากให้เป็นน้ำตาลได้ จึงทำให้ค่าน้ำตาลรีดิวซ์ในฟางปรุงแต่งสูงขึ้น ส่วนกลุ่มที่เสริมเฉพาะยูเรีย และกากน้ำตาลนั้นแสดงให้เห็นว่ามีการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนกับฟางตามธรรมชาติได้แต่การย่อยสลายฟางข้าวอาจจะไม่เกิดขึ้นได้จำกัดจึงทำให้ระดับน้ำตาลลดลงอย่างต่อเนื่องส่วนฟางข้าวปกติมีระดับน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ช่วงแรกจนกระทั่งถึงวันที่ 25 ของการปรุงแต่งจากนั้นจึงมีระดับต่ำลง แสดงว่าจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากจากธรรมชาติสามารถย่อยสลายฟางข้าวให้ได้น้ำตาลแต่ไม่มากนักจึงทำให้ถูกใช้มากกว่าการย่อยออกมาได้ระดับน้ำตาลจึงต่ำลงในระยะสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 2)

บัฟเฟอริ่งคาพาซิตี้ (buffering capacity : BC) BC เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการต้านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของสาร BC ในฟางปรุงแต่งที่มีค่าสูงจึงหมายถึงการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง จะเกิดขึ้นได้ยากซึ่งจะส่งผลต่อการรักษาคุณภาพของฟางปรุงแต่ได้ดีขึ้น จากการทดลองจะเห็นได้ว่าวิธีการปรุงแต่งระยะเวลาในการปรุงแต่ง อิทธิพลร่วมของวิธีการ และระยะเวลาในการปรุงแต่งฟางข้าว มีผลอย่างยิ่งต่อค่า BC ที่เกิดขึ้น ($P<0.01$) ฟางปรุงแต่งที่เสริมสารละลายกากน้ำตาลหัวเชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับการใช้ยูเรียระดับสูงมีค่า BC สูงกว่าการใช้ยูเรียระดับต่ำ ในขณะที่ฟางข้าวอย่างเดียวและฟางข้าวที่เสริมเฉพาะสารละลายกากน้ำตาลมีค่า BC ต่ำที่สุด ($P<0.05$) ทั้งนี้เกิดจากการแตกตัวของยูเรียเป็นแก๊สแอมโมเนีย (NH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในระหว่างการปรุงแต่โดยเอนไซม์ยูรีเอสจากจุลินทรีย์ (สมจิตร, 2543) แอมโมเนียที่เกิดขึ้นนี้มีคุณสมบัติเป็นเบสอ่อน (ชุติมา และธวัชชัย, 2532) ซึ่งจะมีค่า BC สูง (Playne และ Mcdonald, 1996) สำหรับผลของระยะเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า BC โดยภาพรวมพบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักหรือปรุงแต่งยาวนานขึ้นจะทำให้มีค่า BC สูงขึ้น เนื่องจากการแตกตัวของแอมโมเนียเกิดขึ้นได้มากดังที่กล่าวมาแล้ว ร่วมกับฟางปรุงแต่งที่มีการเสริมสารละลายกากน้ำตาล และหัวเชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับยูเรียระดับต่ำมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้น (เห็นได้จากค่า pH ในฟางปรุงแต่งกลุ่มดังกล่าวลดลง) ซึ่งกรดเหล่านี้ส่วนใหญ่ทำให้ค่า BC สูงขึ้น (Playne และ Mcdonald, 1996) ลักษณะการเกิดขึ้นของค่า BC เมื่อระยะการหมักหรือปรุงแต่งยาวนานขึ้นในฟางปรุงแต่ง กลุ่มต่าง ๆ แสดงค่าในภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ปลาดูดซึมเข้าสู่ร่างกายในรูปของน้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 3 ค่า BC ของน้ำนมในแต่ละกลุ่มที่ระยะเวลาต่างๆ

ด้านคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพ

ผลการศึกษาในด้านคุณค่าทางโภชนะแสดงในตารางที่ 6

โปรตีนรวม (crude protein) โปรตีนรวม พบว่าโปรตีนรวมของฟางข้าวมีค่าสูงขึ้นเมื่อปรุงแต่งด้วยสารละลายกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับยูเรียระดับสูงขึ้นโดยเฉพาะการปรุงแต่งโดยเสริมสารละลายกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ บาซิลลัสร่วมกับยูเรีย (ภาพที่ 4) ในขณะที่การปรุงแต่งโดยใช้สารละลายยูเรียเพียงอย่างเดียวหรือยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลโดยไม่เสริมหัวเชื้อจุลินทรีย์มีค่าโปรตีนรวมค่อนข้างต่ำทั้งนี้อาจเกิดจากการเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งมีโอกาสที่เป็นโปรตีนสูงทำให้โปรตีนโดยรวมซึ่งนอกจากจะเป็นผลจากระดับยูเรียที่เสริมลงไปและยังรวมถึงโปรตีนจากจุลินทรีย์อีกด้วยทำให้ฟางข้าวในกลุ่มที่เสริมหัวเชื้อจุลินทรีย์มีโปรตีนสูงขึ้นผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการปรุงแต่งฟางข้าง โดยเสริมสารละลายกากน้ำตาลและยูเรียรวมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ช่วยเพิ่มโปรตีนรวมของฟางข้าวได้ชัดเจน ($P<0.01$)

ผนังเซลล์ (Neutral detergent fiber; NDF) เป็นส่วนที่ประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิล ซิลิก้า คิวติน และโปรตีนที่ติดอยู่กับผนังเซลล์ ซึ่งเรียกว่า attach protein (อังคณา และดวงสมร, 2532) โภชนะส่วนนี้สัตว์กระเพาะรวมสามารถใช้ประโยชน์ได้ค่อนข้างมาก โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนแต่มีข้อจำกัดในการย่อย โดยน้ำย่อยหรือเอนไซม์จากตัวสัตว์ ดังนั้นในอาหารหยาบที่ดีจึงไม่ควรมีปริมาณผนังเซลล์สูงเกินไป ผลการทดลองพบว่า การใช้ยูเรียระดับสูงเพียงอย่างเดียวในการปรุงแต่งฟางข้าวทำให้ค่า NDF ต่ำที่สุด ($P<0.05$) ส่วนฟางข้างที่เสริมยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลมีค่า NDF ต่ำลงตามลำดับของยูเรียที่สูงขึ้น ในขณะที่ฟางข้าวที่ปรุงแต่งโดยการเสริมยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์มีค่า NDF ค่อนข้างแปรปรวนในช่วงแคบ ๆ แสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายกากน้ำตาลร่วมกับยูเรีย หรือสารละลายกากน้ำตาลและยูเรียร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถช่วยลดปริมาณผนังเซลล์ได้ เมื่อเทียบกับการใช้ยูเรียเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงฟางข้าวโดยใช้สารละลายยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์กรด แลคติก นอกจากมีแนวโน้มลดปริมาณ NDF ในฟางปรุงแต่งแล้วยังมีข้อดีเกียวกับกลิ่นและปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นดังได้กล่าวมาแล้วในขณะที่ฟางปกติมีค่า NDF สูงที่สุด (ภาพที่ 5)

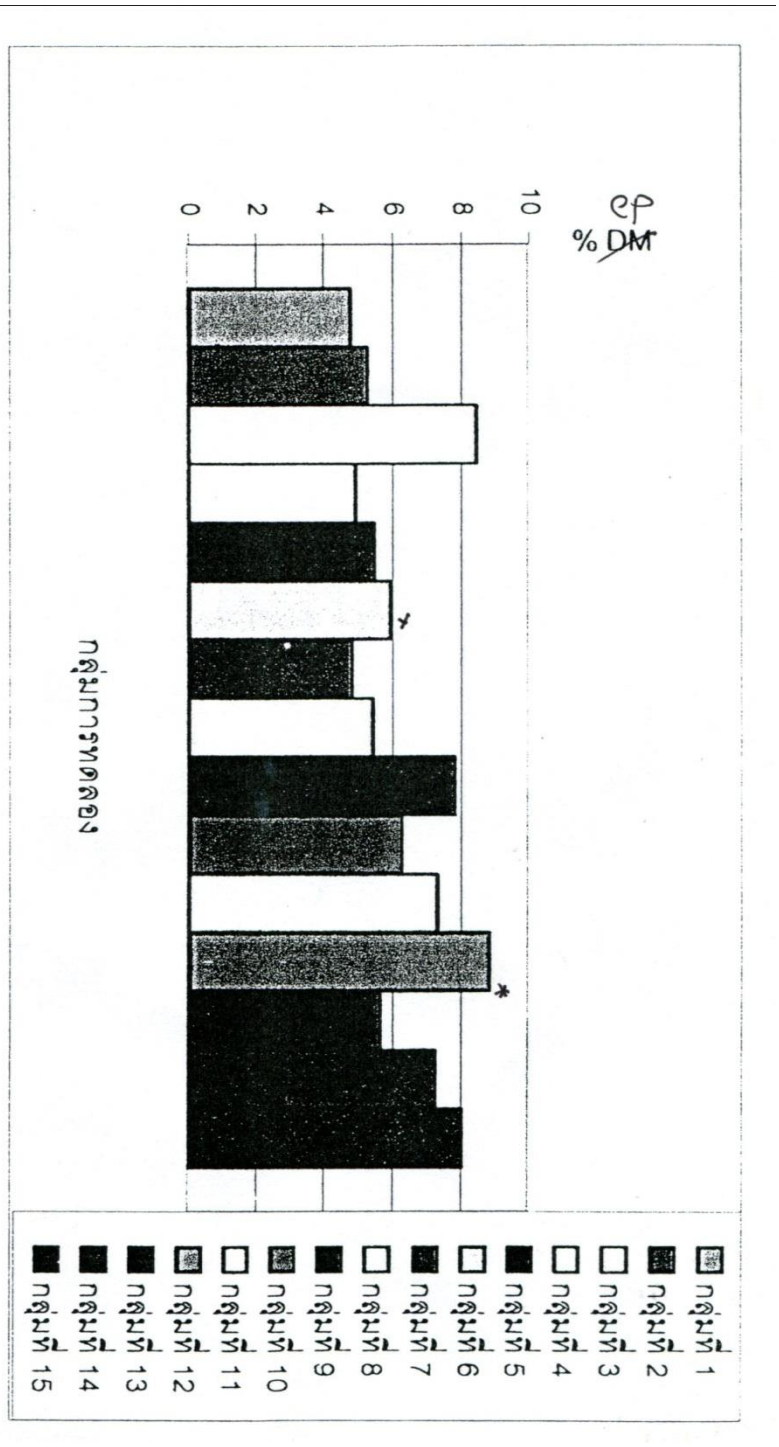
ลิกโนเซลลูโลส (acid detergent fiber; ADF) ลิกโนเซลลูโลสเป็นส่วนของพืชอาหารสัตว์ที่ประกอบไปด้วย เซลลูโลส ลิกนิก เคราติน ซิลิก้า และสารประกอบไนโตรเจนที่มีลิกนินแทรกอยู่ (อังคณา และดวงสมร, 2532) ADF เป็นส่วนของพืชที่ถูกย่อยได้ยากโดยจุลินทรีย์ ในกระเพาะรูเมนของสัตว์ ดังนั้นถ้าอาหารหยาบมีค่า ADF สูงขึ้นจึงหมายถึง อาหารหยาบนั้นมีคุณภาพต่ำลง จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรุงแต่งฟางข้าวโดยใช้สารละลายยูเรียที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีผลทำให้ค่า ADF สูงขึ้นในขณะที่การใช้ยูเรียระดับต่ำเพียง 1.5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้กากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการปรุงแต่งทำให้ค่า ADF ลดลง โดยเฉพาะในกลุ่มที่ใช้หัวเชื้อบราซิลลัส ซึ่งมีค่า ADF ต่ำสุด อย่างไรก็ตาม การใช้กากน้ำตาลเพียง

อย่างเดียวเป็นสารเสริมในการปรุงแต่งฟางข้าวช่วยลดค่า ADF ได้มากกว่ากลุ่มอื่น ๆ ยกเว้นกลุ่มที่ปรุงแต่งโดยใช้ยูเรียระดับ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาลและหัวเชื้อบราซิลลัส ค่าที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้ อาจเกิดจากกากน้ำตาลถูกใช้เป็นสับเสตรทในการผลิตเอนไซม์ที่ช่วยย่อยฟางข้าวภายใต้สภาพที่มี pH เหมาะสมของเชื้อจุลินทรีย์ที่ปะปนมากับฟางข้าวตามธรรมชาติ เช่นเดียวกับฟางปรุงแต่งกลุ่มที่ 10 ซึ่งมียูเรียระดับต่ำและมีเชื้อบราซิลลัส ซึ่งสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ ภายใต้สภาพที่เหมาะสมจึงทำให้ค่า ADF ต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ ชัดเจน ($P<0.05$) แสดงในภาพที่ 6

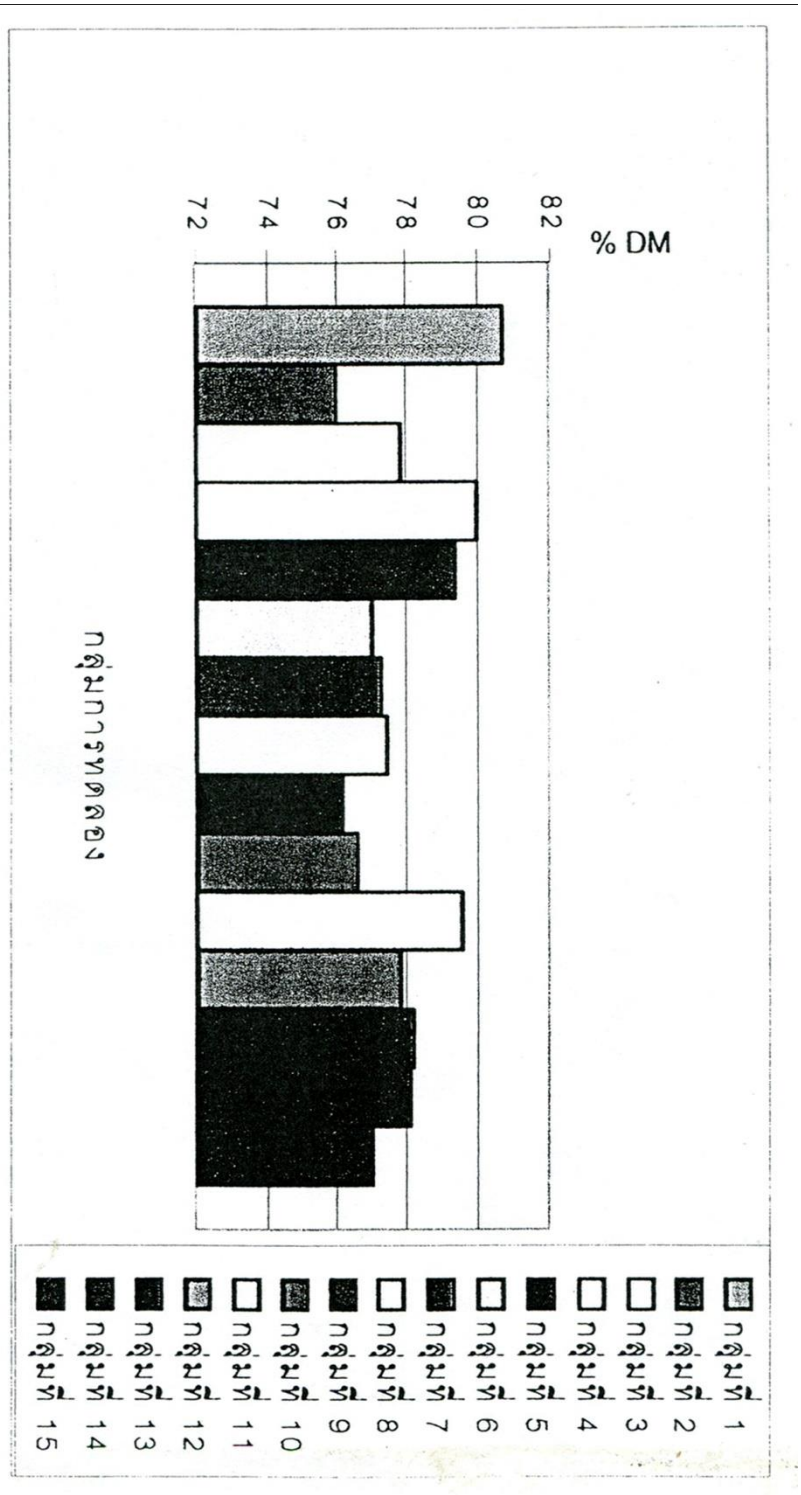
ตารางที่ 6 คุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวที่ปรุงแต่งโดยวิธีแตกต่างกัน

กลุ่มการทดลอง	ปริมาณโภชนะ (% DM)		
	CP	NDF	ADF
1	4.77	80.69	56.65
2	5.28	75.98	57.56
3	8.44	77.86	54.32
4	4.93	79.98	56.30
5	5.48	79.88	59.52
6	6.95	77.04	57.44
7	4.82	77.29	56.16
8	5.44	77.45	56.97
9	7.81	76.16	57.58
10	6.26	76.60	62.67
11	7.80	79.57	58.01
12	8.81	77.84	58.38
13	5.64	78.21	66.97
14	7.23	78.11	57.80
15	8.00	77.04	58.77
CV (%)	14.58	2.36	3.42

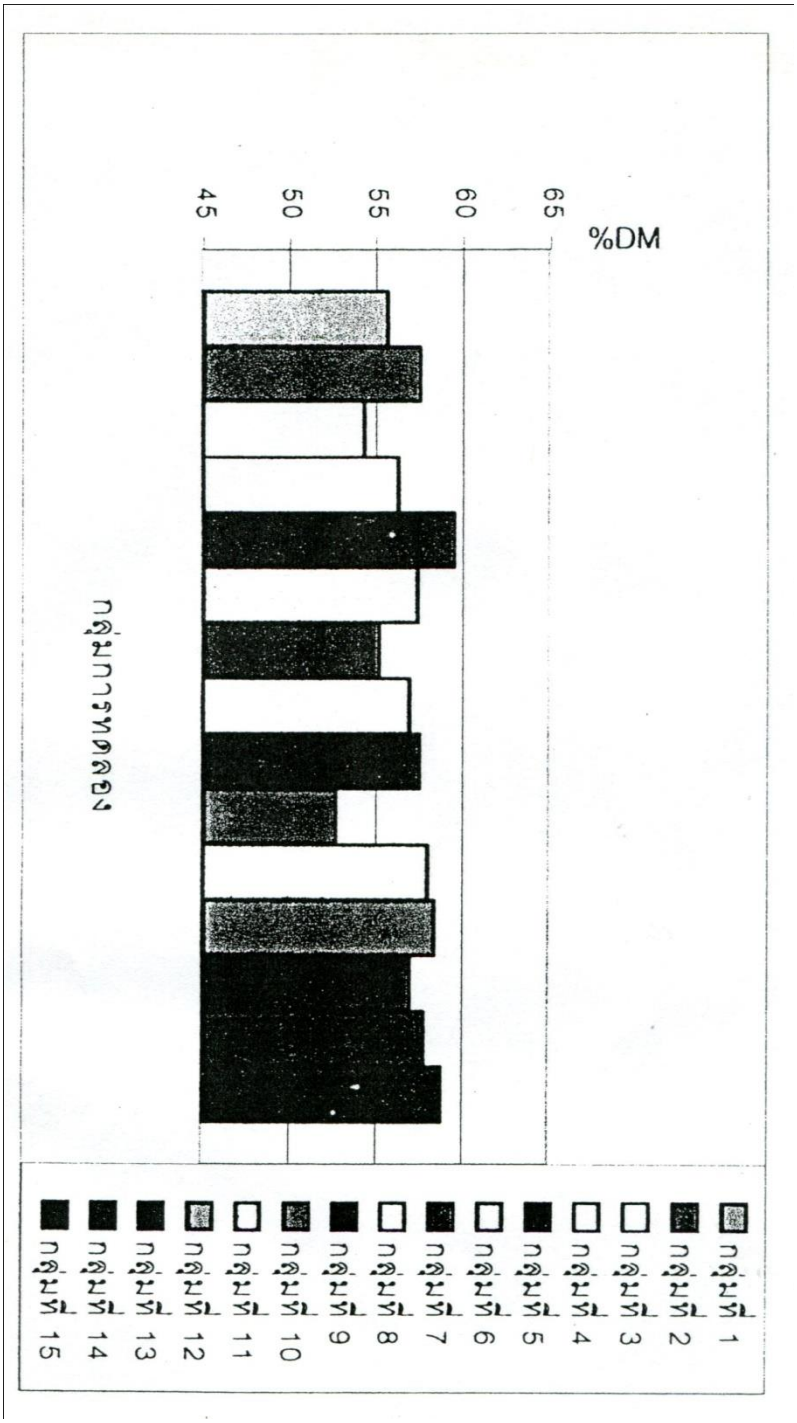
[abcd]อักษรกำกับในแถวเดียวกันแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.05$)



ภาพที่ 4 ค่า CP ของฟางข้างที่ปรุงแต่งด้วยวิธีแตกต่างกัน



ภาพที่ 5 ค่า ADF ของฟางข้าวที่ปรุงแต่งด้วยวิธีและกลุ่มต่าง



ภาพที่ 6 ค่า ADF ของฟางข้าวที่ปรุงแต่งด้วยวิธีและกลุ่มต่าง

การทดลองที่ 2. ศึกษาสมรรถภาพการผลิตของโคขุนที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพเป็นแหล่งเยื่อใยในสูตรอาหาร

ผลการเลี้ยงโคนมเพศผู้ขุนด้วยฟางข้าวที่ปรุงแต่งโดยวิธีต่าง ๆ เมื่อเทียบกับอาหารหยาบจากเปลือกข้าวโพดหวานซึ่งเป็นแหล่งอาหารหยาบทีใช้ปกติในฟาร์มโคนมและโคเนื้อ สาขาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พบว่า สมรรถภาพการผลิตทั้งในด้านปริมาณอาหารที่กิน การเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ของโคทดลองทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ยกเว้นปริมาณอาหารหยาบสดที่กินได้ ซึ่งพบว่า โคกลุ่มควบคุมกินเปลือกข้าวโพดสดได้มากกว่าโคกลุ่มอื่นๆ (P<0.05) ในขณะที่โคกลุ่มอื่นๆ มีปริมาณการกินได้ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลของรูปแบบการปรุงแต่งฟางข้าวต่อสมรรถภาพการผลิตโคนมเพศผู้

ลักษณะที่ศึกษา	ชนิดอาหารหยาบ				Pr>F	CV (%)
	กลุ่มที่1	กลุ่มที่2	กลุ่มที่3	กลุ่มที่4		
น้ำหนักเริ่มการทดลอง (กก./ตัว)	291.75	294.25	294.25	298.50	0.4551	2.82
น้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง (กก./ตัว)	303.38	302.75	302.63	308.25	0.4246	2.52
น้ำหนักเพิ่ม (กก./ตัว)	11.38	8.50	8.38	9.75	0.3731	39.54
อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กก./ตัว)	1.43	1.06	1.05	1.22	0.3703	39.50
ปริมาณอาหารที่กินตลอดการทดลอง (กก./ตัว)						
อาหารหยาบในสภาพการเลี้ยง	129.424[a]	47.95[b]	45.52[b]	46.78[b]	0.0001	11.85
อาหารหยาบในสภาพแห้ง	29.51	28.97	25.58	29.21	0.3562	7.84
อาหารข้นในสภาพการเลี้ยง	34.82	34.43	34.53	35.42	0.5868	4.45
อาหารข้นในสภาพแห้ง	31.24	30.37	30.45	31.24	0.5868	4.45
รวมอาหารที่กินในสภาพแห้งทั้งหมด	60.22	59.34	58.03	60.45	0.3627	4.89
อาหารแห้งที่กินได้ต่อวัน (กก./ตัว)	7.53	7.42	7.25	7.56	0.358	4.89
อาหารแห้งที่กินได้ต่อวัน (% น้ำหนักตัว)	2.60	2.55	2.48	2,56	0.2999	4.74
อาหารหยาบแห้งที่กินได้ต่อวัน(%น้ำหนักตัว)	1.29	1.26	1.27	1.19	0.3613	8.52
อาหารข้นที่กินได้ต่อวัน (% น้ำหนักตัว)	1.31	1.29	1.29	1.31	0.5986	3.26
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักเพิ่ม	6.92	7.99	8.33	7.27	0.850	46.63

ด้านปริมาณอาหารที่กิน

1. อาหารหยาบ พบว่า โคกลุ่มควบคุมที่ได้รับอาหารหยาบจากเปลือกข้าวโพดกินอาหารหยาบในสภาพการเลี้ยง (as fed basis) ได้มากที่สุด ($P<0.05$) ในขณะที่โคกลุ่มอื่นๆ กินอาหารดังกล่าวได้ใกล้เคียงกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 129.42 47.95 45.518 และ 46.78 กิโลกรัมต่อตัว สำหรับโคกลุ่มควบคุมที่ได้รับอาหารหยาบจากเปลือกข้าวโพด กลุ่มฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย กลุ่มฟางปรุงแต่งด้วยยูเรียกากน้ำตาล และกลุ่มฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย กากน้ำตาล และจุลินทรีย์บาซิลลัส ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อคิดในปริมาณอาหารหยาบในสภาพแห้ง (on drymatter basis) พบว่า โคทุกกลุ่มกินอาหารดังกล่าวได้ใกล้เคียงกัน ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.51 28.97 25.58 และ 29.21 กิโลกรัมต่อตัว ตามลำดับ

การที่โคกลุ่มควบคุมที่ได้รับอาหารหยาบจากเปลือกข้าวโพดกินอาหารหยาบในสภาพการเลี้ยงได้มากกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจากเปลือกข้าวโพดหวานมีวัตถุแห้งต่ำเพียง 28.2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย ฟางปรุงแต่งด้วยยูเรียกากน้ำตาล และฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย กากน้ำตาล และจุลินทรีย์บาซิลลัส มีวัตถุแห้ง 60.42 60.60 และ 62.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และโคทดลองกลุ่มที่ได้รับฟางปรุงแต่งด้วยวิธีต่างๆ กินอาหารหยาบในสภาพการเลี้ยงได้ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ปริมาณอาหารที่กินในสภาพแห้งได้ไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์การกินได้ของอาหารในสภาพแห้งทั้งหมดเทียบกับน้ำหนักตัว พบว่าโคทุกกลุ่มมีเปอร์เซ็นต์การกินได้ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.5- 2.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ปริมาณการกินได้ของอาหารในสภาพแห้งดังกล่าว แสดงถึง ฟางที่ปรับปรุงคุณภาพทุกวิธีจัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพปานกลาง ซึ่งพรศรี (2546) รายงานว่า โคจะกินอาหารทั้งหมดในลักษณะแห้งได้ 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวเมื่ออาหารหยาบมีคุณภาพปานกลาง อย่างไรก็ตาม ปริมาณอาหารหยาบแห้ง และอาหารแห้งทั้งหมดที่กินได้ยังมีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับการศึกษาของ Wanapat *et al* (2009) ที่พบว่าโคทดลองกินได้ 1.45 และ 2.98 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ในขณะที่การศึกษาครั้งนี้โคกินได้เพียง 1.2-1.3 และ 2.5-2.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณอาหารทั้งหมดในสภาพแห้งที่กินได้ต่อวัน ซึ่งพบว่า ผลการศึกษาครั้งนี้มีค่าค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 7.25-7.56 กิโลกรัมต่อวันต่อตัว ในขณะที่การศึกษาโดย Wanapat *et al* (2009) และ Biswas *et al* (2010) มีค่าสูงถึงตัวละ 10-12 และ 8.46-9.96 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากการศึกษาครั้งนี้ ใช้โคนมเพศผู้เป็นสัตว์ทดลอง ในขณะที่ Wanapat *et al* (2009) และ Biswas *et al* (2010) ทำการศึกษาในแม่โคที่กำลังให้ผลผลิตน้ำนม ซึ่งโคดังกล่าวจำเป็นต้องกินมาก เพื่อให้ได้รับโภชนะในปริมาณที่เพียงพอต่อการผลิตน้ำนม

2. อาหารข้น ผลการทดลอง พบว่า โคทดลองทุกกลุ่มกินอาหารข้นไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยโคกลุ่มควบคุมที่ได้รับอาหารหยาบจากเปลือกข้าวโพด กลุ่มฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย กลุ่มฟางปรุงแต่งด้วยยูเรียกากน้ำตาล และกลุ่มฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย กากน้ำตาล และจุลินทรีย์บาซิลลัส กินอาหารข้นในสภาพ

แห้งได้เฉลี่ยวันละ 3.84 3.80 3.81 และ 3.91 กิโลกรัมต่อตัว หรือคิดเป็น 1.31 1.29 1.29 และ 1.31 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ตามลำดับ การที่โคแต่ละกลุ่มกินอาหารข้นได้ใกล้เคียงกัน เป็นผลมาจากการทดลองครั้งนี้ กำหนดเกณฑ์การให้อาหารข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ดังนั้นเมื่อน้ำหนักโคทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การกินได้ของอาหารข้นไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ปริมาณอาหารข้นที่กินได้ มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ เนื่องจากมีการลดปริมาณอาหารลงเมื่อพบว่าโคกินอาหารข้นไม่หมด ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากปริมาณอาหารข้นที่กินจริงเทียบกับน้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์การกินได้จึงต่ำลง

ปริมาณอาหารข้นที่โคกินได้เกิดขึ้นในทิศทางเดียกับปริมาณอาหารหยาบที่โคกินได้ โดยจะเห็นว่า เมื่อโคกินอาหารหยาบได้มากขึ้นก็จะกินอาหารข้นได้มากขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากการรักษาสภาพความเป็นกรด-ด่าง ภายในกระเพาะรูเมนของโค ผลการทดลองนี้เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับรายงานการศึกษาของ Biswas *et al* (2010) ที่แสดงให้เห็นว่า โคที่กินอาหารหยาบได้มากจะกินอาหารข้นได้มากขึ้นด้วย

ด้านการเจริญเติบโต

ผลการทดลอง พบว่า โคกลุ่มควบคุมเจริญเติบโตได้ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีต่างๆ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยโคกลุ่มควบคุมมีการเจริญเติบโตในรูปของน้ำหนักเพิ่มตลอดการทดลองเฉลี่ย 11.36 กิโลกรัมต่อตัว ส่วนกลุ่มที่ได้รับฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย กลุ่มฟางปรุงแต่งด้วยยูเรียกากน้ำตาล และกลุ่มฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย กากน้ำตาล และจุลินทรีย์บาซิลลัส มีน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย 8.50 8.38 และ 9.75 กิโลกรัมต่อตัว ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยวันละ 1.43 1.06 1.05 และ 1.22 กิโลกรัมต่อตัว ตามลำดับ

การที่โคกลุ่มควบคุมมีแนวโน้มการเจริญเติบโตได้ดีกว่าโคกลุ่มอื่นๆ เนื่องจากโคกลุ่มดังกล่าวกินอาหารทั้งอาหารหยาบและอาหารข้นได้ค่อนข้างมาก อีกทั้งเปลือกข้าวโพดสดยังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีโภชนะอยู่สูงใกล้เคียงกับพืชอาหารสัตว์สด ในขณะที่ฟางปรุงแต่งมีโภชนะต่ำกว่า

จากผลการทดลอง จะเห็นว่า โคทุกกลุ่มมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างสูง อาจเนื่องจากโคที่ใช้ทดลองเป็นโครุ่นซึ่งอยู่ในช่วงของการเจิญเติบโต ในขณะที่มีการให้อาหารข้นถึง 1.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

ด้านอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio, FCR) พบว่า โคกลุ่มควบคุมมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ รองลงมาได้แก่ กลุ่มที่ได้รับฟางปรุงแต่งด้วยยูเรียกากน้ำตาล และจุลินทรีย์บาซิลลัส กลุ่มฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย และกลุ่มฟางปรุงแต่งด้วยยูเรียกากน้ำตาล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.92 7.27 7.99 และ 8.33 ตามลำดับ ($P>0.05$) การที่โคกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับฟางปรุงแต่งด้วยยูเรีย กากน้ำตาล และจุลินทรีย์บาซิลลัส มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวต่ำ แสดงถึง โคสามารถเจริญเติบโตได้มากในขณะที่กินอาหารได้ไม่แตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ

สรุป

1. ฟางข้าวที่ปรับปรุงแต่งด้วยกากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวมีค่า pH ต่ำที่สุด ในขณะที่ฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยสารละลายยูเรียความเข้มข้นต่ำร่วมกับกากน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์มีค่า pH ใกล้ความเป็นกลาง ส่วนฟางข้าวที่ปรุงแต่งด้วยสารละลายยูเรียความเข้มข้นสูงจะมีค่า pH สูงตั้งแต่ช่วงแรกของการปรับปรุงจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดในฟางที่ปรับปรุงด้วยกากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ปริมาณองค์ประกอบดังกล่าวจะลดลงเมื่อระยะการเก็บรักษายาวนานออกไป ($P<0.01$) ระยะเวลา วิธีการ และอิทธิพลร่วมของระยะเวลาและวิธีการปรับปรุง มีผลอย่างยิ่งต่อค่า BC ($P<0.01$) ฟางที่ปรุงแต่งด้วยสารละลายกากน้ำตาล หัวเชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับการใช้ยูเรียระดับสูง มีค่า BC สูงกว่าการใช้ยูเรียในระดับต่ำในขณะเดียวกันฟางข้าวอย่างเดียว และฟางข้าวที่เสริมเฉพาะสารละลายกากน้ำตาลมีค่า BC ต่ำที่สุด ($P<0.05$) การปรับปรุงฟางข้าวด้วยสารละลายกากน้ำตาลร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์และยูเรียระดับสูง มีค่า CP สูงขึ้น ในขณะเดียวกับการปรับปรุงโดยใช้สาระลายเพียงอย่างเดียว หรือยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลโดยไม่เสริมหัวเชื้อจุลินทรีย์ จะมีค่า CP ค่อนข้างต่ำ ปริมาณ NDF ในฟางข้าวต่ำที่สุดเมื่อปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรียระดับสูงเพียงอย่างเดียว ส่วนการปรุงแต่งโดยการเสริมยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลร่วมและหัวเชื้อจุลินทรีย์ มีค่า NDF ค่อนข้างแปรปรวนในช่วงแคบ ๆ นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับปรุงโดยใช้สารละลายยูเรียความเข้มข้นสูงมีผลทำให้ค่า ADF สูงขึ้น ในขณะที่การใช้ยูเรียในระดับต่ำเพียง 1.5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้กากกน้ำตาลและหัวเชื้อจุลินทรีย์เป็นสารเสริมในการปรุงแต่งทำให้ค่า ADF ลดลงโดยเฉพาะกลุ่มที่ใช้เชื้อบราซิลลัส มีค่า ADF ต่ำสุด อย่างไรก็ตามการปรับปรุงโดยใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวจะช่วยลดค่า ADF ได้มากกว่ากลุ่มอื่น ๆ

2. ฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีต่างๆ สามารถใช้เลี้ยงโคขุนได้ไม่ต่างจากการเลี้ยงด้วยเปลือกข้าวโพดหวาน เนื่องจากสมรรถภาพการผลิตทั้งในด้านปริมาณอาหารที่กินได้ การเจิญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ไม่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

เมธา วรรณพัฒน์. 2528. อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

สมจิตร ถนอมวงศ์วัฒนะ. 2543. เอกสารประกอบการสอนวิชาการผลิตโคนม. คณะวิชาสัตวศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. นครศรีธรรมราช.

สมพล อุชชิน และคณะ. 2535. เทคโนโลยีการปลูกข้าวที่อาศัยน้ำฝน. โครงการพัฒนาข้าวในเขตเกษตรล้าหลัง สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สาโรจน์ และคณะ. 2544. วิศวกรรมเคมีชีวภาพพื้นฐาน 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2545. ข้อมูลการผลิตและการตลาดสินค้าเกษตรที่สำคัญ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ. 2542. การประเมินค่าพลังงานสุทธิและการศึกษาการย่อยได้ของฟางข้าวในโคนมและแกะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

อนุรัตน์ ลิ่มสกุล. 2528. การปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของฟางข้าวสำหรับเลี้ยงกระบือ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อังคณา หาญบรรจงและดวงสมร สินเจิมศิริ. 2532. การวิเคราะห์และปริมาณคุณภาพอาหารสัตว์. กรุงเทพฯ. 253 น.

จีระชัย กาญจนพฤฒิพงศ์. 2529. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ฟางข้าวหมักยูรียกับฟางข้าวราดสารละลายยูเรีย-กากน้ำตาลเป็นอาหารหยาบสำหรับวัวนมเพศผู้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาเกษตรศาสตร์, กรุเทพฯ.

เจริญ แสงดี. 2529. การใช้ต้นถั่วลิสงแห้งเสริมฟางข้าวธรรมดาหรือฟางข้าวปรุงแต่งด้วยยูเรียเป็นอาหารโคพื้นเมือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ดำรัส ชาตรีวงศ์. 2545. การใช้ฟางข้าวหมักยูเรียในสูตรอาหารผสมครบส่วนสำหรับโคนม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ถนัด รัตนานุพงศ์. 2531. การเสริมยูเรีย-กากน้ำตาล และใบกระถิน–กากน้ำตาล ในฟางข้าว
สำหรับโคนมในฤดูแล้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิรันดร กองเงิน. 2536. การใช้ยูเรีย-กากน้ำตาลเหลวเสริมฟางข้าวเป็นอาหารสัตร์เคี้ยวเอื้อง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2527. โภชนะศาสตร์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 195 น.

เมธา วรรณพัฒน์. 2528. อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 212 น.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

มนต์ชัย ดวงจินดา. 2545. การใช้โปรแกรม SAS เพื่อวิเคราะห์งานวิจัยทางสัตว์.
ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 313 น.

สมคิด พรมมา. 2525. การทดลองใช้ฟางข้าวซึ่งได้รับการปรุงแต่งคุณภาพแล้วเป็นอาหารหยาบ
หลักสำหรับเลี้ยงโครุ่น. อ้างโดย อนุรัตน์ ลิ่มสกุล. การปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของฟางข้าว
สำหรับเลี้ยงกระบือ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

สมพล อุชชิน. 2535. เทคโนโลยีการปลูกข้าวที่อาศัยน้ำฝน. โครงการพัฒนาข้าวในเขต เกษตรล้าหลัง.
สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 37 น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2545. ข้อมูลการผลิตและการตลาดสินค้าเกษตรที่สำคัญ.
สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุเทพฯ. 156 น.

เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ. 2542. การประเมินค่าพลังงานสุทธิและการศึกษาการย่อยได้ของฟางข้าว
ในโคนมและแกะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อนุรัตน์ ลิ่มสกุล. 2528. การปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของฟางข้าวสำหรับเลี้ยงกระบือ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

อังคณา หาญบรรจง และ ดวงสมร สินเจิมศิริ. 2532. การวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวบาล

คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 275 น.

Cheva – Isarakul, BL. And BS. Cheva – Isarakul. 1985. Variation in nutritive of rice Straw in Northhern Thailand. อ้างโดย. ถนัด รัตนานุพงศ์. การเสริมยูเรีย - กากน้ำตาล และใบกระถิน-กากน้ำตาลในฟางข้าวสำหรับโคนมในฤดูแล้ง.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Biswas. M. A. A., M. N., Hoque., M. G., Kibria., M. H., Rashid and M. M., Akther. 2010. Field trail and demonstration of urea molasses straw technology of feeding lactating animals. Bangladesh research publications journal. 1129 – 1132.

Erdman. R. 1987. Forage pH Effects on Intake in Early Lactation Dairy Cows. J. Dairy Sci.71 : 1198 – 1203.

Malburg, L.M., Jr., J.M.T. Lee and C.W. Forsberg. 1992. Degradation of cellulose and Hemicelluloses by rumen microorganisms, pp. 127–159. In G. Winkelmann (ed.). Microbial Degradation of Natural Products. VCH Publishers, Inc., New York. 340 p.

McAllister. T.A.,L.B.Selinger, L.R. McMahon. H.D.Bae.,T.J. Lysyk., S.J. Oosting and K.J.Cheng. 1995. Intake, digestibility and aerobic stability of barley silage Inoculated with mixtures of Lactobacillus Plantarum and Enterococcus faccium. Can. J. Anim. Sci. : 75:425 – 432.

Wanapat, M., S. Polyorach., K.Boonnop., C. Mapato. and A. Cherdthong. 2009. Effects of treating rice straw with urea or urea and calcium hydroxide upon intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield of dairy cows. Livestock Science 125: 238-243.

Smith, W.R.,I.Yu and R.E. Hungate. 1973. Factors affecting cellulolysis by Ruminococcus. Albus. J. of Bacteriol. 114:729-737.

Woolford, J. 1984. Xylanases : functions, properties and applications. Topic in Enzyme And Fermentation Biotechnology. 8:9-30.

Yan. T., D.C. pattersont, F.J. Gordont and M.G. Portur. 1996. The effects of wilting of

Gras prior to ensiling on the response to bacterial inoculation. Animal Science 62 : 405－429.

Chen. J., M.R. Stokes and C.R> Wallace. 1994. Effect of enzyme-inoculant systems on preservation and nutritive value of hay crop and com silages. J.Dairy Sci. 77:501-512.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักเริ่มต้นทดลองของโคที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	68574.6250000	76.56	0.0001
Error	18	1240.2500000		
Corrected Total	31	69814.8750000		

R-Square	C.V.	INW Mean
0.982235	2.816804	294.687500

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	41041.1250000	595.64	0.0001
ANIM(SQ)	6	15644.7500000	37.84	0.0001
PERIOD	3	11700.3750000	56.60	0.0001
TRT	3	188.3750000	0.91	0.4551

ตารางผนวกที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักสิ้นสุดการทดลองของโคที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	73696.0000000	96.08	0.0001
Error	18	1062.0000000		
Corrected Total	31	74758.0000000		

R-Square	C.V.	FINW Mean
0.985794	2.524617	304.250000

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	46056.1250000	780.61	0.0001
ANIM(SQ)	6	16076.3750000	45.41	0.0001
PERIOD	3	11390.2500000	64.35	0.0001
TRT	3	173.2500000	0.98	0.4246

ตารางผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักเพิ่มตลอดการทดลองของโคที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	276.00000000	1.50	0.2077
Error	18	254.00000000		
Corrected Total	31	530.00000000		

R-Square	C.V.	GAIN Mean
0.520755	39.54185	9.50000000

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	136.12500000	9.65	0.0061
ANIM(SQ)	6	79.37500000	0.94	0.4926
PERIOD	3	13.75000000	0.32	0.8074
TRT	3	46.75000000	1.10	0.3731

ตารางผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการเติบโตต่อวันของโคที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	4.31194062	1.50	0.2087
Error	18	3.97575625		
Corrected Total	31	8.28769688		

R-Square	C.V.	ADG Mean
0.520282	39.50397	1.18968750

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	2.12695312	9.63	0.0061
ANIM(SQ)	6	1.23401875	0.93	0.4965
PERIOD	3	0.21423437	0.32	0.8085
TRT	3	0.73673437	1.11	0.3703

ตารางผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณอาหารหยาบในสภาพการเลี้ยงที่กินได้ของโคทดลองที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	42043.2459750	50.70	0.0001
Error	18	1148.1250250		
Corrected Total	31	43191.3710000		

R-Square	C.V.	FRER Mean
0.973418	11.84638	67.4175000

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	21.9122000	0.34	0.5651
ANIM(SQ)	6	696.0655000	1.82	0.1518
PERIOD	3	290.5850000	1.52	0.2438
TRT	3	41034.6832750	214.44	0.0001

ตารางผนวกที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณอาหารหยาบในสภาพแห้งที่กินได้ของโคทดลองที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	110.18767702	1.66	0.1570
Error	18	91.81156192		
Corrected Total	31	201.99923894		

R-Square	C.V.	DRYR Mean
0.545486	7.837584	28.8157706

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	0.99902434	0.20	0.6634
ANIM(SQ)	6	77.56645055	2.53	0.0588
PERIOD	3	14.03635345	0.92	0.4523
TRT	3	17.58584868	1.15	0.3562

ตารางผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณอาหารข้นในสภาพการเลี้ยงที่กินได้(FCON)ของโคทดลองที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	1004.59840000	32.20	0.0001
Error	18	43.19680000		
Corrected Total	31	1047.79520000		

R-Square	C.V.	FCON Mean
0.958774	4.451540	34.8000000

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	674.17920000	280.93	0.0001
ANIM(SQ)	6	224.68800000	15.60	0.0001
PERIOD	3	100.97440000	14.03	0.0001
TRT	3	4.75680000	0.66	0.5868

ตารางผนวกที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณอาหารข้นในสภาพแห้ง(DCON)ที่กินได้ของโคทดลองที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	781.50120572	32.20	0.0001
Error	18	33.60382744		
Corrected Total	31	815.10503316		

R-Square	C.V.	DCON Mean
0.958774	4.451540	30.6936000

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	524.46017998	280.93	0.0001
ANIM(SQ)	6	174.79018771	15.60	0.0001
PERIOD	3	78.55040915	14.03	0.0001
TRT	3	3.70042888	0.66	0.5868

ตารางผนวกที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณอาหารทั้งหมดในสภาพแห้งที่กินได้ (DMINT)ของโคทดลองที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	1089.85138196	9.88	0.0001
Error	18	152.69701608		
Corrected Total	31	1242.54839804		

R-Square	C.V.	DMINT Mean
0.877110	4.894335	59.5093706

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	479.67936219	56.54	0.0001
ANIM(SQ)	6	424.27294804	8.34	0.0002
PERIOD	3	157.09509938	6.17	0.0045
TRT	3	28.80397235	1.13	0.3627

ตารางผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักของโคทดลองที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	262.23360000	1.59	0.1770
Error	18	227.73380000		
Corrected Total	31	489.96740000		

R-Square	C.V.	FCR Mean
0.535206	46.63321	7.62750000

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	41.81551250	3.31	0.0857
ANIM(SQ)	6	199.27343750	2.63	0.0524
PERIOD	3	11.08287500	0.29	0.8306
TRT	3	10.06177500	0.27	0.8496

ตารางผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณอาหารหยาบที่กินได้ของโคทดลองที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	1.11135761	7.54	0.0001
Error	18	0.20415906		
Corrected Total	31	1.31551668		

R-Square	C.V.	Straw intake Mean
0.844807	8.524659	1.24931250

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	0.84975166	74.92	0.0001
ANIM(SQ)	6	0.14579911	2.14	0.0983
PERIOD	3	0.07716532	2.27	0.1154
TRT	3	0.03864152	1.14	0.3613

ตารางผนวกที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการกินได้ทั้งหมดต่อวันในสภาพแห้งที่กินได้ (%Dry matter intake) ของโคทดลองที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	1.04342500	5.50	0.0006
Error	18	0.26277500		
Corrected Total	31	1.30620000		

R-Square	C.V.	% DM intake Mean
0.798825	4.738224	2.55000000

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	0.71401250	48.91	0.0001
ANIM(SQ)	6	0.12533750	1.43	0.2571
PERIOD	3	0.14642500	3.34	0.0424
TRT	3	0.05765000	1.32	0.2999

ตารางผนวกที่ 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณอาหารที่กินได้ทั้งหมดต่อวันในสภาพแห้งที่กินได้ (Dry matter intake/day)ของโคทดลองที่ได้รับอาหารหยาบชนิดต่าง ๆ

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	13	17.04106250	9.87	0.0001
Error	18	2.39012500		
Corrected Total	31	19.43118750		

R-Square	C.V.	DMPD Mean
0.876995	4.898212	7.43937500

Source	DF	Anova SS	F Value	Pr > F
SQ	1	7.50781250	56.54	0.0001
ANIM(SQ)	6	6.61037500	8.30	0.0002
PERIOD	3	2.46786250	6.20	0.0044
TRT	3	0.45501250	1.14	0.3588