รหัสโครงการ SUT 3-302-43-24-29

รายงานการวิจัย

การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมักและอาหารสำเร็จรูปหมัก จากผลพลอยได้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับโคนม

(Ensiled Roughage and Total Mixed Ration Production from Agricultural By-products for Dairy Cattle Feeds)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT 3-302-43-24 -29

รายงานการวิจัย

การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมักและอาหารสำเร็จรูปหมัก จากผลพลอยได้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับโคนม

(Ensiled Roughage and Total Mixed Ration Production from Agricultural By-products for Dairy Cattle Feeds)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายสมนึก สอนนอก

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2543-2544

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการแต่เพียงผู้เดียว

พฤศจิกายน 2544

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยที่สนับสนุนสัตว์ทดลองและสถานที่ทำการทดลอง ขอขอบพระคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการสำหรับการวิเคราะห์ต่างๆ

ขอขอบคุณ นายบุญญฤทธิ์ มุ่งจองกลาง นายพิพัฒน์ เหลือง ลาวัณย์ และ นายเกียรติศักดิ์ ศรีพันธบุตร นักศึกษาระดับมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร ที่ช่วยดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ทั้งในส่วนของฟาร์มมหาวิทยาลัยและในส่วนของการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ขอขอบคุณ นายสุวิทย์ เพียสังกะ นางสมยง พิมพ์พรหม และนางสาวนวลปรางค์ อุทัยคา บุคลากรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้คำแนะนำการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือวิเคราะห์แก่นักศึกษาดังกล่าวข้างต้น

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดต่างๆที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นอาหารโคนม เมื่อทราบองค์ประกอบทางเคมีแล้วนำมาประกอบสูตรอาหารหยาบและอาหารผสมสำเร็จรูปหลายๆสูตร ทำการศึกษากรรมวิธีการหมักและอายุการเก็บรักษาอาหารหมัก วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะและคุณภาพของอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก สูตรต่างๆและในระยะเวลาต่างๆกัน ทำการคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุด นำไปทำการหมักในปริมาณมากๆ เพื่อนำไปศึกษาทดสอบในการเลี้ยงโครีดนมต่อไป

การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยการทดลอง 7 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ทำการศึกษามีความแตกต่างกัน ชานอ้อยจะมีองค์ประกอบของ CF, NDF และ ADF อยู่สูง มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรทอยู่สูง ในขณะที่กากรำสกัดน้ำมันและกากเบียร์มีโปรตีนสูง

การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และจัดการทดลองแบบ 8 x 3 Factorial โดยมีปัจจัย A เป็นสูตรอาหาร (8 สูตร) ซึ่งได้ใช้สารเสริมต่างชนิดกัน คือ ยูเรีย กากน้ำตาล และ แลคโตบาซิลลัส ปัจจัย B เป็นระยะเวลาการหมัก (2, 3 และ 4 สัปดาห์) พบว่า ในสูตรอาหารหยาบที่ใช้ยูเรียเป็นสารเสริมโดยไม่เสริมกากน้ำตาลที่ระยะเวลาการหมัก 2 สัปดาห์ มีการสูญเสียวัตถุแห้ง โปรตีน และมีระดับความเป็นกรด-ด่างในระดับที่สูง เมื่อนำปริมาณกรดไขมันระเหยได้มาคำนวณคะแนนของ Flieg เพื่อตัดสินคุณภาพอาหารหยาบหมัก พบว่า ในสูตรที่เสริมยูเรียและไม่ได้เสริมกากน้ำตาลที่ระยะเวลาการหมัก 2 สัปดาห์ จะให้คะแนน Flieg ต่ำ ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพไม่ดี ส่วนสูตรที่เสริมกากน้ำตาลและเสริมร่วมกับยูเรีย หรือไม่เสริมยูเรีย จะได้คะแนนของ Flieg สูง ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพที่ดีถึงดีมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในการผลิตอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรควรมีการเสริมกากน้ำตาลเพื่อกระตุ้นกระบวนการหมัก และควรเสริมร่วมกับยูเรียเพื่อลดต้นทุนการผลิต

การทดลองที่ 3 ศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารหยาบหมักจนกระทั่งถึง 6 เดือน โดยจัดแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) พบว่า เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดบิวทีริค ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนปริมาณกรดแลคติคลดลงในเดือนที่ 4 แต่ไม่แตกต่างจากเดือนที่ 5 และ 6 ส่วนปริมาณกรดอะเซติกมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษา เมื่อนำสัดส่วนของกรดไขมันระเหยได้มาคำนวณคะแนนตัดสินคุณภาพ พบว่า ในเดือนที่ 1-3 มีคุณภาพดีมาก และในเดือนที่ 4-6 มีคุณภาพดี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 6 เดือน

การทดลองที่ 4 การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารหยาบหมักต่อการให้ผลผลิตน้ำนมในโครีดนมระยะต้นของการให้นม โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน จำนวน 18 ตัว โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 มีโคนม 8 ตัว (ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อดำเนินการทดลองไป 1-2 สัปดาห์ มีโคนมในกลุ่มนี้ 2 ตัว เกิดเจ็บป่วย จึงจำเป็นต้องคัดออกจากการทดลอง) เป็นกลุ่มที่โคนมได้รับอาหารหยาบหมักเป็นอาหารหยาบ และกลุ่มที่ 2 มีโคนม 10 ตัว เป็นกลุ่มที่โคนมได้รับหญ้าสดเป็นอาหารหยาบ จัดการทดลองแบบ Group comparison จัดกลุ่มแบบ Stratified random balance group โดยมีปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 16.1±4.7 และ 16.2±3.2 กิโลกรัม/ตัว/วัน คลอดมาแล้วเฉลี่ย 75±20 และ 65±29 วัน น้ำหนักตัวเฉลี่ย 427±62 และ 439±48 กิโลกรัม ในกลุ่มการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ งานวิจัยครั้งนี้ พบว่า การกินได้ DM, CP, EE และ NFE ของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักสูงกว่า ($p<0.001$) โคนมที่ได้รับหญ้าสด ในขณะที่โคนมที่ได้รับหญ้าสดมีการกินได้ CF และ ADF สูงกว่า ($p<0.01$) สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารหยาบหมัก การย่อยได้โปรตีนและไขมันของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักสูงกว่าโคนมที่ได้รับหญ้าสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ ($p<0.01$) อย่างไรก็ตามการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรสามารถนำมาใช้เลี้ยงโคนมได้เป็นอย่างดีเทียบเท่ากับหญ้าสด

การทดลองที่ 5 ศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยจัดแผนการทดลองแบบ 5 x 3 Factorial arrangement in CRD โดยมีปัจจัย A เป็นสูตรอาหารสำเร็จรูปหมัก (5 สูตร) ปัจจัย B เป็นระยะเวลาการหมัก (14, 21 และ 28 วัน) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารสำเร็จรูปหมักเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การย่อยสลายวัตถุแห้งในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามสูตรที่อาหารที่มีมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบเพิ่มขึ้น ส่วนการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก และระดับความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้นตามสูตรอาหารที่มียูเรียเป็นส่วนประกอบเพิ่มขึ้น เมื่อนำปริมาณกรดไขมันระเหยได้มาคำนวณคะแนนตัดสินคุณภาพ พบว่ามีคะแนนอยู่ในระดับเดียวกัน คือ ดีมาก งานวิจัยครั้งนี้จึงสรุปได้ว่า อาหารสูตรที่ 5 ที่ระยะเวลาการหมัก 14 วัน เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด เพราะมีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีนในกระเพาะหมักดีที่สุด

การทดลองที่ 6 ศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 1-6 เดือน โดยจัดแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยคัดเลือกสูตรอาหารจากการทดลองที่ 5 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ยกเว้น NDF และ ADF เพิ่มขึ้น ($p<0.05$ และ $p<0.01$ ตามลำดับ) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เมื่อทำการคำนวณคะแนนตัดสินคุณภาพอาหารหมักสำเร็จรูปหมักที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ดังนั้จึงสามารถสรุปได้ว่าอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานไม่ต่ำกว่า 6 เดือน

การทดลองที่ 7 ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน จำนวน 16 ตัว ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 14.5±3.6 กิโลกรัม/ตัว/วัน คลอดมาแล้วเฉลี่ย 73±28 วัน น้ำหนักตัวก่อนการทดลองเฉลี่ย 420±52

กิโลกรัม จัดการทดลองแบบ Group comparison แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ตัว แบบ Stratified random balance group ตามปริมาณน้ำนม ระยะการให้นม และน้ำหนักตัว โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปโดยมีหญ้าหมักเป็นอาหารหยาบ กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก งานวิจัยครั้งนี้พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 1 มีการกินได้วัตถุแห้ง และพลังงานสูงกว่ากลุ่มที่ 2 ($p<0.05$ และ $p<0.01$ ตามลำดับ) ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมในโคกลุ่มการทดลองที่ 1 มากกว่าโคในกลุ่มการทดลองที่ 2 ($p<0.01$) จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า อาหารผสมสำเร็จรูปหมักยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากโคกินอาหารผสมสำเร็จรูปหมักน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสูญเสียความชื้นระหว่างการหมักมาก ทำให้คุณภาพอาหารหมักไม่ค่อยดีเท่าที่ควร และยังส่งผลให้ผลผลิตน้ำนมลดลง ควรมีการศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารสำเร็จรูปหมักโดยเฉพาะในระดับ Large scale

Abstract

The present researches aimed to study the ensiled roughage and the ensiled complete feed production from agricultural by-products for dairy cattle in Thailand. This study comprised 7 experiments the first experiment determined chemical composition and dry matter degradability of various agricultural by-products. The results showed values within the same range generally reported. There were differences in nutritional composition among agricultural by-products. Bagasse had higher CF, NDF and ADF percentage than other by-products. Cassava chip and cassava meal had higher NFE. The protein percentage were higher in extracted rice bran and brewers' grain.

The second experiment studied the processing of the ensiled roughage. The experimental design was a 8 x 3 factorial arrangement, which factor A was the ensiled roughage formula (8 formula) with varying in molasses, urea and *Lactobacillus* sp. and factor B was time of ensilage (2, 3 and 4 weeks). This research found that the ensiled roughage with urea addition but without molasses at 2 weeks ensilage showed higher loss in DM and CP and showed higher in pH. By using 'Flieg scoring' which related to VFA ratio, the ensiled roughage with urea addition but without molasses at 2 weeks fermentation gave the low value and classified as bad quality. However, the ensiled roughage with molasses addition with or without urea gave a high 'Flieg score' and classified as good to very good quality. In conclusion, when the ensiled roughage production from agricultural by-products was made, the molasses should be added to enhance microbial fermentation and urea should also be added to reduce the cost of the ensiled roughage.

The third experiment was carried out to investigate the quality of the ensiled roughage (2^{nd} ensiled roughage from Exp. 2) after being storage for 6 months. The experimental design was a CRD arrangement. Samples were taken at 1-month interval up to 6 months and were subjected to laboratory analyses. The results showed no significant ($p>0.05$) difference in DM percentage, in pH and butyric acid level. Lactic acid level decreased with increasing time of storage while acetic acid level increased with increasing time of storage. Bu using 'Flieg scoring' which related to VFA ratio, the quality of 1-3 months storage was very good while that of 4-6 months storage was good. In conclusion, this experiment indicated that the ensiled roughage could be stored more than 6 months.

The forth experiment was conducted to investigate the effect of ensilage roughage on the performances of dairy cows during early lactation. Twenty-eight crossbred Holstein-Friesian lactating cows were stratified random balanced into two groups based on milk production, days in milk and liveweight. Due to sickness of 2 cows during the 1^{st}-2^{nd} week, the experiment, therefore, carried out

with 8 cows in the first group and 10 cows in the second group with averaging 16.1±4.7 and 16.2±3.2 kg milk/cow/day; 75±20 and 65±29 days in milk; and 427±62 and 439±48 kg liveweight. The first group was fed the ensiled roughage while another group was fed fresh grass. The cows on the ensiled roughage group consumed more DM, CP, EE and NFE than those cows on fresh grass. However, the cows on fresh grass consumed higher CF and ADF than cows on the ensiled roughage. The digestibility of CP and EE of cows on the ensiled roughage was significantly higher than such digestibility of cows on fresh grass. There were no significant difference ($p>0.05$) in milk production and liveweight change between the two groups. It can be concluded that the ensiled roughage can be fed to dairy cows and resulted in reasonable milk yield when compared to fresh grass.

The fifth experiment . was conducted to investigate the chemical composition and degradability of various ensiled complete feeds with varying ensilage time. The experimental design was a 5 x 3 factorial arrangement in CRD, which factor A was complete feed formula with varying in urea addition and factor B was time of ensilage. Chemical composition changed little with time and slightly varied among levels of urea. DM degradability increased with increasing cassava level while CP degradability and pH level increased with increasing urea addition. By using 'Flieg scoring' which related to VFA yields, there were no significant difference among ensiled complete feeds and times of ensilage. Therefore, it can be concluded, in this experiment, that the 5th ensiled complete feed is more appropriate since its DM and CP degradability were highest.

The sixth experiment was carried out to determine the quality of the 5th ensiled complete feeds (Exp. 5) after being storage for 6 months. The experimental design was a CRD arrangement. Samples were taken at 1-month interval up to 6 months and were subjected to laboratory and degradability analyses. The results showed no significant ($p>0.05$) difference in chemical composition except for increased NDF and ADF percentage in association with increasing time of storage. By using 'Flieg scoring' which related to VFA yields, there were no significant difference ($p>0.05$) among time of storage. In conclusion, this experiment showed that the ensiled complete feed can be stored for more than 6 months.

The final experiment was conducted to investigate the effect of ensiled complete feed on performances of dairy cows in early lactation. Sixteen Holstein-Friesian crossbred lactating cows, with averaging 14.5±3.6 kg milk/day, 73±28 days in milk and 420±52 kg liveweight, were stratified random balanced into two groups (8 cows in each group). The first group was fed meal concentrate together with grass silage as complete feed while the second group was fed the ensiled complete feed. The cows in the first group consumed more DM and ME than those cows in the second group. Milk

yields and milk compositions were also higher in Group 1 than in Group 2. It can be concluded in the present study that the ensiled complete feed was not appropriate for feeding to the lactating cows. However, before further conclusion will be made, more researches are needed particularly on the method of producing the large scale ensiled complete feed.

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ฐ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
	1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	3
บทที่ 2	การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 ผลพลอยได้ทางการเกษตร	4
	2.1.1 ชานอ้อย	4
	2.1.2 มันสำปะหลัง	6
	2.1.3 กากมันสำปะหลัง	7
	2.1.4 กากรำสกัดน้ำมัน	7
	2.1.5 กากเบียร์	8
	2.1.6 กากถั่วเหลือง	9
	2.1.7 กากน้ำตาล	9
	2.2 การปรับปรุงผลพลอยได้ทางการเกษตรโดยวิธีการหมัก	10
	2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการหมัก	10
	2.2.2 จุลินทรีย์ของพืชอาหารหมัก	10
	2.2.3 กระบวนการหมักของอาหารหมัก	11
	2.2.4 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระยะการหมัก	13
	2.2.5 การสูญเสียโภชนะในช่วงการหมัก	14
	2.2.6 คุณค่าทางอาหารของอาหารหมัก	16
	2.3 การผลิตอาหารหมักโดยใช้สารเสริม	16
	2.3.1 ประเภทของสารเสริมในพืชอาหารหมัก	16
	2.3.2 ผลของการใช้สารเสริมในพืชอาหารหมัก	17
	2.4 อาหารผสมสำเร็จรูป	32

2.4.1 แหล่งของอาหารหยาบและอาหารข้น..... 32
2.4.2 สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น..... 33
2.4.3 ขนาดของเยื่อใยในอาหารผสมสำเร็จรูป..... 33
2.4.4 ผลของอาหารสำเร็จรูปต่อโคนม..... 34
2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกินอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง..... 34
2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยได้อาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง..... 38
2.7 การสังเคราะห์น้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม..... 41
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย..... 44
บทที่ 4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของผลพลอยได้. 46
4.1 คำนำ..... 46
4.2 วัตถุประสงค์..... 46
4.3 อุปกรณ์และวิธีการ..... 46
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 48
4.5 ผลการทดลอง..... 48
4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร..... 48
4.5.2 การย่อยสลายวัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตร..... 48
4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง..... 49
4.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร..... 49
4.6.2 การย่อยสลายวัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตร..... 51
4.7 สรุปผลการทดลอง..... 52
บทที่ 5 กรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมัก..... 53
5.1 คำนำ..... 53
5.2 วัตถุประสงค์..... 53
5.3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... 53
5.4 การทดสอบสมมุติฐาน..... 54
5.5 ผลการทดลอง..... 54
5.5.1 การประกอบสูตรอาหารหมัก..... 54
5.5.2 การตรวจสอบคุณภาพของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้..... 56
5.6 วิจารณ์ผลการทดลอง..... 59
5.7 สรุปผลการทดลอง..... 62
บทที่ 6 การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร.. 63

6.1 คำนำ..... 63
6.2 วัตถุประสงค์..... 63
6.3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... 63
6.4 การทดสอบสมมุติฐาน..... 64
6.5 ผลการทดลอง..... 64
6.5.1 การประกอบสูตรอาหารหมัก..... 64
6.5.2 การตรวจสอบคุณภาพของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้..... 64
6.6 วิจารณ์ผลการทดลอง..... 67
6.7 สรุปผลการทดลอง..... 69
บทที่ 7 การศึกษาผลของการให้ผลผลิตของโครีดนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยนที่ได้รับอาหารหยาบหมักเปรียบเทียบกับหญ้าสด..... 70
7.1 คำนำ..... 70
7.2 วัตถุประสงค์..... 70
7.3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... 70
7.3.1 ศึกษาผลของการนำอาหารหยาบหมักใช้เลี้ยงโคนม..... 70
7.3.2 การศึกษาการย่อยทั้งหมด...(Total Collection)..... 72
7.4 การทดสอบสมมุติฐาน..... 74
7.5 ผลการทดลอง..... 74
7.5.1 ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารที่ใช้เลี้ยงโคนม..... 74
7.5.2 การกินได้อาหารและโภชนะต่างๆของโคนม..... 74
7.5.3 การกินได้และการย่อยได้ *in vivo* 76
7.5.4 การให้ผลผลิตของโคนม..... 78
7.5.5 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารรวม. 79
7.6 วิจารณ์ผลการทดลอง..... 82
7.7 สรุปผลการทดลอง..... 86
บทที่ 8 การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารสำเร็จรูปหมัก..... 87
8.1 คำนำ..... 87
8.2 วัตถุประสงค์..... 87
8.3 อุปกรณ์และวิธีการ..... 87
8.4 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 89
8.5 ผลการทดลอง..... 89
8.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก..... 89

8.5.2 การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารสำเร็จรูปหมัก..... 90
8.5.3 การย่อยสลายโปรตีนของอาหารสำเร็จรูปหมัก..... 91
8.5.4 ปริมาณ VFAs ของอาหารสำเร็จรูปหมัก..... 91
8.5.5 การคัดเลือกสูตรอาหารที่ดีที่สุดในการผลิตอาหารสำเร็จรูปหมัก... 92
8.6 วิจารณ์ผลการทดลอง..... 92
8.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก..... 92
8.6.2 การย่อยสลายวัตถุแห้งและโปรตีนของอาหารสำเร็จรูปหมัก..... 93
8.6.3 ปริมาณ VFAs ของอาหารสำเร็จรูปหมัก..... 94
8.7 สรุป..... 94
บทที่ 9 การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารสำเร็จรูปหมัก... 95
9.1 คำนำ..... 95
9.2 วัตถุประสงค์..... 95
9.3 อุปกรณ์และวิธีการ..... 95
9.4 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 96
9.5 ผลการทดลอง..... 96
9.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก..... 96
9.5.2 ระดับความเป็นกรด-ด่างของอาหารสำเร็จรูปหมัก..... 97
9.5.3 ปริมาณ VFAs ของอาหารสำเร็จรูปหมัก..... 97
9.6 วิจารณ์ผลการทดลอง..... 98
9.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก..... 98
9.6.2 ระดับความเป็นกรด-ด่างของอาหารสำเร็จรูปหมัก..... 99
9.6.3 ปริมาณ VFAs ของอาหารสำเร็จรูปหมัก..... 100
9.7 สรุป..... 100
บทที่ 10 การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม..... 101
10.1 คำนำ..... 101
10.2 วัตถุประสงค์..... 101
10.3 อุปกรณ์และวิธีการ..... 101
10.3.1 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของชานอ้อย..... 101
10.3.2 แผนการทดลองและการจัดการให้อาหาร...)..... 102
10.3.3 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล..... 103
10.3.4 การศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของอาหารผสม..... 103

10.3.5 ศึกษาการย่อยได้ของอาหารผสมสำเร็จรูปโดยวิธีชั่งน้ำหนัก..... 104
10.4 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 105
10.5 ผลการทดลอง..... 105
10.5.1 องค์ประกอบทางทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป..... 105
10.5.2 การกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป..... 105
10.5.3 การย่อยได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป..... 106
10.5.4 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม..... 107
10.5.5 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม..... 108
10.5.6 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง..... 109
10.5.7 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหาร.... 109
10.6 วิจารณ์ผลการทดลอง..... 111
10.6.1 องค์ประกอบทางทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป..... 111
10.6.2 การกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป..... 112
10.6.3 ปริมาณน้ำนมและส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม..... 113
10.6.4 การได้รับโปรตีนจากอาหาร โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะ.. 114
10.6.5 การจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ..... 115
10.7 สรุป..... 115
บทที่ 11 บทสรุป 116
บรรณานุกรม 118

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงชนิดของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคที่พบในอาหารหมัก.....	11
ตารางที่ 2.2	แสดงเส้นทางของกระบวนการหมักในการทำพืชอาหารสัตว์.....	15
ตารางที่ 2.3	แสดงการจำแนกชนิดของสารเสริมในอาหารหมัก.....	18
ตารางที่ 2.4	แสดงผลของกากน้ำตาลต่อคุณภาพกระถินหมัก.....	24
ตารางที่ 4.1	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร.....	48
ตารางที่ 4.2	แสดงการย่อยสลายวัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตรในกระเพาะ..	49
ตารางที่ 5.1	แสดงการประกอบสูตรอาหารหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร.....	55
ตารางที่ 5.2	แสดงส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้.....	55
ตารางที่ 5.3	แสดงการตรวจวัดคุณภาพของอาหารหยาบหมัก.....	57
ตารางที่ 5.4	แสดงผลการย่อยสลายภายในกระเพาะรูเมนของวัตถุแห้งของอาหารหยาบ	58
ตารางที่ 6.1	แสดงการประกอบสูตรอาหารหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร.....	65
ตารางที่ 6.2	แสดงส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้.....	65
ตารางที่ 6.3	แสดงการตรวจวัดคุณภาพอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการ.....	66
ตารางที่ 7.1	แสดงส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารที่ใช้เลี้ยงโคนม.....	75
ตารางที่ 7.2	แสดงส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารรวมที่โคได้รับ.....	75
ตารางที่ 7.3	แสดงการกินได้อาหารของโคนม.....	76
ตารางที่ 7.4	แสดงการกินได้และการย่อยได้ *in vivo* ของอาหารโคนม.....	77
ตารางที่ 7.5	แสดงผลการให้ผลผลิตของโคนม.....	78
ตารางที่ 7.6	แสดงการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนและไม่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน....	81
ตารางที่ 7.7	แสดงการจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ.....	82
ตารางที่ 8.1	แสดงสูตรอาหารที่ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการหมัก.....	88
ตารางที่ 8.2	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก.....	95
ตารางที่ 8.3	แสดงการย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก.....	96
ตารางที่ 8.4	แสดงการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก.....	97
ตารางที่ 8.5	แสดงปริมาณ VFAs ในอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก.....	98
ตารางที่ 9.1	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลา...	101
ตารางที่ 9.2	แสดงปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บ	102
ตารางที่ 10.1	แสดงสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ในการเลี้ยงโคนม.....	106
ตารางที่ 10.2	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป.....	110
ตารางที่ 10.3	แสดงผลการกินได้ของอาหารผสมสำเร็จรูป.....	110

ตารางที่ 10.4	แสดงการย่อยได้ *in vivo* โดยวิธี Total collection method ของอาหารผสม	111
ตารางที่ 10.5	แสดงปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม.....	112
ตารางที่ 10.6	แสดงผลเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม.....	112
ตารางที่ 10.7	แสดงผลน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง.....	113
ตารางที่ 10.8	แสดงการได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และ	114
ตารางที่ 10.9	แสดงการจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ (MJ/วัน).....	114
ตารางที่ 10.10	แสดงความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และ...	115

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

อุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมในเชิงการค้าได้เริ่มอย่างจริงจัง เมื่อประมาณ 40 ปีมานี้ และในช่วง 4 ทรรศวรรษที่ผ่านมาจำนวนประชากรของโคนมได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกทั้งรัฐบาลยังได้มีการส่งเสริมให้การเลี้ยงโคนมเป็นโครงการที่ควรได้รับการพัฒนาตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 (2545 – 2549) ซึ่งได้มีการพิจารณาการเพิ่มจำนวนโคนมไว้ด้วย การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโคนมอย่างรวดเร็วนี้ ทำให้มีความต้องการพื้นที่ในการปลูกสร้างทุ่งหญ้าเพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันในภาคธุรกิจอื่นๆ ก็มีความต้องการพื้นที่เช่นกัน จึงทำให้เกิดการแข่งขันการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ดิน ซึ่งเป็นสาเหตุให้การผลิตอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ไม่เพียงพอต่อการบริโภคสำหรับโคนมที่มีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นทุกวัน อีกทั้งปัญหาการขาดการชลประทานสำหรับปลูกสร้างทุ่งหญ้าให้เพียงพอกับความต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง (ธันวาคม – พฤษภาคม) การขาดแคลนอาหารหยาบสำหรับใช้เลี้ยงโคนมจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาใช้เป็นอาหารสำหรับใช้เลี้ยงโคนมจึงได้รับความสนใจมากเป็นอย่างยิ่ง ผลพลอยได้ทางการเกษตรส่วนใหญ่ที่เป็นแหล่งอาหารหยาบจะมีองค์ประกอบทางโภชนะ และการใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์ค่อนข้างต่ำ การที่จะนำมาใช้ควรที่จะมีการปรับปรุงคุณภาพให้มีโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์สูงขึ้น จึงจะสามารถนำผลพลอยได้จากทางการเกษตรมาใช้สำหรับโคนมในช่วงที่ฤดูขาดแคลนได้

ผลพลอยได้ทางการเกษตรที่เป็นแหล่งอาหารหยาบมีมากมายหลายชนิด เช่น ฟางข้าว ใบมันสำปะหลัง ยอดอ้อย และชานอ้อย เป็นต้น ผลพลอยได้ทางการเกษตรเหล่านี้มีองค์ประกอบทางโภชนะค่อนข้างต่ำ และการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ทางการเกษตรของสัตว์นั้นยังไม่ดีนัก ดังนั้นการที่จะนำมาเป็นอาหารสัตว์จึงต้องทำการปรับปรุงให้มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ให้ดีเสียก่อน เพื่อที่จะทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ทางการเกษตรได้ดีมากขึ้น การปรับปรุงคุณภาพนั้นมีมากมายหลายวิธี แต่ส่วนใหญ่เป็นการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวเป็นหลัก ส่วนการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้อื่นๆ นั้นมีน้อยมาก โดยเฉพาะชานอ้อย ซึ่งจะมีรายงานเฉพาะในประเทศที่มีการปลูกอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจหลักเท่านั้น เช่น คิวบา อินเดีย เปอร์โตริโก และ ฟิลิปปินส์ ซึ่งส่วนใหญ่มุ่งเน้นการปรับปรุงคุณภาพเฉพาะทางด้านทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ แต่การปรับปรุงผลพลอยได้ทางการเกษตรด้วยกรรมวิธีการหมักนั้นยังไม่มีการศึกษา ดังนั้นจึงต้องมีการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ที่มีองค์ประกอบทางโภชนะที่สูงมาร่วมใช้ในการปรับปรุงร่วมด้วย เช่นแหล่งพลังงาน ได้แก่ มันสำปะหลังตากแห้ง กากมันสำปะหลัง กากรำสกัด

น้ำมัน กากน้ำตาล และแหล่งโปรตีน ได้แก่ กากเบียร์ กากถั่วเหลือง และยูเรีย ซึ่งผลพลอยได้ทางการเกษตรเหล่านี้มีศักยภาพในการนำมาผลิตอาหารหยาบหมัก หรืออาหารผสมสำเร็จรูปหมักทั้งในด้านมีปริมาณมาก และมีราคาถูก

อย่างไรก็ตามการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาทำเป็นอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสำหรับใช้เป็นอาหารโคนมนั้นน่าจะเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ การทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลการนำเอาผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารหยาบหมัก และอาหารผสมสำเร็จรูปหมักเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบทางโภชนะของผลพลอยได้ทางการเกษตร

1.2.2 เพื่อทำการคัดเลือกผลพลอยได้ทางการเกษตร ที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสำหรับใช้เลี้ยงโคนม

1.2.3 เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรให้มีองค์ประกอบทางโภชนะเหมาะสมสำหรับใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงโคนม

1.2.4 เพื่อศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ที่ผลิตจากผลพลอยได้ทางการเกษตร

1.2.5 เพื่อศึกษาผลของการให้ผลผลิตน้ำนมของโครีดนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักหรืออาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยเปรียบเทียบกับโครีดนมที่ได้รับพืชหมักหรืออาหารสัตว์คุณภาพดีและอาหารข้นสำเร็จรูป

1.2.6 เพื่อใช้ผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วเป็นอาหารในช่วงฤดูแล้งสำหรับโครีดนม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงการผลิตอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรเพื่อใช้เลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้ง

1.3.2 การวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาเฉพาะผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพพอที่จะนำมาผลิตเป็นอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมักได้ในเชิงพานิชย์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 ทราบถึงองค์ประกอบทางโภชนะของผลพลอยได้ทางการเกษตร

1.4.2 สามารถคัดเลือกผลพลอยได้ทางการเกษตร ที่มีคุณค่าทางโภชนะ และศักยภาพในการนำมาผลิตอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสำหรับใช้เลี้ยงโคนม

1.4.3 ทราบถึงกรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก จากผลพลอยได้ทางการเกษตรให้มีองค์ประกอบทางโภชนะเหมาะสมสำหรับใช้เป็นอาหารเลี้ยงโคนม

1.4.4 ทราบถึงระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ที่ผลิตจากผลพลอยได้ทางการเกษตร

1.4.5 ทราบถึงปัญหาของการใช้อาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร เพื่อใช้เลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้ง

บทที่ 2

การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลพลอยได้ทางการเกษตร

2.1.1 ชานอ้อย

อ้อยเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ผลิตน้ำตาลทรายในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทราย ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายจะเริ่มตั้งแต่นำอ้อยเข้าชั่งน้ำหนัก แล้วเทลงสะพานอ้อยเพื่อนำสู่มีดตัดและเครื่องตีอ้อยให้เป็นฝอยต่อจากนั้นจึงนำอ้อยมาหีบเพื่อสกัดเอาน้ำอ้อยออกมา ส่วนที่เหลือจากการสกัดน้ำอ้อยในขั้นตอนนี้ เรียกว่า ชานอ้อย (Bagasses) ส่วนของน้ำอ้อยจะนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์และกรองเอาสิ่งสกปรกออก แล้วนำไปต้มเพื่อระเหยน้ำออก ซึ่งจะได้น้ำอ้อยเป็นในลักษณะน้ำเชื่อม จากนั้นทำการเคี่ยวจนเป็นผลึกในหม้อเคี่ยวส่วนผสมในขั้นตอนนี้ เรียกว่า แมสซีควิท (Massecuite) จะถูกนำเข้าหม้อปั่นความเร็วสูง (Centrifuge) เพื่อแยกผลึกน้ำตาลออกจากของเหลว (กากน้ำตาล) ซึ่งนิยมทำการปั่นแยกผลึกน้ำตาล 3 ครั้งเพื่อที่จะแยกผลึกน้ำตาลออกจากกากน้ำตาลได้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นโดยจะทำให้ได้น้ำตาลทรายและกากน้ำตาลออกมาในระหว่างการปั่นเหวี่ยงทั้ง 3 ครั้ง คือ น้ำตาลทรายเกรดเอ (A Sugar) น้ำตาลทรายเกรดบี (B Sugar) และ น้ำตาลทรายเกรดซี (C Sugar) นอกจากนี้ยังได้กากน้ำตาลออกมา 3 เกรดเช่นกันคือ กากน้ำตาลเกรดเอ (A Molasses) กากน้ำตาลเกรดบี (B Molasses) และกากน้ำตาลเกรดซี (C Molasses) น้ำตาลทรายที่ได้เป็นน้ำตาลทรายดิบและจะนำไปผลิตเป็นน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ต่อไป (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2528)

ชานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร จากการผลิตน้ำตาล ถึงแม้ว่ามีคุณค่าทางโภชนะที่ค่อนข้างต่ำ คือมีโปรตีนประมาณ 2 – 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีการย่อยได้ 25 – 35 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมาณมากพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารหยาบได้ โดยที่การใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบ 1 ตันจะได้ชานอ้อย 300 กิโลกรัม หรือ ประมาณ 30เปอร์เซ็นต์ของอ้อยเข้าหีบทั้งหมด (จุฑามาศ บุญแย้ม, 2539)

ชานอ้อยเป็นส่วนเส้นใยของลำต้นที่ทำการบีบคั้นน้ำออกไปแล้ว ซึ่งจะประกอบไปด้วยความชื้น (Moisture) 46-52 เปอร์เซ็นต์, เยื่อใย (Fiber) 43-52 เปอร์เซ็นต์ และของแข็งที่ละลายได้ (Brix) 2-6 เปอร์เซ็นต์ (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาการผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, 2541) โดยจะเห็นได้ว่าชานอ้อยจะมีคุณภาพที่ค่อนข้างต่ำ การนำมาใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงโคนมโดยตรงจึงทำให้สัตว์ได้รับโภชนะได้ไม่เพียงพอกับความต้องการ ดังนั้นการนำเอาชานอ้อยมาใช้ประโยชน์ อาจทำได้โดยการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะ โดยการเสริมด้วยอาหารที่มีพลังงาน และ

โปรตีนอยู่สูง เพื่อให้เกิดสมดุลทางโภชนะ (Balanced nutrient) และเพิ่มความน่ากิน (Palatability) โดยวิธีทางเคมี และทางชีวภาพ เพื่อเพิ่มการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DM digestibility) และเพิ่มโปรตีน และนอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์สำเร็จรูป (Complete feeds) (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2540)

ชานอ้อยมี ส่วนประกอบของ Lignocellulosic materials มีการสะสมของลิกนิน (Lignin) และเซลลูโลส (Cellulose) ที่อยู่ในรูปของผลึก (Crystalline cellulose) มีคุณสมบัติป้องกันการเข้าย่อยสลายเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โดยเอนไซม์ที่ขับออกมาจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักของโคนม (Rumen micro-organisms) ส่วนของเยื่อใยของชานอ้อยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) ประมาณ 47 เปอร์เซ็นต์ เพนโตเฟน (Pentophan) ประมาณ 25.1 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน (Lignin) ประมาณ 19.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของเซลลูโลสจะเป็นโพลิเมอร์ (Polymer) ของ เบต้ากลูโคส (β-Glucose) ต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1-4 ไกลโคซิดิก (β, 1-4, Glycosidic Bond) สูตรโครงสร้าง $(C_6H_{10}O_5)_n$ ซึ่งจะพบอยู่รวมกับเพนโตเพน และลิกนิน โดยทั่วไปแล้วสัตว์ไม่สามารถย่อยสลายได้เอง จำเป็นที่ต้องอาศัยเอ็นไซม์จากจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย อย่างไรก็ตามถือได้ว่าชานอ้อยเป็นแหล่งเยื่อใยที่มีปริมาณมากจำต้องมีการปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้เลี้ยงโคนม การปรับปรุงคุณภาพผลพลอยได้ทางการเกษตรมีวิธีการต่างๆ มากมาย หลายวิธีด้วยกันคือ วิธีทางกายภาพ (Physical treatment) วิธีที่นิยมกันมากคือ การตัด หรือหั่น (Chopping) การบด และการอัดเม็ด (Grinding and Pelleting) และการจุ่มน้ำ หรือแช่น้ำ (Soaking/Wetting) การหั่นเป็นท่อนสั้นๆ จะทำให้การกินได้เพิ่มขึ้น วิธีทางเคมี (Chemical treatment) เป็นวิธีที่นิยม สารที่ใช้ได้แก่ สารที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง (Treatment with alkali) ด่างและน้ำจะทำให้เส้นใยพองตัวขึ้น และช่วยย่อยสลายพันธะระหว่างลิกนินกับเซลลูโลส ทำให้น้ำย่อยเซลลูเลส (Cellulase) จากจุลินทรีย์เข้าไปย่อยเยื่อใยเซลลูโลสได้มากขึ้น วิธีทางกายภาพ-เคมี (Physico -chemical) และวิธีทางชีวภาพ (Biological treatment) ได้แก่ การหมักย่อยด้วยเชื้อราบางชนิด (Ensilage) การใช้เอนไซม์ (Enzyme additions) เป็นต้น (Doyle et al, 1986)

ซึ่งรายละเอียดวิธีการปรับปรุงคุณภาพผลพลอยได้ทางการเกษตรด้วยวิธีการต่างๆ ดังกล่าวได้มีรายงานโดยนักวิจัยหลายๆ ท่าน เช่น Ibrahim and Pearce (1983); Sundtol (1984); Wanapat et al, (1985); Doyle et al, (1986) และ Cabello (1994) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาถึงวิธีการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมักเพื่อใช้เป็นอาหารเลี้ยงโคนม และการที่จะผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจำเป็นต้องมีการเสริมแหล่งโปรตีนและพลังงานชนิดอื่นๆ เพื่อให้มีความสมดุลทางโภชนะ

ผลพลอยได้ทางการเกษตรที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานและโปรตีนเพื่อใช้ในการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักนั้น คือ แหล่งพลังงาน ได้แก่ มันเส้น (เป็นผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง

อาหารผสมสำเร็จรูปหมัก) กากรำสกัดน้ำมัน กากน้ำตาล และแหล่งโปรตีน ได้แก่ กากเบียร์ กากถั่วเหลือง ซึ่งผลพลอยได้ทางการเกษตรเหล่านี้มีศักยภาพในการนำมาผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักทั้งในด้านมีปริมาณมาก และมีราคาถูก

2.1.2 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเส้น เรียกกันสั้นๆว่า มันเส้น การผลิตทำโดยนำมันสำปะหลังสดมาหั่นเป็นชิ้นๆ แล้วตากให้แห้ง มันเส้นเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด และทำมันสำปะหลังป่น การผลิตมันเส้นในประเทศไทย หัวมันสดจะถูกขนส่งไปยังลานตากโดยรถบรรทุก และจะกองไว้ใกล้ๆ กับเครื่องหั่น (root cutter) จากนั้นจะขนมันสำปะหลังเข้าเครื่องหั่นโดยไม่ต้องล้างทำความสะอาด แต่จะมีการเขย่าดินและโคลนที่ติดมาให้หลุดออก การปนของทรายที่ติดอยู่จะมากน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และสภาพภูมิอากาศ โดยที่ถ้าเป็นดินเหนียวจะมีโอกาสปนได้มากกว่าดินทราย และถ้าขุดในฤดูฝนจะมีดินติดหัวมันสำปะหลังมากกว่าในฤดูร้อน ทำให้มันเส้นในประเทศมีทรายผสมอยากมากเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ (สุรพงษ์ เจริญรัก, 2525)

การหั่นมันเส้นโดยเครื่องหั่นมันเส้นในประเทศไทย ประกอบไปด้วยจานหมุนรูปวงกลมชนิดยาว ซึ่งถูกปรับแต่งให้เป็นใบมีดที่อยู่ภายใน ด้านหน้าของเครื่องสามารถปิดเปิดได้ เครื่องหั่นมันสามารถปรับเพื่อหั่นมันขนาดต่างๆ ได้ โดยการเลื่อนใบมีดที่จานให้ชิดเข้าเครื่องตัดมุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า การหมุนจานหั่นจะหมุนด้วยความเร็ว 291 รอบต่อนาที การป้อนมันสำปะหลังสดเข้าเครื่องตัดสามารถกระทำได้ด้วยสายพาน โดยให้สายพานพามันขึ้นสู่เครื่องหั่นในอัตรา 13 รอบต่อนาที (สุรพงษ์ เจริญรัก, 2525)

การตากมันเส้นเป็นกรรมวิธีการไล่ความชื้นจากมันสำปะหลังสด ด้วยการระเหยความร้อน ระยะเวลาการตากแห้งสามารถคำนวณได้ยาก ต้องอาศัยเทคนิคในการตากเป็นหลัก ในประเทศไทยใช้วิธีการตากมันสำปะหลังกลางแจ้ง โดยเริ่มตากในตอนเช้า ด้วยการนำมันสำปะหลังที่หั่นแล้วไปกองที่ลานตาก ซึ่งปกติลานตากทำด้วยซีเมนต์มีร่องระบายน้ำ แล้วเกลี่ยให้เสมอด้วยพลั่ว จากนั้นใช้คลาดกลับมันเส้นทุก 1 – 2 ชั่วโมง เมื่อเสร็จจากการตากในหนึ่งวัน หรือเมื่อฝนตก จะทำการคลาดมันเส้นมารวมเป็นกอง แล้วใช้สังกะสีหรือผ้าพลาสติกคลุมไว้ การตากด้วยแสงแดดจำเป็นต้องอาศัยภูมิอากาศเป็นสำคัญ ระยะการตากและคุณภาพของมันเส้นจึงต่างกันมาก โดยเฉลี่ยแล้วมันเส้น 10 ตันต่อลานซีเมนต์ 1 ไร่ สามารถตากแห้งได้ใน 3 วันที่มีแดดร้อนจัด มันเส้นจะเหลือความชื้นประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ (สุรพงษ์ เจริญรัก, 2525)

โอภาส พิมพา และคณะ (2542) ทำการทดลองใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปสำหรับโคนมเพื่อทดแทนข้าวโพดที่ระดับ 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การกินได้ ระดับ pH ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

2.1.3 กากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีกระบวนการผลิต เริ่มตั้งแต่การนำหัวมันสำปะหลังสดซึ่งมีความชื้นประมาณ 63.8 เปอร์เซ็นต์ มีแป้งประมาณ 27.65 เปอร์เซ็นต์ มาแยกเอาดินออกและนำเข้าเครื่องทำการล้างทำความสะอาด จากนั้นส่งผ่านไปยังเครื่องสับ (root cutter) เพื่อสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นเล็กๆ เมื่อได้ มันสำปะหลังชิ้นเล็กๆ แล้ว ก็จะทำการขูดหัวมันด้วยเครื่องขูดหัวมัน (rasper) จากนั้นทำการแยกส่วนที่เป็นกากออกครั้งแรก ในส่วนที่เป็นแป้งนั้นจะแช่อยู่ในบ่อน้ำแป้ง ซึ่งจะนำไปทำการฟอกสีด้วยไอกำมะถัน และจะนำน้ำแป้งนี้มาแยกกากออกเป็นครั้งที่ 2 ด้วยตะแกรงโยกอีก 2-3 ครั้ง น้ำแป้งที่ได้นี้จะนำไปทำให้ข้นด้วยวิธีการปั่นเหวี่ยง และเข้าเครื่องอบแห้งซึ่งจะได้แป้งมันสำปะหลังเพื่อนำไปคัดแยกโดยใช้ตะแกรงโยกต่อไป ส่วนที่เป็นกากที่ได้จากการคัดแยกทั้ง 2 ครั้ง เป็นส่วนที่เรียกว่า กากมันสำปะหลัง (สุรพงษ์, 2525)

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ในการผลิตแป้งมัน เยาวมาลย์ และสาโรช (2543) รายงานว่าถ้าใช้หัวมันสำปะหลัง 100 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ได้กากมันสำปะหลัง 11.1 เปอร์เซ็นต์ และจากรายงานของสถิติการเกษตรปี 2544 ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พบว่ามีปริมาณผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดในปี 2543/44 มีปริมาณ 18,282.8 พันตันต่อปี เพราะฉะนั้นจะได้กากมันสำปะหลัง 2,031.2 พันตันต่อปี กากมันสำปะหลังนี้เป็นส่วนที่เหลือจากการสกัดเอาแป้งออก แต่ยังคงมีแป้งเหลืออยู่ประมาณ 64.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และจะประกอบด้วยโภชนะโปรตีน 1.8 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 5.0 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.2 เปอร์เซ็นต์ และสัตว์สามารถย่อยและใช้ประโยชน์ได้ถึง 74 เปอร์เซ็นต์ (สมเจต, 2530) และจากรายงานของ ชวนิศนดากร (2500) รายงานว่ากากมันสำปะหลังมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต 81 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้สูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารสุกร พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีแต่ถ้าใช้ในสูตรอาหารสูงกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวลดลง

2.1.4 กากรำสกัดน้ำมัน

เป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันจากรำข้าว เมื่อได้มีการสกัดน้ำมันออกแล้วมีไขมันต่ำสามารถเก็บไว้ได้นานและนำมาผสมเป็นอาหารสัตว์ได้ แต่มีข้อจำกัดของการใช้อยู่หลายประการเช่นมีพลังงานต่ำ ถ้าใช้ในปริมาณสูงจะทำให้อาหารที่ได้ฟ่าม ทำให้สัตว์กินได้น้อยลง ได้รับพลังงานไม่เพียงพอกับความต้องการ และมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงด้วย

กรรมวิธีในการสกัดน้ำมันคือการแยกเอาน้ำมันออกจากรำให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพสูง การสกัดโดยใช้ความดันไฮโดรลิก จะได้รำที่มีคุณภาพสูง แต่ได้ปริมาณน้ำมันน้อย 10 – 12 เปอร์เซ็นต์ การใช้สารตัวทำละลายจะได้ปริมาณน้ำมันมากกว่า 10 – 18 เปอร์เซ็นต์ (Yokochi, 1977) ขั้นตอนการสกัดน้ำมันประกอบด้วย การทำความสะอาดปราศจากเมล็ดข้าว แกลบ ปลายข้าว ซึ่งเป็นสาเหตุให้ได้ปริมาณน้ำมันน้อยและสิ่งปลอมปน การให้ความร้อนคือการทำให้ไขมันเป็นอิสระจากส่วนประกอบอื่นๆ ในเมล็ดข้าว จะทำให้การสกัดออกง่าย จุดประสงค์ของการให้ความร้อนเพื่อยับยั้ง lipase ที่มีอยู่ในรำ lipase เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา hydrolysis ของ glyceride เกิด free fatty acid และ glycerol ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำมันลดลง

การสกัด (Extraction) มีกรรมวิธีในการสกัดน้ำมันรำออกจากวัตถุดิบ 2 วิธีการด้วยกัน คือการใช้แรงอัด (mechanical expression) ใช้เครื่องแรงบีบอัดสูงแยกน้ำมันออกจากวัตถุดิบ เครื่องที่ใช้บีบอัดมี 2 ชนิด คือแบบไฮโดรลิก (hydraulic press) และแบบอัดเกลียว (expeller) อีกวิธีการหนึ่งคือการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) การใช้ตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันจากพืชได้ถึง 95 – 99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนที่เหลือจากการสกัดน้ำมันมีส่วนประกอบด้วย โปรตีน14-15 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 9.5 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่สามารถย่อยได้ถึง 77 เปอร์เซ็นต์ (พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539)

2.1.5 กากเบียร์

กากเบียร์เป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเบียร์ เป็นส่วนของข้าวมอลท์ (Malt) ได้มาจากข้าวบาร์เลย์ ซึ่งเป็นธัญพืชที่นิยมปลูกในประเทศที่มีภูมิอากาศเย็น จะมีการปลูกกันมากในประเทศทางทวีปยุโรป ส่วนในประเทศไทยมีการนำสายพันธุ์ข้าวบาร์เลย์เข้ามาปลูกในแถบภาคเหนือ ซึ่งมีภูมิอากาศที่เย็นและมีการส่งเสริมการปลูกข้าวบาร์เลย์ กรรมวิธีการผลิตเบียร์เริ่มจากการนำข้าวมอลท์มาบดให้แตก พร้อมใส่น้ำผสมลงไปในถังผสม เมื่อผสมข้าวมอลท์และน้ำลงไปในถังผสมแล้ว จึงให้ความร้อนในระดับที่เหมาะสม เพื่อให้เอนไซม์ที่มีอยู่ในข้าวมอลท์ทำปฏิกิริยาเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลมอลท์โตส (maltose) หลังจากนั้นจึงแยกเอาของเหลวออกจากกากข้าวมอลท์ ของเหลวที่ได้เรียกว่าเวิร์ท (wort) ซึ่งจะนำไปผลิตเบียร์ต่อไป

คุณค่าทางโภชนะของกากเบียร์ ในการผลิตเบียร์ในแต่ละพื้นที่ จะมีวิธีและกรรมวิธีแตกต่างกันไป ซึ่งจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของกากเบียร์ กากที่เหลือหลังจากเอา wort ออกไปแล้ว กากในสภาพสดจะมีน้ำประกอบอยู่ 70 – 75 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีน 25 – 27 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 13 – 15 เปอร์เซ็นต์ มีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient, TDN) ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ (พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539)

การใช้กากเบียร์สดเป็นอาหารโคนม ได้มีการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับโคนม ซึ่งกากเบียร์สดมีลักษณะที่โคพร้อมจะกินได้โดยตรง กากเบียร์สดสามารถใช้ทดแทนอาหารข้นได้ 20 – 30 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้กากเบียร์สดยังช่วยกระตุ้นการกินได้ของอาหาร แต่จากการทดลองของ Porter and Conrad (1975) การใช้กากเบียร์สดหรือแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตน้ำนมจะมีปริมาณไม่แตกต่างกัน แต่กากเบียร์สดจะมีผลต่อปริมาณการกินได้ลดลงเพราะกากเบียร์สดมีความชื้นสูง และมีผลต่อน้ำหนักตัวลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะจะมีการสลายโภชนะในร่างกายมากสิ้นสร้างน้ำนม โดยเฉพาะถ้าได้รับกากเบียร์สดในระดับสูง 30 – 40 เปอร์เซ็นต์

2.1.6 กากถั่วเหลือง

กากถั่วเหลืองเป็นผลพลอยได้จากเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันแล้ว ปัจจุบันมีโรงงานสกัดน้ำมันถั่วเหลืองในประเทศจำนวน 11 ราย ส่วนกรรมวิธีการผลิตน้ำมันถั่วเหลืองสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งเริ่มจากการทำความสะอาด หลังจากนั้นทำให้เมล็ดถั่วเหลืองแตกและทำให้สุกแล้วบีบให้แบน จากนั้นเป็นการสกัดน้ำมันดิบออกมาโดยใช้สารทำละลายเช่นเดียวกับการสกัดน้ำมันรำข้าว และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ ซึ่งส่วนที่เหลือจากการสกัดคือกากถั่วเหลือง แต่กากถั่วเหลืองที่ใช้ในประเทศพบว่าไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งพบว่าถั่วเหลืองที่ผลิตในประเทศและที่นำเข้าจากต่างประเทศมีคุณภาพแตกต่างกัน คือ ถั่วเหลืองภายในประเทศให้น้ำมันอยู่ในช่วง 141 – 147 กิโลกรัมต่อตัน ซึ่งต่ำกว่าเมล็ดถั่วเหลืองที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งอยู่ในช่วง 156 – 160 กิโลกรัมต่อตัน แต่ถั่วเหลืองภายในประเทศจะให้กากถั่วเหลืองอยู่ในช่วง 780 – 800 กิโลกรัมต่อตัน ส่วนถั่วเหลืองที่นำเข้าจากต่างประเทศอยู่ในช่วง 770 – 775 กิโลกรัมต่อตัน ทั้งนี้เพราะพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผลิตในประเทศมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าถั่วเหลืองที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ (สายพิณ มณีพันธ์ และคณะ, 2540)

2.1.7 กากน้ำตาล

กากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรจากโรงงานผลิตน้ำตาลทราย ประกอบด้วยน้ำ 25 เปอร์เซ็นต์ และสิ่งแห้ง 75 เปอร์เซ็นต์ ภายในวัตถุ ภายในสิ่งแห้งจะประกอบไปด้วย น้ำตาลซูโครส (Sucrose) 25-40 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลชนิดอื่น (Reducing Sugar) 12-35 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนรวม 3 เปอร์เซ็นต์ และ เถ้า 8-10 เปอร์เซ็นต์ กากน้ำตาลจะมีรสหวานและมีกลิ่นหอมจึงทำให้เพิ่มความน่ากิน (Palatability) ให้กับอาหาร นอกจากนี้กากน้ำตาลยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการหมักในอาหารเพราะจุลินทรีย์สามารถนำกากน้ำตาลไปใช้ประโยชน์ได้ดี (Woolford, 1984)

2.2 การปรับปรุงผลพลอยได้ทางการเกษตรโดยวิธีการหมัก (Silage)

2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาหารหมัก

พืชอาหารหมัก (Silage) เป็นอาหารที่เตรียมโดยอาศัยกระบวนการหมัก (fermentation) ของพืชอาหารที่มีความชื้นสูง กระบวนการทำอาหารหมักเรียกว่า ensilage ที่หมักเรียก silo ซึ่งมีหลายแบบและสามารถดัดแปลงนำมาใช้ได้ กระบวนการหมักเกิดขึ้นเนื่องจากการควบคุมให้มีการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติค ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้จะมีติดอยู่กับพืชสด หรือเกิดขึ้นโดยการจำกัดกระบวนการหมักโดยการตากลดความชื้น (pre-silage) ของพืชหรือจำกัดโดยการเสริมสารเคมี (additive) ซึ่งกระบวนการหมักนี้จะต้องอยู่ในสภาพปราศจากออกซิเจน (anaerobic) พืชเกือบทุกชนิดจะสามารถนำมาหมักได้ ที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด คือ หญ้า ถั่วต่างๆ พวกธัญพืช และเศษเหลือของผลไม้ เป็นต้น

ส่วนประกอบของหญ้าหมัก ในขณะที่เราทำหญ้าหมักนั้นเซลล์ของพืชที่กำลังตายลง จะกลายเป็นสิ่งแวดล้อมที่เหมาะของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน การหมักและความร้อนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในระยะ 2 - 3 วันแรก แล้วความร้อนค่อยๆ ลดลงภายใน 2 - 3 สัปดาห์ ผลของการหมักจะทำให้เกิดกรดอินทรีย์ขึ้นหลายชนิด รวมทั้งแอลกอฮอล์ และแก๊สต่างๆ อีกประมาณ 4 - 5 ชนิด สำหรับส่วนประกอบของหญ้าหมักที่ดีนั้นควรจะมี pH ประมาณ 4.2 มีกรดแลกติค 1.5 – 2.5 เปอร์เซ็นต์ กรดอะซิติค 0.5 – 0.8 เปอร์เซ็นต์ กรดบิวทีริค 0.1 เปอร์เซ็นต์หรือน้อยกว่า ถ้าหากหญ้าหมักมีกรดบิวทีริคเกิน 0.3 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้หญ้ามีกลิ่นเหม็นสัตว์ไม่ชอบกิน สำหรับไนโตรเจนจากแอมโมเนีย (NH_3 – N) ก็ควรอยู่ระหว่าง 5 - 8 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนทั้งหมด หรือไม่ควรมีมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมด มิฉะนั้นจะทำให้หญ้าหมักมีคุณภาพลดลง ดังนั้นหญ้าหมักที่ดีจะต้องมีกรดแลกติคในปริมาณสูงๆ และมีกรดอาซิติคต่ำ ส่วนกรดบิวทีริคควรมีอยู่ต่ำที่สุด (สายัณห์ ทัดศรี, 2542)

2.2.2 จุลินทรีย์ของพืชอาหารหมัก (Silage microbiology)

แบคทีเรียและเชื้อราพวกใช้ออกซิเจนมีติดอยู่ตามอาหารสดเป็นส่วนใหญ่ แต่ในสภาพปราศจากออกซิกเจนในไซโลจุลินทรีย์พวกอื่นจะเจริญเติบโตมาแทน คือ สปีชีส์ *Escherichia, Klebsiella, Bacillus, Clostridium, Streptococcus, Leuconostoc, Lactobacillus* และ *Pediococcus* นอกจากนั้นมียีสต์พวกที่สามารถอยู่ได้ทั้งสองสภาพ (facultative anaerobes)

แบคทีเรียพวกผลิตกรดแลคติค (Lactic acid bacteria) เป็นพวก facultative ซึ่งติดอยู่กับผิวนอกของพืชอาหารสดในปริมาณมาก แบคทีเรียพวกนี้แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ พวก homofermentative เป็นพวกที่มีประสิทธิภาพในการผลิตแลกติคและพวก heterofermentative เป็นพวกที่ผลิตกรดแลกติค คาร์บอนไดออกไซด์ และเอธานนอลชนิดต่างๆ ของแบคทีเรีย

หลังจากที่เริ่มมีการหมักแล้ว แบคทีเรียกลุ่มนี้จะมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว และจะหมักสลายพวกแป้งที่ละลายน้ำได้ (Water soluble carbohydrate) จะได้กรดอินทรีย์ ส่วนใหญ่ คือ กรดแลคติค ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของอาหารหมักจะลดลงทันที pH นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในระดับความชื้นที่ไม่เหมาะสม pH จะแสดงความวิกฤตที่จุดๆ หนึ่ง โดยกรดอินทรีย์จะชะงักการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย pH 3.8-4 กิจกรรมของจุลินทรีย์จะหยุดทั้งหมด ทำให้ได้พืชอาหารหมักที่มีสภาพดีและลักษณะเหมาะสม ซึ่งสามารถเก็บไว้ได้นานถ้ายังคงสภาพปราศจากออกซิเจน ถ้า pH ไม่คงที่ แบคทีเรียพวก saccharolytic clostridia ซึ่งติดมากับอาหารในรูปของสปอร์ตั้งแต่แรกจะทำการแบ่งตัวและใช้ประโยชน์จากกรดแลคติคและแป้ง ทำให้ pH สูงขึ้น นอกจากนั้นแบคทีเรียพวก less-acid-tolerant proteolytic clostridia จะเริ่มมีสมรรถภาพพวก Clostridia นี้จะสมรรถภาพสูงในสภาวะที่มีความชื้นสูง

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคที่พบในอาหารหมัก

Lactobacillus		Streptococcus	Leuconostoc	Pediococcus
Homofermentive	Heterofermentative	Homofermentive	Heterofermentative	Homofermentive
L. acidophilus	*L. brevis*	*S. faecalis*	*L. citrovorum*	*P. acidlactici*
L. casei	*L. buchneri*	*S. faecium*	*L. dextranicum*	*P. cerevisiae*
L. coryneformis	*L. fermentum*	S. lactis	*L. mesenteroides*	*P. pentosaceus*
L. curvatus	*L. viridescens*			
L. plantarum				
L. salivarius				

ที่มา Woolford (1984)

2.2.3 กระบวนการหมักของอาหารหมัก (Silage Fermentation)

มาตรฐานของคุณภาพของหญ้าหมักอาศัยมาตรฐานจากยุโรปหญ้าหมักที่มีคุณภาพดีจะประกอบด้วย pH 4.2 กรดแลคติค (Lactic acid) 1.5 –2.5 เปอร์เซ็นต์ กรดบิวทีริค (Butyric acid) น้อยกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4-N) อยู่ระหว่าง 5 - 8 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนทั้งหมด กระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายหลังการปิดหลุมหมักว่า แบ่งได้ 2 กระบวนการใหญ่ คือ กระบวนการที่ต้องใช้ออกซิเจน (Aerobic) และกระบวนการที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน (anaerobic) กระบวนการดังกล่าวนี้จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ การทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ปริมาณอากาศที่ยังหลงเหลือภายหลังการนำพืชเข้าหลุมหมักแล้ว และองค์ประกอบต่างๆ ภายในพืชที่นำมาทำหญ้าหมัก เช่น ปริมาณน้ำตาล ความชื้น และแร่ธาตุอาหาร (สายัณห์ ทัดศรี, 2522)

เมื่อนำเอาพืชที่ยังสดอยู่เข้าไปหมักในหลุมหมักไซโล หลังจากอัดพืชให้แน่นดีแล้วปิดหลุมหมัก แต่อากาศบางส่วนยังหลงเหลืออยู่ภายในหลุมหมักในปริมาณจำกัด และเคลื่อนไหวได้น้อย ซึ่ง

เซลล์ของพืชที่มีชีวิตอยู่ และแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนภายในนั้นใช้ในกระบวนการหายใจอยู่ระยะหนึ่ง จนกว่าอากาศจะหมดไป ซึ่งการหายใจของเซลล์พืชจะใช้ คาร์โบไฮเดรตและถ่ายเท คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อนออกมา ในต้นพืช เชื้อแบคทีเรียมีอยู่หลายชนิดและแต่ละชนิดก็มีบทบาทต่างๆ กัน เพราะฉะนั้นในขณะที่มีอากาศอยู่นั้นพวก Aerobic bacteria จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นกรดต่างๆ เช่น acetic, propionic และ lactic acid เป็นต้น ส่วนพวกยีสต์ (yeast) และเชื้อรา (mould) ในขณะที่มีอากาศอยู่ก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น จนกระทั่งอากาศถูกใช้หมดไป พวกนี้ก็ไม่สามารถจะเพิ่มจำนวนได้อีกและตายลง แต่เอนไซม์ต่างๆ ก็ยังทำงานตามปกติ และจะเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์ และสิ่งเน่าเปื่อยผุพัง เพราะฉะนั้นในการทำหญ้าหมักจึงต้องพยายามกำจัดอากาศ หรือไล่อากาศออกจากหลุมหมักให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะช่วยจำกัดจำนวนยีสต์และราไม่ให้มีมากเกินไป หรือสามารถเพิ่มจำนวนให้เพิ่มขึ้นได้ พวก ethyl alcohol ซึ่งได้จากการทำงานของยีสต์ก็จะเปลี่ยนเป็น acetic acid ในสภาพของ anaerobic ต่อไป การอัดแน่นในหลุมหมักไซโลที่ไม่ดีพอจะมีอากาศหลงเหลืออยู่มาก ทำให้มีการสูญเสียคาร์โบไฮเดรตโดยผ่านกระบวนการหายใจและอุณหภูมิสูงเกินไป ซึ่งทำให้คุณภาพของหญ้าหมักลดลงด้วย นอกจากนั้นยังสูญเสียวัตถุแห้ง ลดปริมาณโปรตีนที่สัตว์สามารถย่อยได้ และสูญเสียคาโรทีนอีกด้วย อย่างไรก็ดีการอัดแน่นเกินไปในขณะที่พืชมีความชื้นสูงจะทำให้อุณหภูมิภายในหลุมหมักต่ำ ทำให้หญ้าหมักมีกลิ่นเหม็น เพราะฉะนั้นอุณหภูมิในหลุมหมักควรอยู่ในช่วง 10 - 38 องศาเซลเซียส (สายัณห์ ทัดศรี, 2540)

เมื่อออกซิเจนถูกใช้หมดไป กระบวนการ anaerobic ก็จะเกิดขึ้น โดยการทำงานของ anaerobic bacteria เช่น Lactobacilli และ Streptococci ซึ่งการทำงานของพวกนี้มีความสำคัญต่อการทำหญ้าหมักมาก และผลที่ได้คือกรดแลคติค (lactic acid) ซึ่งจะมีประมาณ 1 – 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหญ้าหมักมาก และมี pH ประมาณ 4.2 หรือน้อยกว่า การทำงานของแบคทีเรียพวกนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาล ถ้ามีปริมาณน้ำตาลมากและอยู่ในสภาพ anaerobic จะทำให้เกิดกรดแลคติดเร็วขึ้น ดังสมการ

$$C_6H_{12}O6_6 \text{ (Glucose)} \longrightarrow 2(C_3H_6O_3) \text{ (Lactic acid)}$$

นอกจากนั้นยังมีแบคทีเรียอีกพวกหนึ่ง ได้แก่ Proteolytic bacteria ซึ่งพวกนี้จะเปลี่ยนโปรตีนไปเป็นแอมโมเนีย อะมิโนแอซิด amines และ amides ซึ่งสิ่งเหล่านี้เราไม่ต้องการเพราะฉะนั้นเพื่อป้องกันมิให้มีกระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นจึงต้องเพิ่มคาร์โบไฮเดรตให้มากขึ้น เพื่อระงับการใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงานทำให้หญ้าหมักที่ได้ยังมีโปรตีนเหลือที่จะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ได้ นอกจากการเพิ่มคาร์โบไฮเดรตแล้วการควบคุมการเป็นกรดของหญ้าหมักโดยการเสริมกรดบางชนิดลงไป เพื่อทำให้พวกแบคทีเรีย proteolytic และเอนไซม์ของมันไม่ทำงาน อย่างไรก็ตามการเพิ่มพวกคาร์โบไฮเดรต

นอกจากจะช่วยเป็นแหล่งพลังงานสำหรับแบคทีเรียแล้ว ยังควบคุมการเกิดกรดแลคติคและแอซิติคอีกด้วย เพราะฉะนั้นจะสังเกตได้ว่าหญ้าหมักที่มีคาร์โบไฮเดรตเพียงพอจะมีกรดแลคติคเกิดขึ้นมาก

พวกเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเปลี่ยนกรดแลคติคไปเป็นกรดบิวทีริค ดังสมการข้างล่างนี้ ซึ่งเกิดขึ้นได้แม้ว่า pH จะลดลงเหลือ 4.2 หรือน้อยกว่าถ้าอากาศสามารถผ่านเข้าไปได้ ซึ่งกรดนี้เราไม่ต้องการ โดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียที่เปลี่ยนกรดแลคติคไปเป็นกรดบิวทีริคหยุดการเจริญเติบโตเมื่อ pH ประมาณ 4.2

$$2(C_3H_6O_3)\ \text{(Lactic acid)} \longrightarrow C_4H_8 + 2H_2O + 2CO_2\ \text{(Butyric acid)}$$

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระยะการหมัก

ในส่วนของแป้ง น้ำย่อยในเซลล์พืชที่เกี่ยวข้องกับการหายใจจะยังทำงานไปเรื่อยๆ ตราบที่สภาวะยังมีออกซิเจนและ pH ยังสูงอยู่ แป้งในพืชจะถูกออกซิไดซ์ให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งในช่วงนี้ความร้อนจะสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิของอาหารหมักสูงขึ้น ถ้าในการเตรียมกองหมักไม่แน่นดีจะทำให้อากาศแทรกซึมเข้าไปได้ ทำให้อุณหภูมิในกองหมักสูงขึ้นเรื่อยๆ ในที่สุดจะทำให้ได้อาหารหมักเกรียมสีน้ำตาลเข้ม (overheated silage) เป็นอาหารหมักคุณภาพเลว ภายใต้สภาวะปกติซึ่งปราศจากออกซิเจน แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคจะหมักสลายแป้งให้ได้กลูโคส และฟรุกโทสให้ได้กรดแลคติคและกรดตัวอื่นๆ แบคทีเรียพวก Homofermentive มีบทบาทมากในการหมักสลายน้ำตาลพวกเฮกโซส (hexose) และการไฮโดรไลซิสของพวกเฮมิเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลพวกเพนโตส ซึ่งจะถูกหมักต่อไปได้กรดแลคติคในที่สุด (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

ส่วนของโปรตีนประมาณ 75 – 90 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในรูปของโปรตีนในพืชที่กำลังเจริญเติบโต หลังจากที่พืชถูกเก็บเกี่ยวแล้วน้ำย่อยโปรทีเอสในพืชจะถูกย่อยโปรตีนให้เป็นกรดแอมมิโนภายในระยะเวลา 12 – 24 ชม. ประมาณ 20 – 25 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (Non - protein nitrogen, NPN) ซึ่งส่วนใหญ่คือ กรดแอมมิโน แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคสามารถย่อยสลายกรดแอมมิโนบางตัวได้ เช่น ย่อย Serine ได้ acetoin และย่อย arginine ได้ ornithine แต่ถ้ามีพวก clostridia มาก จะมีการเมตาโบไลซ์กรดแอมมิโนในอัตราสูง ทั้งนี้โดยอาศัยกระบวนการ 3 แบบคือ deamination, decarboxylation และ coupled oxidation/ reduction ซึ่งจะทำให้เกิดพวก amines, NH_3, CO_2, Keto acid และ fatty acid (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

2.2.5 การสูญเสียโภชนะในช่วงการหมัก

2.2.5.1. การสูญเสียในช่วงเก็บเกี่ยว (Field losses)

ถ้ามีการเก็บเกี่ยวและหมักในวันเดียวกัน ปริมาณโภชนะจะสูญเสียน้อยมาก หรือมีการตากลดความชื้น วัตถุแห้งที่สูญเสียไปจะไม่มากกว่า 1 หรือ 2 เปอร์เซ็นต์ ถ้ามีการตากนานกว่า 48 ชม. โภชนะจะสูญเสียมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะอากาศ ถ้าตากแดดเป็นเวลา 5 วันจะสูญเสียวัตถุแห้งไป 6 เปอร์เซ็นต์ ถ้าตากแดดนาน 8 วัน จะสูญเสียวัตถุแห้งไป 10 เปอร์เซ็นต์ โภชนะที่สูญเสียมากที่สุดคือ พวกแป้งและโปรตีนซึ่งถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดอะมิโน (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

2.2.5.2. การสูญเสียเนื่องจากการหายใจ (Respiration losses)

เป็นการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของน้ำย่อยในพืช และจุลินทรีย์ในการย่อยพวกแป้งในสภาวะที่มีออกซิเจน ผลที่ได้รับคือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ปกติแล้วถ้ามีการอัดพืชแน่นดีจะมีการสูญเสียประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ การที่ส่วนของพืชอาหารหมักถูกออกซิเจนเป็นระยะเวลานาน โดยเฉพาะด้านข้างและด้านบนของกองหมักจะทำให้ส่วนนั้นเสีย สัตว์ไม่ชอบกิน การตรวจดูการสูญเสียในส่วนนี้อาจทำให้เข้าใจผิดพลาดได้ เพราะอาจมีการสูญเสียมากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง

2.2.5.3. การสูญเสียเนื่องจากการหมัก (Fermentation losses)

การสูญเสียของวัตถุแห้งจะเกิดขึ้น 3 - 8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ (พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539) ส่วนพลังงานนั้นสูญเสียน้อยกว่า ทั้งนี้เพราะมีการผลิตสารประกอบที่ให้พลังงานสูง เช่น เอทธานอล ถ้ามีแบคทีเรียพวก Clostridi จะทำให้มีการสูญเสียมากกว่าเพราะมีการผลิตแก๊สต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และแอมโมเนีย

2.2.5.4. การสูญเสียในส่วนของเหลวที่รั่วไหลออก (Effluent losses)

การไหลซึมของของเหลวจากที่เก็บ จะเป็นการนำเอาพวกโภชนะออกไปด้วย การสูญเสียของโภชนะในส่วนนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นของพืชที่นำมาหมัก โภชนะที่ประกอบอยู่ในของเหลว คือ พวกน้ำตาล สารประกอบไนโตรเจน แร่ธาตุ และกรดที่เกิดขึ้นจากการหมัก ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีคุณค่าทางโภชนะมาก ถ้านำพืชที่มีความชื้นประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ มาหมักจะสูญเสียวัตถุแห้งไปประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าพืชนั้นมีความชื้นประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ จะมีการสูญเสียวัตถุแห้งน้อยมาก นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความสูงของไซโล และความหนาแน่นในการอัดพืช (พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539)

ตารางที่ 2.2 แสดงเส้นทางของกระบวนการหมักในการทำพืชอาหารสัตว์

(A) Lactic acid bacteria

Homofermentative

Glucose → 2Lactic acid

Fructose → 2Lactic acid

Pentose → Lactic acid + Acetic acid

Heterofermentive

Glucose → Lactic acid +Ethanol +CO_2

3Fructose → Lactic acid + 2Mannitol + Acetic acid + CO_2

Pentose → Lactic acid + Acetic acid

(B) Clostridia

Saccharolytic

2Lactic acid → Butyric acid + $2CO_2$ +$2H_2$

Proteolytic

Deamination

Glutamic acid → Acetic acid + Pyruvic acid + NH_3

Lysine → Acetic acid + Butyric acid + $2NH_3$

Decarboxylation

Arginine → Putrescine + CO_2

Glutamic acid → γ- aminobutyric acid + CO_2

Histidine → Histamine + CO_2

Lysine → Cadaverine + CO_2

Oxidation/reduction (Stickland)

Alanine + 2Glycine → 3Acetic acid + $2NH_3$ + CO_2

(C) Enterobacteria

Glucose → Acetic acid + Ethanol + $2CO_2$ + $2H_2$

ที่มา McDonald et al. (1995)

2.2.6 คุณค่าทางอาหารของอาหารหมัก (Feeding value)

คุณค่าทางอาหารของอาหารหมักขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาหมัก พืชอาหารสัตว์เขตร้อนโดยเฉพาะหญ้ามีคุณค่าทางอาหารไม่สูงเท่ากับหญ้าเขตหนาว เพราะฉะนั้นหญ้าหมักที่ทำจากหญ้าเขตร้อนจึงมีคุณภาพต่ำกว่าหญ้าหมักที่ได้มาจากพืชอาหารสัตว์ในเขตหนาว คุณค่าทางอาหารเราพิจารณา 2 ประการด้วยกันคือ

2.2.6.1. การกินของสัตว์ (Intake)

หญ้าหมักที่ทำจากพืชอาหารสัตว์เขตหนาวพบว่าสัตว์กินได้น้อยกว่าในรูปของหญ้าแห้ง สำหรับหญ้าหมักซึ่งได้จากหญ้าเขตร้อนนั้นมีรายงานว่าสัตว์กินได้น้อยกว่าในรูปอื่น ๆ พันทิพา พงษ์เพียจันทร์ (2539) พบว่าพืชหมักมีน้ำน้อยกว่าพืชสดทำให้สัตว์กินได้มากกว่า และถ้าหญ้าหมักนั้นมีพวกเมล็ดของธัญพืชร่วมด้วย สายัณห์ ทัดศรี (2522) พบว่าโคนมจะกินหญ้าหมักซึ่งได้จากการหมักร่วมกับเมล็ดธัญพืชที่บดแล้ว 41 กิโลกรัม ต่อตันของพืช ประมาณวันละ 1.5 - 1.6 กิโลกรัม ต่อ 100 กิโลกรัมของน้ำหนักสัตว์และจะเพิ่มเป็น 1.8 กิโลกรัม ถ้าหมักร่วมกับเมล็ดธัญพืชที่บดแล้ว 50 กิโลกรัม ต่อตันของพืช ซึ่งการกินได้ที่เพิ่มขึ้นอาจจะเนื่องจากการใส่พวกเมล็ดธัญพืชที่บดแล้วก็ได้

2.2.6.2. การย่อยได้ของสัตว์ (Digestibility)

การย่อยได้ของวัตถุแห้งในหญ้าเขตร้อนเมื่อเทียบกับหญ้าเขตหนาวที่ตัดอายุเท่ากันนั้นจะต่ำกว่าหญ้าเขตหนาว เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของหญ้าเขตร้อนที่ทำหญ้าหมักส่วนมากไม่เกิน 60 เปอร์เซ็นต์ การหมักพืชพบว่าทำให้เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ลดต่ำลง (เพ็ญศรี ศรประสิทธิ์ และคณะ, 2538) การเพิ่มข้าวโพดบดหรือกากน้ำตาลในหญ้าหมักที่ทำจากหญ้าไข่มุกจะช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ในทุกระยะการเจริญเติบโตของพืชที่นำมาหมัก

2.3 การผลิตอาหารหมักโดยใช้สารเสริม (Additive)

2.3.1 ประเภทของสารเสริมในพืชอาหารหมัก (Silage additive)

การแยกประเภทของสารเสริมในพืชอาหารหมัก สามารถแยกได้ตามผลที่เกิดขึ้นต่อกระบวนการหมักของพืชอาหารหมัก แต่สารเสริมบางกลุ่มก็สามารถแสดงผลได้หลายประเภท เช่น พวกแป้ง เมล็ดธัญพืช กากน้ำตาล เป็นต้น Woolford (1984). ได้แยกประเภทของสารเสริมในพืชอาหารหมักออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. สารที่ทำให้เกิดความเป็นกรดโดยตรงต่อพืชอาหารหมัก (direct acidification) ได้แก่ inorganic acid และ organic acid มีหน้าที่ทำให้ pH ของพืชอาหารหมักลดลง และชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพืชอาหารหมักโดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติที่มีอยู่ในพืช ตัวอย่างเช่น sulfuric acid, hydrochloric acid, formic acid และ acrylic acid

2. สารกลุ่มที่สามารถยับยั้งกระบวนการหมัก (fermentation inhibitor) direct-acting sterilants และ indirect-acting sterilants ทำหน้าที่ยับยั้งจุลินทรีย์ธรรมชาติ และสารอื่นๆ ที่ทำหน้าที่ได้เหมือนกับจุลินทรีย์ เช่น formaldehyde และ Hexamine เป็นต้น

3. สารกลุ่มที่กระตุ้นกระบวนการหมัก (fermentation stimulation) สารตั้งต้นทำหน้าที่สนับสนุนกระบวนการหมักโดยเป็นวัตถุดิบที่ทำให้เกิดกระบวนการหมัก เช่น molasses และ enzymes ซึ่งได้แก่ cellulolytic enzyme และ amylolytic enzyme และ microbial culture

4. สารกลุ่มที่สามารถต่อต้านจุลินทรีย์โดยเฉพาะ (specific antimicrobial) พวก antibiotic, synthetic antimicrobial agent และ antimicrobial จะทำหน้าที่ในยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โดยตรง เช่น bacitracin, streptomycin bronopol, sodium chloride และ sodium nitrite เป็นต้น

5. สารกลุ่มที่เป็นแหล่งโภชนะ (nutrients additive) ได้แก่ วัตถุดิบที่ให้พลังงาน, ไนโตรเจน และ แร่ธาตุ ทำหน้าที่เพิ่มคุณค่าทางโภชนะของพืชอาหารหมัก เช่น แป้ง เมล็ดธัญพืช ยูเรีย และ calcium carbonate

2.3.2 ผลของการใช้สารเสริมในพืชอาหารหมัก

2.3.2.1 กลุ่มที่ทำให้เกิดความเป็นกรดโดยตรงต่อพืชอาหารหมัก (Direct acidification)

(1) กรดอนินทรีย์ (inorganic acid)

การเสริมกรดอนินทรีย์ ลงในพืชอาหารหมักจะทำให้ระดับ pH ของอาหารหมักลดลงอยู่ระหว่าง 3.5 – 4.0 ซึ่งเป็นระดับ pH ที่ทำให้ไม่เกิดการผลิต butyric acid แต่ยังมีการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตกรดชนิดอื่นๆ อยู่ จึงสามารถทำให้เกิดกระบวนการหมักในการรักษาคุณภาพของอาหารได้ กรดอนินทรีย์ที่ใช้ในพืชอาหารหมักไม่มีคุณสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์ แต่จะทำให้อาหารเกิดความเป็นกรดเท่านั้น และการนำพืชอาหารหมักที่เสริมกรดอนินทรีย์มาใช้ในการเลี้ยงสัตว์อาจทำให้เกิดปัญหาต่อระบบสรีรวิทยาของสัตว์ เช่น acidosis และเกิด hypomagnesemia (Breirem and Ulivesli, 1960) และลดความน่ากินลงด้วย ดังนั้นควรใช้ในระดับที่ต่ำ นอกจากนี้ความเป็นกรดสูงจะทำให้เกิดการกัดกร่อนอุปกรณ์ที่ใช้งาน เช่น กรดซัลฟูริค

ตารางที่ 2.3 แสดงการจำแนกชนิดของสารเสริมในอาหารหมัก

class		Intended mode of action	examples
Direct acidifiers	Inorganic acid Organic acid	To give a low pH to silage at the outside and induce qualitative changes in the microflora	Sulfuric acid Formic acid Acrylic acid
Fermentation inhibitors	Direct-acting sterilants Indirect-acting sterilants	To inhibit the microflora in general, either immediately or by sequential release of active agent	Formaldehyde Hexamine
Fermentation stimulants	Substrates	To encourage fermentation by provision of fermentable material.	Molasses
	Enzymes	To increase reserves of fermentable material from otherwise non-fermentable materials.	Cellulolytic Amylolytic enzymes
	Microbial cultures	To establish a dominance of efficient lactic acid bacteria.	Lactobacilli
Specific antimicrobial	Antibiotic Synthetic antimicrobial Other antimicrobial	To discourage the growth of spoilage microorganisms directly.	Bacitracin Bronopol Sodium nitrite
Nutrients	Energy Nitrogen, minerals	To improve the nutritional value of silage.	Starch Urea

ที่มา Woolford (1984)

(2) กรดอินทรีย์ (organic acid)

มีคุณสมบัติคล้ายกับกรดอนินทรีย์ แต่มีความสามารถต่อต้านจุลินทรีย์ได้ เช่น propionic acid จะต่อต้านการเจริญของเชื้อรา และ endosporeming bacteria เป็นต้น

1. Formic acid

การใช้กรด Formic acid จะใช้ในพืชที่มีความชื้นสูง สามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราในกองพืชอาหารหมักได้ นอกจากนี้ช่วยเร่งการเกิดกระบวนการหมักได้เร็วขึ้น ลดปริมาณการสูญเสียโภชนะเนื่องจากการหายใจของพืช เพราะการใช้กรดในการเร่งปฏิกิริยา จะสามารถลดระยะเวลาในการหมักลงได้ (สายัณห์ ทัดศรี, 2540) ถ้าใช้ Formic acid ในอัตราที่ต่ำจะมีคุณสมบัติทำให้เป็นกรด

และเป็น Antimicrobial แต่ในขณะที่ใช้ในอัตราสูงจะมีคุณสมบัติทำให้เป็นกรดอย่างเดียว โดยใช้อัตรา 2 – 4 ลิตร/ตันน้ำหนักพืชสด จะสนับสนุนการผลิตกรดแลคติค และระงับการเจริญเติบโตของพวก clostridia ในกระบวนการหมัก และอัตราที่ 7 ลิตร/ตันน้ำหนักพืชสด จะทำให้หยุดกระบวนการหมัก เช่น การใช้ formic acid ที่มี pH เท่ากับ 5 จะสามารถยับยั้ง endospore-forming bacteria และ coliform bacteria และที่ pH เท่ากับ 4 จะสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ทุกชนิดในอาหารหมัก แต่อย่างไรก็ตามในระยะเวลาการหมักช่วงแรกๆ องค์ประกอบทางโภชนะของพืชอาหารหมักอาจลดลง ทำให้คุณภาพต่ำ แต่ formic acid สามารถทำให้การหายใจของพืชและการสลายโปรตีนช้าลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Polan et al. (1998). นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความเสถียรภาพของอากาศในข้าวโพดหมัก (Britt et al, 1975) McDonald et al. (1995) พบว่าการกินได้ของวัตถุแห้ง ที่ทำการทดลองใช้ formic acid 3.4 ลิตรต่อตันในแพะสูงกว่าไม่ได้เสริม formic acid

2. Acetic acid

การใช้ Acetic acid เสริมลงในอาหาร โดยที่มีความเข้มข้น 47 มิลลิโมลต่อลิตร (ใช้อัตราส่วน 2.3 ลิตรต่อตันพืชที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์) Acetic acid จะมีคุณสมบัติสามารถยับยั้ง endospore-forming bacteria ได้ (Woolford, 1975a) และ การใช้ Acetic acid ที่อัตราส่วน 6.0 – 8.5 กรัม/ลิตร จะมีคุณสมบัติสามารถยับยั้งพวกยีสต์ (yeast) ได้ acetic acid เป็นกรดที่เกิดขึ้นอยู่แล้วตามปกติในกระบวนการหมัก ดังนั้นการที่นำมาใช้เพื่อการถนอมอาหารจะเป็นการเพิ่มต้นทุนให้สูงขึ้น

3. Propionic acid

Propionic acid มีคุณสมบัติต่อต้านพวกเชื้อรา (Mold) จึงสามารถใช้เก็บรักษาคุณภาพของพืชอาหารหมักได้ โดยการเสริม propionic acid ลงในพืชอาหารหมัก ที่ความเข้มข้น 88 มิลลิโมลต่อลิตร หรือเท่ากับ 6.8 กรัมต่อกิโลกรัมของพืชที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถลด pH ลงถึงระดับที่จะยับยั้งทั้งเชื้อรา และแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคได้ นอกจากนี้ระดับ pH เท่ากับ 5 และ 6 จะสามารถยับยั้ง endospore-forming bacteria และจำกัดกระบวนการหมัก ในขณะที่ใช้ propionic acid ในอัตรา 4 กรัมต่อกิโลกรัมของพืชที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์ propionic acid จะสนับสนุนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติค นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับ formic acid ได้ผลดี โดยที่ formic acid จะสามารถป้องกันการสลายของโปรตีน การดิมกรด propionic acid, acetic acid และ formic acid ในข้าวโพดหมักจะให้ผลคล้ายกันคือ เพิ่มการกินได้ของโคในระยะให้นม และไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม สอดคล้องกับการทดลองของ Kung et al. (1998). ซึ่งใช้ Propionic acid ในพืชอาหารหมักไม่มีผลต่อการกินได้และการให้ผลผลิตน้ำนมของโค

4. Lactic acid

Lactic acid มีคุณสมบัติเหมือนกรดทั่วๆ ไปคือ ที่ระดับ pH 5 จะมีคุณสมบัติยับยั้ง endospore-forming bacteria แต่ไม่มีผลต่อยีสต์และเชื้อรา การที่ไม่มีผลต่อเชื้อราอาจเนื่องจากเชื้อราใช้อินทรีย์วัตถุหลายตัวเป็นแหล่งคาร์บอน และการใช้ lactic acid เข้มข้น 58 มิลลิโมลต่อลิตร ซึ่งมี pH 4 หรือเท่ากับอัตรา 45 กิโลกรัมต่อตันน้ำหนักพืชที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถยับยั้ง clostridia ได้เป็นอย่างดี และทำให้การผลิต lactic acid ดีขึ้น (Woolford, 1975b) อย่างไรก็ตาม การทำพืชอาหารหมักให้มีคุณภาพดี ควรจะมี lactic acid 100 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ซึ่งเท่ากับการใช้กรดแลคติค 226 กิโลกรัมต่อตันน้ำหนักพืชที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์

5. Acrylic acid

Acrylic acid เป็นกรดชนิดที่สามารถใช้เป็นสารเสริมได้ มีคุณสมบัติเป็นกรดแก่ (pKa 4.25) อยู่กึ่งกลางระหว่าง formic acid (pKa 3.75) และ propionic acid (pKa 4.7) และเป็นสารตัวกลางในการหมัก lactate เป็น propionate ในกระเพาะหมัก ดังนั้นในกระบวนการหมักถนอมอาหารจึงมักอ้างถึงกรดทั้งสองเป็นหลัก acrylic acid จะต่อต้านทุกกลุ่มของแบคทีเรีย โดยเฉพาะกลุ่ม endospore-forming bacteria ที่ระดับ pH 5 และ 6 (Woolford, 1978) การใช้งานเหมือนกับ formic acid, propionic acid และ acetic acid และถ้าใช้ที่ระดับ pH 4 จะสามารถยับยั้งเชื้อราได้ acrylic acid เป็นกรดที่มีอันตรายน้อยกว่ากรดอิสระชนิดอื่นๆ

6. Sulfamic acid

Sulfamic acid เป็นกรดแก่มาก (pKa 1.22) ถ้ามีสถานะเป็นของแข็งจะเป็นอันตรายน้อยกว่าสถานะของเหลว จากการทดสอบกับจุลินทรีย์ พบว่าสามารถยับยั้ง endospore-forming bacteria โดยเฉพาะกลุ่ม heterofermentative lactic acid bacteria Woolford (1978) ใช้ sulfamic acid 130 มิลลิโมลต่อลิตร (12 กิโลกรัมต่อตันน้ำหนักพืชที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์) ระดับ pH เท่ากับ 6 จะสนับสนุนให้เกิดการผลิตพวก homolactic ได้ดีขึ้น ถ้ามีการสับพืชให้มีขนาดเล็กลงจะทำให้กรดทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และช่วยลดการสลายโปรตีนในพืชอาหารหมัก อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่ากรดจะสามารถใช้ในการถนอมรักษาคุณภาพอาหารได้ แต่อาจจะสามารถเหนี่ยวให้เกิดภาวะ acidosis ในสัตว์ได้เช่นเดียวกับพวก mineral acid

7. Benzoic acid

Benzoic acid เป็นกรดอ่อน (pKa 4.19) แต่มีคุณสมบัติที่จะจำกัดจุลินทรีย์ได้ โดยปกติกรดชนิดนี้นิยมนำมาใช้ในการถนอมอาหาร มีลักษณะคล้ายกรดซัลฟูริค สามารถยับยั้ง heterofermentative lactic acid bacteria และสนับสนุนการผลิตกรดแลคติคในพืชอาหารหมัก การใช้ 55 – 110 มิลลิโมลต่อลิตรซึ่งเท่ากับ 7.2 – 14.5 กิโลกรัมต่อตันน้ำหนักพืชที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์ จากการเปรียบเทียบอิทธิพลของการใช้ sodium benzoate 2.0 – 6.0 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด กับ

กากน้ำตาล และ mineral acid ต่อการหมักในหญ้า alfalfa และ whole-cropceral พบว่าสามารถเพิ่มคุณภาพการหมัก แต่ไม่มีผลต่อการย่อยได้ของพืชอาหารหมัก แต่ถ้าใช้สูงกว่า 4.0 กรัมต่อกิโลกรัมกับพืชที่มีโปรตีนสูงจะไม่เป็นประโยชน์ต่อการหมัก นอกจากนี้ยังสามารถใช้ผสมกับกรดฟอร์มิก ในอัตรา 1:3 หรือ 1:5 เพื่อควบคุมการสูญเสียบนผิวหน้าของพืชอาหารหมักที่เกิดจากเชื้อพวก *Candina, Hensenula, Geotrichum* และ *Paecilomyces* (Pelhate, 1977) กรดเบนโซอิก (benzoic acid) และเกลือของเบนโซอิก เป็นประโยชน์ต่อการถนอมอาหารของพืชอาหารหมัก ต่อต้านจุลินทรีย์ได้ แต่ไม่ค่อยนำมาใช้เป็นสารเสริมในการหมักมากนัก อาจเนื่องจากเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต

2.3.2.2 กลุ่มที่สามารถยับยั้งกระบวนการหมัก (Fermentation inhibitor)

สารเสริมในกลุ่มนี้จะรวมถึงสารเสริมทุกชนิดที่มีผลสามารถยับยั้งจุลินทรีย์พืชอาหารหมักได้ และสามารถแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ยับยั้งโดยตรง (direct acting) และกลุ่มที่สามารถยับยั้งได้ทางอ้อม (indirect acting)

(1) กลุ่มที่ยับยั้งโดยตรง (direct acting sterilants)

1. ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)

ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นสารเสริมใช้ประโยชน์เหมือนกับ ฟอร์มาลิน ซึ่งเป็นสารละลาย 35 – 40 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองใช้ความเข้มข้น 8 มิลลิโมลต่อลิตร (ฟอร์มาลิน 0.6 กิโลกรัมต่อลิตร น้ำหนักสดพืชที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์) พืชอาหารหมักที่เสริมฟอร์มาลดีไฮด์ จะทำให้จำกัดกระบวนการหมัก ผลของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อพืชอาหารหมักคล้ายกับกรดฟอร์มิกเมื่อเทียบในอัตราเดียวกัน (Goering et al, 1991) ฟอร์มาลดีไฮด์จะทำให้อากาศในพืชอาหารหมักไม่เสถียรภาพ โดยถ้าใช้ปริมาณที่ต่ำมีผลต่อกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid) เนื่องจากกระบวนการหมักไม่ดี และถ้าใช้ในปริมาณสูงจะทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์ตกค้างในพืชอาหารหมักได้

ปัญหาของการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์คือถ้าใช้อัตราน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จะใช้ได้ 3 หรือ 4 สัปดาห์ และถ้าหลัง 10 สัปดาห์ไปแล้วจะเหลือเพียง 0.001 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการใช้ปริมาณต่ำจะทำให้การทำงานสั้นลง แต่พบว่าไม่ได้มีการศึกษาการเสื่อมสลายนี้อย่างจริงจัง ดังนั้นจึงไม่ต่างกับพืชอาหารหมักที่ไม่ได้เสริม และจากการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณสูง (2.4 กรัมต่อกิโลกรัม) จะมีผลเพียง 90 – 120 วัน จากนั้นจะค่อยๆ สลายไป ถ้าใช้เกินจะมีผลต่อความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนในพืชอาหารหมัก การเสริมฟอร์มาลดีไฮด์ในพืชอาหารหมักโดยวิธีหมักสดจะเพิ่ม true protein และเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ที่จะนำไปใช้ได้ แต่ Barker et al. (1973) พบว่ามีผลต่อการกินได้และผลผลิตของสัตว์

การตกค้างของฟอร์มาลินในผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่ใช้พืชอาหารหมักที่เสริมฟอร์มาลดีไฮด์เป็นประจำ พบว่าการใช้เพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ก็สามารถที่จะตรวจพบในน้ำนมได้ การใช้

ฟอร์มาลดีไฮด์อย่างเดียวในพืชอาหารหมักให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร การใช้ร่วมกับกรดฟอร์มิกจะให้ผลดีกว่า แต่การเสริมรวมกันก็เสี่ยงต่อการเกิดกรดบิวทีริคจากกระบวนการหมักและอาจลดการย่อยได้ของโปรตีน อย่างไรก็ตามการเสริมสารทั้ง 2 รวมกันอาจจะลดการตกค้างของฟอร์มาลดีไฮด์หรือกรดที่มีผลต่อการกินได้ของสัตว์

2. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นแก๊สที่ใช้รักษาคุณภาพในการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถลดจำนวนแบคทีเรียในการหมักทุกชนิด แต่ไม่ได้ยับยั้งกิจกรรมของแบคทีเรีย แก๊สนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการหมักพืชที่มีน้ำตาลต่ำ ถ้าใช้ในอัตรา 3.2 กิโลกรัมต่อตัน ส่งผลให้การลด pH ของพืชได้เร็ว โดย pH สุดท้ายคือ 4 ใช้เวลา 1 – 3 วัน ซึ่งผลดังกล่าวเป็นไปในลักษณะการยับยั้งกระบวนการหมัก นอกจากนี้การใช้อัตรา 2.6 กิโลกรัมต่อตันในการหมัก พบว่ามีผลช่วยลดการสูญเสียพื้นที่ผิวของพืชอาหารหมักลง และช่วยเพิ่มวัตถุแห้ง และการเก็บรักษาโปรตีน แต่โภชนะของอาหารหมักไม่เปลี่ยนแปลง ข้อเสียของการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์คือมีกลิ่นเหม็น

3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)

โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นด่างแก่ มีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์บางชนิดในพืชอาหารหมักได้ จากการทดลองใช้ในระดับมากกว่า 4 กรัมต่อกิโลกรัม ในข้าวโพดและถั่วอัลฟาฟ่า จะเพิ่มการผลิตกรดแลคติค ดังนั้นจึงเหมือนการกระตุ้นการหมัก ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าสามารถเพิ่มไนโตรเจนทั้งหมดและลดไนโตรเจนที่ละลายได้ โซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ pH สูงและกรดที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปอิสระแต่เป็นเกลือ จึงเป็นการจำกัดการเพิ่มของกรด

(2) กลุ่มที่สามารถทำให้เกิดการยับยั้งทางอ้อม (Indirect acting sterilants)

1. โซเดียมเมต้าไบซัลไฟท์ (Sodium metabisulfite)

โซเดียมเมต้าไบซัลไฟท์ มีลักษณะเป็นฝุ่น ถ้ามีการ Hydrolyze จะได้ sulfer dioxide และเกลือของกรด ดังนั้นหากใช้ในพืชอาหารหมักจะมีผลเป็นด่างเหมือนกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การมีผลต่อต้านกิจกรรมของจุลินทรีย์ของโซเดียมเมต้าไบซัลไฟท์ จะเป็นผลจากฤทธิ์ของไบซัลไฟท์ไอออนมากกว่าไฮโดรเจนไอออน Woolford (1978) ทดลองใช้โซเดียมเมต้าไบซัลไฟท์กับจุลินทรีย์ โซเดียมเมต้าไบซัลไฟท์จะต่อต้านการทำงานของยีสต์ และพวกเชื้อราน้อยกว่าแบคทีเรีย และโซเดียมเมต้าไบซัลไฟท์มีผลต่อแบคทีเรียที่ไม่ได้ผลิตกรดแลคติคอย่างเดียว (heterofermentative lactic acid bacteria) น้อยกว่ากลุ่มที่สร้างกรดแลคติคอย่างเดียว โซเดียมเมต้าไบซัลไฟท์ความเข้มข้น 12.5 มิลลิโมลต่อลิตร (2.0 กิโลกรัมต่อตัน) pH 6 จะสามารถยับยั้งแบคทีเรียทุกชนิด การใช้มากกว่า 10 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่มีผลต่อ pH แต่เพิ่มกรดแลคติคและลดกรดบิวทีริคในพืชอาหารหมัก แต่โซเดียมเมต้าไบซัลไฟท์ มีผลลดความน่ากินของพืชอาหารหมัก จึงไม่เป็นที่นิยมมากนัก

2. Hexamine (Hexamathylen tetramine)

Hexamine มีผลยับยั้งจุลินทรีย์ในพืชอาหารหมัก ภายใต้ความเป็นกรดของ Hexamine จะปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ ถ้าใช้ที่ความเข้มข้น 72.0 มิลลิโมลต่อลิตร (9.1 กิโลกรัมต่อตันของพืชที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์) และใช้ที่อัตรา 1:10 จะยับยั้งแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก ในการทดสอบพืชอาหารหมักนิยมจะใช้ร่วมกับโซเดียมไนไตร ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะประเมินการใช้ประโยชน์ได้จริงของ Hexamine ได้ การใช้ Hexamine 0.5 - 1.0 กรัมต่อกิโลกรัม สามารถเพิ่มความเสถียรภาพของอากาศให้กับข้าวโพดหมัก Woolford (1978) เปรียบเทียบการใช้ Hexamine ร่วมกับ sodium nitrite และ formaldehyde ร่วมกับ formic acid ในพืชอาหารหมักอัตรา 2.3, 1.1, 2.5 และ 3.0 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พบว่ามีแอมโมเนียในพืชอาหารหมักเป็น 150 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัมของไนโตรเจนทั้งหมด ส่วนการกินได้ทำการทดลองในแกะพบว่าการกินได้ของวัตถุแห้งไม่มีความแตกต่าง การใช้ Hexamineเป็นสารเสริมในพืชอาหารหมักเป็นการเพิ่มต้นทุนเมื่อเทียบกับการใช้สารเคมีตัวอื่นๆ เช่น formaldehyde

3. พาราฟอร์มาลดีไฮด์ (Paraformadehyde)

พาราฟอร์มาลดีไฮด์มีคุณสมบัติคล้ายกับ Hexamine เป็นสารประกอบที่เป็นแหล่งของฟอร์มาลดีไฮด์ ที่มีอันตรายน้อยกว่าฟอร์มาลิน มีผลยับยั้งจุลินทรีย์น้อยกว่าฟอร์มาลดีไฮด์ การใช้ 0.45 กรัมต่อกิโลกรัมของพืชหยาบที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์ จะยับยั้งกระบวนการหมักของพืช พาราฟอร์มาดีไฮด์และฟอร์มาดีไฮด์ทำให้พืชอาหารหมักเป็นประโยชน์ต่อสัตว์มากขึ้น และถ้าใช้ในอัตราต่ำจะสามารถควบคุม clostridium ในกระบวนการหมักได้

4.Methylene-bis-propionate

Methylene-bis-propionate สามารถเป็นแหล่งของ ฟอร์มาลดีไฮด์และกรดโพรพิโอนิก Bothast et al. (1978) ทำการทดลองใช้ Methylene-bis-propionate เทียบกับฟอร์มาลดีไฮด์และกรดโพรพิโอนิก ในอัตรา 7.8, 10.0 และ 8.0 กิโลกรัมต่อตัน ตามลำดับ พบว่าภายใน 9 ชั่วโมงของการทดลองสารประกอบจะแตกตัวได้ ฟอร์มาลดีไฮด์และกรดโพรพิโอนิก และมีคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้สารชนิดเดียว คุณค่าทางโภชนะของพืชอาหารหมักเมื่อทดลองเลี้ยงสัตว์พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2.3.2.3. กลุ่มที่สามารถกระตุ้นกระบวนการหมัก (Fermentation stimulants)

เป็นกลุ่มที่มีผลสนับสนุนมากกว่าการยับยั้งกระบวนการหมัก และมีการกระตุ้นการหมักได้ 3 ทางคือ สารตั้งต้นการหมัก (substrate) ซึ่งสนับสนุนการผลิตกรดแลคติคในกระบวนการหมัก เอนไซม์ (enzyme) ช่วยย่อยส่วนประกอบของพืชอาหารหยาบ ทำให้ได้สารตั้งต้นสำหรับกระบวนการหมัก และจุลินทรีย์ (microbial culture)

(1) สารตั้งต้นกระตุ้นกระบวนการหมัก (Fermentation substrate)

1. กากน้ำตาลและน้ำตาล

กากน้ำตาลและน้ำตาลเป็นสารเสริมสำหรับเพิ่มน้ำตาลในพืชอาหารหมัก การใช้กากน้ำตาลและน้ำตาลในพืชอาหารหมัก มีผลต่อกระบวนการหมัก ที่ชัดเจนที่สุดคือ คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หรือโมเลกุลคู่ แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคสามารถใช้ประโยชน์ได้ดี โดยจะไปมีผลเร่งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และสามารถผลิตกรดได้เร็วขึ้น แต่ใช้กากน้ำตาลในพืชอาหารหมักน้อยกว่า 10 กรัมต่อกิโลกรัมจะลดการย่อยได้ของโปรตีนในหญ้าหมัก โดยเฉพาะในพืชที่มีโปรตีนสูง และทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพต่ำ น้ำตาลฟรุกโตสที่อยู่ในกากน้ำตาลจะสนับสนุนกระบวนการหมักได้สารชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่กรดแลคติคอย่างเดียว ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ลดการผลิตของกรดลง ในส่วนของคุณภาพทางโภชนะของพืชอาหารหมัก เมื่อเสริมกากน้ำตาลทำให้มีผลในระยะยาวต่อความสามารถในการย่อยได้ การกินได้และผลผลิต จากการศึกษาเปรียบเทียบกับการเสริมกรดฟอร์มิก พบว่าการเสริมกากน้ำตาลทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดีกว่า (เสาวนิต พลันสังเกตุ, 2520) แต่ทั้งสองชนิดสามารถสนับสนุนการหมักได้เหมือนกัน (Keady, 1998) ปัญหาการใช้กากน้ำตาลคือต้องใช้น้ำผสมในปริมาณน้อยเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้กากน้ำตาล

ตารางที่ 2.4 แสดงผลของกากน้ำตาลต่อคุณภาพกระถินหมัก

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณของกากน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์)		
	0	2.3	4.5
pH	4.7	4.3	4.1
วัตถุแห้ง	38	38	38
ไนโตรเจนรวม	2.8	2.9	2.9
lactic acid	2.0	4.1	5.0
acetic acid	0.4	0.6	0.7
propionic acid	0.2	0.5	0.6

ที่มา สายัณห์ ทัดศรี (2542)

2. แป้ง (Starch)

แป้งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต โดยส่วนใหญ่แป้งที่ใช้จะอยู่ในรูปของเมล็ดธัญพืช ซึ่งจะทำเพื่อเพิ่มกระบวนการหมัก การใช้เมล็ดธัญพืชบด เช่น ข้าวโพดบด มันสำปะหลัง หรือการใช้แป้งพวกปลายข้าวหรือมอลท์ ไม่มีอิทธิพลต่อการเก็บกักโภชนะ การใช้แป้งเป็นวัตถุดิบเสริมในพืชอาหารหมักจะส่งผลให้คุณค่าทางโภชนะสูงขึ้น ซึ่งจะถูกใช้ประโยชน์ในกระเพาะหมัก และ

เพิ่มการกินได้ของสัตว์ (Keady, 1998) การใช้แป้ง และวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแป้งในพืชอาหารหมักเป็นการเพิ่มโภชนะมากกว่ากระตุ้นกระบวนการหมัก

3. หางนม (Whey)

หางนมเป็นกากตะกอนนมเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารเสริมในพืชอาหารหมัก มี 2 ลักษณะคือ มีน้ำตาลแลคโตสเหลืออยู่เล็กน้อย และมีน้ำสูง อย่างไรก็ตามอาจมีส่วนประกอบของแลคโตบาซีรัส (Lactobacilli) และแร่ธาตุ ซึ่งมีผลต่อกระบวนการหมัก และคุณค่าทางโภชนะของพืช การใช้กากตะกอนนมแห้ง 10 – 50 กิโลกรัมต่อตันในถั่วที่มีวัตถุแห้ง 25 เปอร์เซ็นต์ ระดับของกรดและการฉนอมพืชอาหารหมักสูงกว่าการใช้กากน้ำตาลในอัตราเท่ากัน การใช้กากตะกอนนมแห้ง 10 กรัมต่อกิโลกรัม แลคโตสจะสนับสนุนกรดแลคติคในพืชอาหารหมัก (Dash and Voelker, 1971)

4. เศษเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปผลไม้ (Fruit wastes)

เศษเหลือจากพืชผัก และผลไม้จากโรงงานแปรรูปผลไม้ เป็นแหล่งน้ำตาลที่ดีสำหรับอาหารหมัก เช่นเปลือกสับปะรด ในต่างประเทศจะเป็นพวกแอปเปิล (apple) แพร (pears) เป็นต้น การนำเศษเหลือจากผลไม้เหล่านี้มาทำเป็นพืชอาหารหมักกับพืชอื่นๆ ควรมีแหล่งคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนเพื่อให้ได้อาหารที่สมบูรณ์ Miller and Dalton (1961) ใช้เศษเหลือจากโรงงานแปรรูปมะนาวเสริมลงในอาหารหมัก พบว่าสามารถเกิดการกระตุ้นการหมักได้ดี

5. คาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ช่วยในการยับยั้งการหายใจของพืชในขณะหมัก เมื่อนำมาเสริมลงในพืชอาหารหมักจะทำการสนับสนุนการหมัก แต่ไม่ได้จัดเป็นสารตั้งต้นการหมัก นอกจากนี้ยังไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชอาหารหมักที่ทำจากวัตถุดิบที่ขาดสารตั้งต้นการหมักที่ช่วยสนับสนุนการหมัก การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ในขั้นแรกจะเกิดความร้อนในไซโลและช่วยเพิ่มการย่อยได้

(2) แหล่งเอนไซม์และเอนไซม์ (Enzyme sources and enzyme)

เอนไซม์ที่เสริมลงในอาหารจะใช้สารที่ทำให้เกิดการหมัก เช่นพวกเยื่อใยพืชอาหารหยาบเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต หญ้าและถั่วมีเซลลูโลสสูง ส่วนข้าวโพดมีเซลลูโลสต่ำ แต่มีปริมาณแป้งสูง แหล่งของเอนไซม์คือ Cellulolytic และ amylolytic enzymes และอื่นๆ

1. Cellulolytic enzymes

Cellulolytic enzymes ช่วยในการย่อยเซลลูโลส ดังนั้นการเสริมในพืชอาหารหมักจึงเพิ่มความสามารถในการหมัก คือเป็นการเพิ่มสารตั้งต้นการหมัก การเกิด Hydrolyze ของเซลลูโลส ทำให้เพิ่ม reducing sugar และความเป็นกรด ทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของพืชอาหารหมักสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Stokes and Chen (1994) พบว่าคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างจะ

มีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องหลังการหมัก 28 วัน โดย NDF, ADF, cellulose และ hemicellulose จะลดลงถึง 11 – 13 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Sheperd et al. 1995 แต่คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มความเป็นกรดจากการเสริมเอนไซม์และแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังเพิ่มน้ำตาลกลูโคส และลดองค์ประกอบของเยื่อใยในพืชอาหารหมัก แต่การย่อยได้ของเยื่อใยไม่แตกต่าง (Sheperd et al. 1995) Cellulolytic enzyme ผลิตจาก *Asperillus niger* ทำให้เพิ่มกรดแลคติค และเอนไซม์ที่ผลิตจากเชื้อรา *Trichoderma viride* ก็ให้ผลเหมือนกับที่ได้จากเอนไซม์ที่ผลิตจาก *Asperillus niger* อย่างไรก็ตามการเสริมเอนไซม์ในพืชอาหารหมักจะให้ผลดีกับพืชอาหารหมักที่ทำโดยวิธีหมักสดมากกว่าการหมักแห้ง เนื่องจากความชื้นในอาหารจะทำให้เอนไซม์ทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น Sheperd and Kung (1996) ทำการศึกษาเสริมเอนไซม์ cellulase และ hemicellulase ในพืชอาหารหมัก พบว่าไม่มีผลต่อองค์ประกอบของเยื่อใยในพืชอาหารหมัก และไม่มีผลต่อผลผลิตในโคนม

2. Amylolytic enzyme

amylolytic enzyme ได้มาจากการผลิตของ *Asperillus oryrae* จากรำข้าว และทำให้แป้งเกิดการ hydrolyze และได้น้ำตาล ซึ่งทำให้เพิ่มผลผลิตกรดแลคติคและลดการผลิตกรดอะซิติค บิวทีริคและแอมโมเนียได้

(3) จุลินทรีย์มีชีวิต (Microbial culture)

การลดลงของระดับ pH มีความสำคัญมากกว่าระดับ pH เมื่อสิ้นสุดการหมัก การเสริมกรดทำให้ลด pH ได้ระดับที่ต้องการ แต่จำนวนแบคทีเรียบนพืชมีน้อยอาจเป็นสาเหตุให้ไม่เพียงพอสำหรับการหมักและการหาจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดได้เป็นสิ่งที่ควรพิจารณาเพื่อให้การหมักพืชได้ตามวัตถุประสงค์ การใช้จุลินทรีย์ในการทำพืชอาหารหมักเป็นอีกทางหนึ่งที่น่าสนใจเมื่อเปรียบเทียบกับสารเสริมอื่นๆ ที่ใช้ในปัจจุบัน

1. แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติค (Lactic acid bacteria)

แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติค เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตสารประกอบ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นและรสให้เป็นที่ต้องการของสัตว์ และทำให้สภาพของอาหารอยู่ในลักษณะป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของอาหารหมักได้ แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคสามารถแบ่งออกเป็น 2 พวก คือพวกที่ผลิตกรดแลคติคเป็นหลักมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่า Homofermentative และพวกที่ผลิตสารประกอบหลายชนิดในปริมาณใกล้เคียงกัน เช่น กรดแลคติค คาร์บอนไดออกไซด์ เอทธานอล เป็นต้น แบคทีเรียกลุ่มนี้เรียกว่า Heterofermentative Whittenbury (1961) ได้เสนอข้อพิจารณาความสามารถในการเป็นสารเสริมของจุลินทรีย์ต้องมีเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1) ต้องมีอัตราการเจริญสูงและความสามารถสูงกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่เกิดในอาหารหมัก

2) ต้องเป็น Homofermantative

3) ต้องทนความเป็นกรดสูง และได้ผลผลิตกรดในระดับ pH เท่ากับ 4 ได้เร็วที่สุด

4) ต้องสามารถใช้น้ำตาล glucose, fructose และ sucrose โดยเฉพาะอย่างยิ่ง fructans และ pentosan

5) ต้องไม่ผลิต dextan จาก sucrose หรือ mannitol จาก fructose

6) ไม่ควรทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์

7) ควรเจริญได้ดีในอุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเกิดขึ้นในระหว่างการหมักช่วงแรกๆ

แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคมีอยู่ประมาณ 81 ชนิด (Woolford, 1984) แต่ที่ทำการศึกษาอย่างจริงจังคือ *Lactobacillus plantarum arabinosuse* ซึ่งมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ดังกล่าว แต่ถ้าจำนวนของ *L. plantarum* ที่ใช้น้อยกว่าระดับที่สามารถกดแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ก็ไม่สามารถจะป้องกันการเจริญเติบโตของ Clostridia ได้ ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาการใช้จุลินทรีย์ในการหมักพืชคือ ความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้ของสารตั้งต้นการหมัก โดยจะช่วยกระบวนการหมักพืชที่มีน้ำตาลต่ำ การหมักร่วมกันของจุลินทรีย์และกากน้ำตาลในพืชอาหารหมักพบว่าทั้งสองสามารถลดการสลายโปรตีน และระดับ pH ลดลงเร็ว ลดแอมโมเนียไนโตรเจน และการเสริมแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคลงในพืชอาหารหมักจะทำให้เพิ่มความเป็นกรดได้เร็ว ลดกรดบิวทีริค แอมโมเนีย

2. แบคทีเรียที่ผลิตกรดโพรพิโอนิก (Propionic acid bacteria)

กรดโพรพิโอนิกมีคุณสมบัติเพิ่มความเสถียรภาพทางอากาศของพืชอาหารหมัก และคุณสมบัติดังกล่าวเป็นปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้แบคทีเรียที่ผลิตกรดโพรพิโอนิกในพืชอาหารหมัก

3. ยีสต์ (Yeast)

การเสริมยีสต์มีชีวิตในการทำพืชอาหารหมัก สามารถยับยั้งการแพร่กระจายของ Clostridium ลดการสูญเสียวัตถุแห้ง โดยยีสต์จะสนับสนุนการเจริญเติบโตทั้งแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคและกรดโพรพิโอนิก นอกจากนี้ยังเพิ่มกลิ่นหอมในพืชอาหารหมัก ทั้งยีสต์และจุลินทรีย์ทำให้เกิดกรดแลคติค และเอทานอล ในพืชอาหารหมัก (Woolford, 1984) ซึ่งเอทานอลที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักจะทำให้เกิดการสูญเสียของวัตถุแห้งประมาณ 49 เปอร์เซ็นต์ ของสารตั้งต้นการหมัก

2.3.2.4. กลุ่มที่ยับยั้งจำเพาะจุลินทรีย์ (Specific antimicrobial agents)

สารเสริมกลุ่มนี้มีคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์ดังนั้นจึงพบว่ามีการนำมาใช้หลากหลาย เช่นในการถนอมอาหาร ในการผลิตยา เป็นต้น กลุ่มนี้แบ่งตามการทำงานและแหล่งของสาร โดยกลุ่ม

Antibiotic ได้มาจากจุลินทรีย์ ในขณะที่ synthetic antibiotic ได้จากการสังเคราะห์ นอกจากนี้ยังมีกลุ่มที่สังเคราะห์คือ miscellaneous antimicrobial substances คือกลุ่มเกลือของสารอินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์

(1) กลุ่มที่ผลิตจากจุลินทรีย์ (Antibiotic)

1. Therapeutic antibiotics

Antibiotic ส่วนใหญ่แบ่งออกเป็น Bacitracin, Penicillin, Streptomycin, Tetramycin, Neomycin และอื่นๆ Bacitracin มีคุณสมบัติสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก โดยเฉพาะชนิดที่สร้างสปอร์ แต่ไม่มีผลต่อกลุ่มที่สร้างแลคติค การยับยั้งจะเกิดขึ้นในช่วงแรกของขั้นตอนการหมักของจุลินทรีย์ ไม่มีผลต่อ pH (Langston et al. 1961) การใช้ Antibiotic อย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับกากน้ำตาลในกระบวนการหมักของ alfalfa เมื่อใช้ Antibiotic 4 – 40 กรัมต่อตัน หรือร่วมกับกากน้ำตาล 18 – 36 กิโลกรัมต่อตัน พบว่าไม่มีความแตกต่างขององค์ประกอบทางโภชนะ Antibiotic แต่ละชนิดจะให้ผลไม่เหมือนกัน เช่นการใช้ aureomycin, terramycin, chloramphenicol และ bacitracin ในอัตรา 150 – 200 กรัมต่อกิโลกรัมจะทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดีขึ้น และการใช้ penicillin, terramycin และ bacitracin เสริมลงในพืชอาหารหมักที่หมักโดยใช้พืชสด พบว่าไม่มีผลหรือมีผลน้อยต่อระดับ pH หรือแอมโมเนีย แต่ทั้ง streptomycin และ bacitracin ให้ผลเหมือนการเสริมแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติค โดยสนับสนุนทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพสูงขึ้น

2. Non - Therapeutic antibiotics

Non - Therapeutic antibiotics ใช้ในการถนอมอาหารคนหรืออาหารสัตว์ ใช้ผสมในอาหารสัตว์ในฟาร์ม เพื่อเพิ่มผลผลิตสัตว์ ต่อมาใช้ยับยั้งจุลินทรีย์ที่ไม่จำเป็นในระบบทางเดินอาหาร

1. Nisin

Nisin เป็น Antibiotic ที่ได้จากแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคพวก *S.lactis* ในกระบวนการทำเนยแข็งและอาหารกระป๋อง เพราะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ จากคุณสมบัตินี้จึงนำมาใช้เป็นสารเสริมพืชอาหารหมักได้ การทำงานของ Nisin และ Nisin whey จะต่อต้านจุลินทรีย์ในพืชอาหารหมักบางชนิด โดยความเข้มข้น 50 – 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดการต่อต้านการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดระหว่าง *L. plantarum* และ *Leueondtoc mesenteroides* ถ้าใช้ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะสามารถยับยั้ง *Clotridium butyricum* และ *C. tyrobutyricum* ดังนั้นผลของ Nisin อาจจะเกิดการยับยั้งกระบวนการหมักไปด้วยพร้อมๆ กัน

2. Tylosin

Tylosin ใช้เป็นสารเสริมในอาหารสามารถออกฤทธิ์ได้กว้าง ต่อจุลินทรีย์ของพืชอาหารหมัก และสามารถที่จะเป็นสารจำกัดการหมัก เมื่อใช้ความเข้มข้น 0.03 มิลลิโมลต่อลิตร (20 กรัมต่อตัน)(Woolford, 1975a)

3. Rumensin

Rumensin เป็นเกลือโซเดียมของ Monensin สามารถต่อต้าน โปรโตซัว แบคทีเรียและพวกเชื้อรา ใช้เป็นสารเสริมในอาหาร Prigge and Owens (1976) ทำการทดลองโดยใช้ Rumensin 0.22 กรัมต่อกิโลกรัม ในข้าวโพดหมักมีผลต่อกระบวนการหมัก โดยสนับสนุนให้เกิดการหมักกรดแลคติค

4. Pimaricin

Pimaricin เป็นสารต่อต้านพวกเชื้อรา โดยใช้ควบคุมเชื้อราบริเวณผิวของเนยแข็ง Pimaricin 0.15 มิลลิโมลต่อลิตร (0.18 กรัมต่อกิโลกรัม) จะสามารถยับยั้งยีสต์และราในการหมัก นอกจากนี้ยังเพิ่มความเสถียรภาพของอากาศในข้าวโพดหมัก และเมื่อใช้ 0.02 กรัมต่อกิโลกรัม เสริมลงในข้าวโพดหมักหลังการหมักจะลดการสูญเสียวัตถุแห้งในระหว่างที่พืชอาหารหมักถูกอากาศ (Woolford, 1984)

(2) กลุ่มที่สังเคราะห์ขึ้น (Synthetic antibiotic)

1. Bronopol

สารประกอบ (2-bromo-2-nitropropane-1, 3-diol) เป็นสารต่อต้านแบคทีเรีย ใช้ในการผลิตยาออกฤทธิ์วงกว้างกับจุลินทรีย์ รวมทั้งจุลินทรีย์ของพืชอาหารหมักด้วย ที่ความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลต่อลิตร (0.45 กรัมต่อกิโลกรัม) จะยับยั้งพวกแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ มีผลกระตุ้นการหมักจึงใช้เป็นสารเสริมพืชอาหารหมัก Woolford (1984) พบว่าการใช้ Bronopol สนับสนุนการผลิตกรดแลคติค และลดปริมาณกรดบิวทีริคในหญ้าหมักได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับ formic acid

2. Mylone

สารประกอบ (3,5-dimethyltetrahydro 1,3,5,2-H-thaidiaszine-2 thione) เป็นตัวยับยั้งเชื้อราและกลุ่มพยาธิ Gordon et al. (1965) เสริม Mylone ในอาหารหมัก 0.2 กิโลกรัมต่อตัน พบว่าสามารถควบคุมการเจริญของเชื้อรา การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และแอมโมเนีย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ระหว่างการเปิดหลุมนำอาหารออกมาใช้ประโยชน์เพื่อควบคุมเชื้อรา และอุณหภูมิ

(3) สารพวกกลุ่มสังเคราะห์ (Miscellaneous antimicrobial substances)

1.เกลือ (Sodium chloride)

เกลือใช้ในกระบวนการถนอมอาหาร และสามารถที่จะใช้เป็นสารเสริมในพืชอาหารหมักได้ โดยใช้อัตรา 34.8 กรัมต่อกิโลกรัม มีผลต่อจุลินทรีย์ของพืชอาหารหมัก จุลินทรีย์มีชีวิตอยู่ในน้ำที่เป็นองค์ประกอบของพืช และเจริญเติบโตโดยอาศัยน้ำ เกลือมีคุณสมบัติคือมีความสามารถในการลดการใช้ประโยชน์ของน้ำ เกลือมีผลโดยตรงต่อการต่อต้านจุลินทรีย์พวก Clostridia จะมีความสามารถทนความเค็มลดลงเมื่อ pH ลดลง การใช้เกลือ 10 กิโลกรัมต่อตัน ไม่มีผลต่อเชื้อราใน

ข้าวโพดหมัก แต่ถ้าใช้สูงกว่า 25 กิโลกรัมต่อตันในพืชสดที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และในพืชที่มีวัตถุแห้ง 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถให้ผลดี และไม่มีผลต่อสัตว์ แต่การกินได้ลดลงเล็กน้อย และที่สำคัญคือสัตว์จะกินน้ำเพิ่มขึ้นมาก

2. โซเดียมไนไตร (Sodium nitrite)

โซเดียมไนไตร เป็นสารที่ใช้กันมากในการถนอมอาหาร โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เนื้อและอาหารกระป๋อง นอกจากจะถนอมอาหารแล้วยังทำให้เกิดสีด้วย การใช้เป็นสารเสริมนั้นจะใช้ร่วมกับ Calcium formate โดยที่ sodium nitrite จะออกฤทธิ์วงกว้างต่อจุลินทรีย์ ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลต่อลิตร (3.2 กรัมต่อกิโลกรัม) จะสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทุกชนิดและพวกเชื้อรา Nitrite จะสลายตัวระหว่างการหมัก จึงมีผลต่อพืชอาหารหมักในระยะไม่นาน แต่ก็สามารถยับยั้งพวก Clostridia ได้ถ้ายังมี nitrite อยู่ และทำให้เกิดการหมักได้กรดแลคติดเร็ว โดยจะทำให้พืชอาหารหมักที่มีน้ำตาลต่ำ สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้ Sodium nitrite อาจก่อให้เกิดการสะสมสารก่อมะเร็ง เมื่อใช้เป็นระยะเวลานาน

3. Sodium bisulfite

Sodium bisulfite ใช้อุตสาหกรรมฟอกสี มีความสามารถใช้ออกซิเจนภายในไซโลได้มากขึ้น ดังนั้นจึงสนับสนุนให้เกิดการขาดออกซิเจนภายในไซโลได้เร็วขึ้น เมื่อเสริมลงในข้าวโพดหมักอัตรา 3.6 กิโลกรัมต่อตัน จะจำกัดทั้งกระบวนการของกรดแลคติค และอะซิติคและมีผลเก็บกัก แคโรทีนในพืช อีกทั้งช่วยยับยั้งสารพิษ (Nitrogen dioxide) ถึงแม้จะสามารถใช้เป็นสารเสริมได้ แต่การศึกษาการใช้ Sodium bisulfite มีอยู่น้อย

4. Copper sulfate

Copper sulfate เป็นเกลือที่มีคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์ที่แรงมาก ใช้ในด้านการเกษตร เป็นสารกำจัดพวกรา แบคทีเรีย การใช้ Copper sulfate ในอัตรา 0.15 – 0.2 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่มีผลต่อกระบวนการหมัก Copper sulfate มีคุณสมบัติเป็น Antibiotic ใช้ในการเสริมในพืชอาหารหมัก แต่อาจจะไม่เหมาะสมเพราะทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น

2.3.2.5. กลุ่มที่เพิ่มคุณค่าทางโภชนะในพืชอาหารหมัก (Nutritional additive)

เป็นสารกลุ่มที่ทำให้คุณค่าทางโภชนะของพืชอาหารหมักเพิ่มขึ้น บางชนิดมีผลต่อกระบวนการหมัก สารเสริมโภชนะจะสามารถเพิ่มทั้งคุณค่าทางโภชนะ และทำให้การหมักมีคุณภาพ สารเสริมโภชนะมีลักษณะ 2 อย่างคือ เป็นแหล่งพลังงาน โดยมากอยู่ในรูปคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ใช้เสริมในพืชตระกูลถั่วที่มีโปรตีนสูง และแหล่งของไนโตรเจนหรือแร่ธาตุ ใช้เสริมในเมล็ดธัญพืชอาหารหมัก เพราะมีพลังงานสูงแต่โปรตีนและแร่ธาตุต่ำ

(1) สารเสริมพวกพลังงาน (Energy additive)

สารเสริมพวกพลังงาน เป็นการเสริมคุณค่าทางโภชนะของพืชอาหารหมัก หรือเพื่อให้ได้คุณภาพที่ต้องการ เช่นพวกแป้ง น้ำตาล และเมล็ดธัญพืชต่างๆ

(2) สารเสริมที่เป็นแหล่งไนโตรเจนและแร่ธาตุ (Nitrogen and mineral additive)

1. ยูเรีย (Urea)

การเสริมยูเรีย 5.0 กรัมต่อกิโลกรัม ในข้าวโพดที่มีความหนาแน่นต่ำ (0.8 หรือ 1.0 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ทำให้กระบวนการหมักเกิดช้า แต่เมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่า สามารถเพิ่มโปรตีนและแอมโมเนียมากกว่า 50-60 เปอร์เซ็นต์ และ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การใช้ยูเรียในการเก็บถนอมอาหารได้ดีเท่ากรดโพรพิโอนิก และอาจจะสูงกว่า แอมโมเนียทั้งในสภาพ anhydrous หรือ aqueous ซึ่งทั้งสองชนิดมีกลิ่นเหม็น และเกิดการกัดกร่อน แต่ก็เป็นอุปสรรคในการเลือกใช้ เพราะการใช้แอมโมเนียโดยตรงจะมีผลในการเก็บถนอมอาหารได้รวดเร็วกว่าการใช้ยูเรีย ซึ่งจะต้องมีการสลายตัวให้ได้แอมโมเนียก่อน แอมโมเนียใช้ได้ดีกว่าในการเพิ่มความเสถียรภาพของอากาศในพืชอาหารหมัก แต่ยูเรียมีการทำงานได้นานกว่า เพราะจะค่อยๆ ปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาในระหว่างเก็บรักษา อย่างไรก็ตามทั้งยูเรียและแอมโมเนียถูก hydrolyze แล้วสามารถเพิ่มความคงสภาพของอากาศและมีผลยับยั้งยีสต์ได้ การใช้ร่วมกันของยูเรียและแร่ธาตุ โดยเฉพาะ calcium carbonate (limestone) สามารถปริมาณของกรดแลคติคและกรดอะซิติคได้ (Bolsen et al. WWW, 1999a) โดย calcium carbonate จะสนับสนุนการผลิตกรดแลคติค ในช่วงแรกของการหมักและเพิ่มอัตราส่วนแอมโมเนีย ไนโตรเจน แต่ทั้งสองชนิดเป็นสารยับยั้งการเกิดกรด เพราะมีคุณสมบัติเป็นสารปรับความเป็นกรดเป็นด่าง ทำให้เพิ่มระยะเวลาของกระบวนการหมักได้

2. แอมโมเนีย (Ammonia)

แอมโมเนียที่อยู่ในสภาพ anhydrous หรือ aqueous ammonia ใช้ในการทำพืชแห้ง สนับสนุนการย่อยได้ ส่วนการเสริมในพืชอาหารหมัก ผลจะคล้ายกับการใช้ยูเรีย การใช้ในอัตรา 2.3 กรัมต่อกิโลกรัม จะสนับสนุนการผลิตกรดแลคติค ถ้าใช้ในปริมาณสูงจะเพิ่มระดับ pH ตั้งแต่เริ่มต้นและผลสุดท้ายของพืชอาหารหมัก และลดจำนวนเชื้อรา ซึ่งลักษณะเหมือนกับการใช้ยูเรียที่ระดับไนโตรเจนเท่ากัน

3. Miscellaneous nitrogenous compounds

Buret และ cyanuric ได้ผลเหมือนกับการใช้ยูเรีย โดยใช้ 10 กรัมต่อกิโลกรัมมีผลต่อกระบวนการหมักเท่ากับยูเรีย 7.5 กรัมต่อกิโลกรัม โดยมีผลเพิ่มเวลาการหมักให้นานและเพิ่มแอมโมเนีย Thiourea และ diammonium phosphate ใช้อัตรา 3 และ 4 กิโลกรัมต่อตัน thiourea ที่เสริมลงในพืชอาหารหมักทำให้อัตราส่วนระหว่าง กรดแลคติค และกรดอะซิติคสูงขึ้น โปรตีนหยาบย่อยได้

ดีขึ้น Diammonium phosphate เสริมลงในพืชอาหารหมักจะเป็นตัวกลางของ thiourea สารเสริมทั้งสองเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนหยาบดีขึ้น การใช้ Ammonium sulfate ใช้ 5.4-22 กิโลกรัมต่อตัน พบว่าไม่มีผลต่อกระบวนการหมัก

2.4 อาหารผสมสำเร็จรูป (Total mixed ration (TMR) หรือ complete feed)

การให้อาหารโคนมโดยทั่วไปในประเทศไทยนิยมให้อาหารหยาบแยกจากอาหารข้น ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกในการใช้กับฟาร์มโคนมขนาดเล็ก ทั้งนี้เพราะเกษตรกรสามารถให้อาหารหยาบแบบเต็มที่และให้อาหารข้นตามอัตราส่วนของน้ำนมที่ได้ ซึ่งจะมีผลทำให้ระดับ pH ในกระเพาะหมักไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การที่ระดับ pH ในกระเพาะหมักเปลี่ยนแปลงไปมาเช่นนี้จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมักได้ (ไพบูลย์ ใจเด็ด, 2537) ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะมีการจัดการโดยให้อาหารข้นและอาหารหยาบพร้อมๆ กันในรูปอาหารผสมสำเร็จรูป ซึ่งการให้อาหารผสมสำเร็จรูปนี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในกระเพาะหมักน้อยมาก อาหารผสมสำเร็จรูปเป็นการนำเอาวัตถุดิบอาหารสัตว์มาผสมกัน ในสัดส่วนที่เหมาะสมและมีโภชนะต่างครบตามความต้องการของสัตว์ ซึ่งจะอยู่ในรูปอัดเม็ด รูปแบบผงหรือรูปแบบหมักก็ได้ โดยสูตรอาหารจะคำนวณเป็นสูตรมาตราฐาน เพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ในระยะต่างๆ ของการให้ผลผลิต ซึ่งจะให้ตามความต้องการโภชนะ โดยพิจารณาตามน้ำหนักตัว ผลผลิตและช่วงของการให้นม สูตรอาหารผสมสำเร็จรูป จะมีสูตรที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่หาได้ โดยคำนวณให้มีโภชนะครบตามความต้องการของโคนม ในส่วนของอาหารหยาบควรจะใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นเป็นหลัก เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาตลอดจนการขนส่ง

2.4.1 แหล่งของอาหารหยาบและอาหารข้น

ในการการเลี้ยงโคนมเพื่อการผลิตน้ำนมให้ได้ผลผลิตตรงตามพันธุกรรมแล้ว โคนมต้องได้รับโภชนะครบตามความต้องการของร่างกาย ในการจัดการให้อาหารโคนม อาหารหยาบเป็นอาหารที่จำเป็นต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าไม่มีการให้อาหารหยาบแก่สัตว์เคี้ยวเอื้องเลย จะทำให้สภาวะในกระเพาะหมักสูญเสียไป เพราะในกระเพาะหมักสามารถนำโภชนะที่ได้จากกระบวนการหมักคือกรดไขมันระเหยได้ โดยเฉพาะกรดโปรพิโอนิคผ่านกระบวนการเมตตาบอลิซึม เพื่อให้ได้พลังงานออกมา ส่วนกรดอะซิติค และกรดบิวทิริคจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนม แหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือพืชอาหารสัตว์ และผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยที่คุณสมบัติของอาหารหยาบและอาหารข้นที่จะนำมาผสมกัน จะต้องมีสัมประสิทธิ์การย่อยได้ และมีความน่ากินสูง มีแหล่งของพลังงานที่ย่อยได้ง่าย แหล่งของพลังงานที่ไหลผ่านในระดับที่เหมาะสม และมีแหล่งของโปรตีนไหลผ่านสูง (ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด) (ฉลอง และคณะ, 2540)

2.4.2 สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น

ในการผสมอาหารผสมสำเร็จรูป สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นมีค่าไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาผสมในสูตรอาหาร แต่การที่มีสัดส่วนของอาหารหยาบสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของโคลดลง (Dhiman et al., 1995; Tessmann et al., 1991) ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำนมและปริมาณแลคโตสในน้ำนมลดลง (Macleod et al., 1983) แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น (Macleod et al., 1980) และเมื่อโคได้รับพลังงานไม่เพียงพอ ร่างกายจะทำการดึงเอาพลังงานสะสมในร่างกายออกมาใช้ ทำให้โคมีน้ำหนักลดลง (Tessmann et al., 1991) Dhiman et al., (1995) ได้ทำการทดลองศึกษาสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่มีผลต่อเมตาโบไลต์ในเลือด พบว่า เมื่อสัดส่วนของอาหารหยาบเพิ่มขึ้น β-hydroxybutyrate จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นตามสัดส่วนอาหารหยาบที่เพิ่มขึ้น แต่กลูโคสมีปริมาณลดลง ซึ่งพบว่าในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปควรมีสัดส่วนของอาหารหยาบไม่เกิน 60 เปอร์เซ็นต์ (Hernandez et al., 1976; Weiss and Shokey., 1990; Weiss and Shokey., 1991)

2.4.3 ขนาดของเยื่อใยในอาหารผสมสำเร็จรูป

ในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป จำเป็นที่จะต้องลดขนาดของอาหารหยาบลงเพื่อลดความฟ่ามของอาหารสามารถเพิ่มการกินได้ของน้ำหนักแห้งและลดการเลือกกินอาหาร แต่อย่างไรก็ตามการลดขนาดของอาหารหยาบมีผลทำให้โคนมลดเวลาในการเคี้ยวเอื้อง การหลั่งของน้ำลายลดลง อัตราไหลผ่านของอาหารหยาบออกจากกระเพาะหมักเร็วขึ้น ทำให้การย่อยได้ของอาหารต่ำ และสัดส่วนของกรดอะซิติคต่อโปรปิโอนิคลดลง นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ไขมันนมในน้ำนมลดต่ำลงด้วย Woodford et al (1986) ได้ทำการศึกษาขนาดความยาวของเยื่อใยที่ระดับ 0.26, 0.46, 0.64 และ 0.90 ซม. โดยใช้ระดับของ NDF เดียวกันคือ 27.4 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติของปริมาณการกินได้ ระยะเวลาในการเคี้ยวเอื้อง ปริมาณน้ำนม การย่อยได้ และอัตราการไหลผ่านของอาหารจากกระเพาะหมัก แต่ที่ระดับขนาดของเยื่อใยที่ยาวกว่าหรือเท่ากับ 0.64 ซม. สามารถป้องกันการลดลงของไขมันได้ Grant et al. (1990) ได้ทำการศึกษาขนาดของหญ้าหมักในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีขนาดความยาว 2.0, 2.6 และ 3.0 มม. พบว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณการกินได้ และผลผลิตน้ำนม แต่ในส่วนของไขมันนมพบว่าลดลงเมื่อลดขนาดของเยื่อใยลง (3.8, 3.6 และ 3.0 ตามลำดับ) นอกจากนี้ระดับ pH และสัดส่วนของกรดอะซิติคต่อโปรปิโอนิคลดลงเมื่อโคได้รับอาหารที่มีขนาดเยื่อใยลดลง การที่เปอร์เซ็นต์ไขมันนมลดลงนั้น มีผลมาจากกระบวนการสร้างไขมันในน้ำนมจะใช้กรดไขมันระเหยได้เป็นสารตั้งต้น โดยเฉพาะอะซิติค ด้วยเหตุนี้การที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับเยื่อใยที่มีขนาดเล็กอัตราการไหลผ่านออกจากกระเพาะหมักที่เร็วจะทำให้ปริมาณของกรดอะซิติคที่ผลิตได้นั้นต่ำ และมีผลทำให้ไขมันลดลงด้วย

2.4.4 ผลของอาหารผสมสำเร็จรูปต่อโคนม

การใช้อาหารผสมสำเร็จรูป จากการศึกษาพบว่าทำให้กระเพาะหมักของโคนมใช้อาหารได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้การย่อยได้ของอาหารในกระเพาะดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ระดับของ pH ภายในกระเพาะหมักอยู่ในระดับที่เหมาะสม ทำให้ประชากรของจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นอันจะส่งผลให้มีโปรตีนจากจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ในส่วนของอาหารผสมสำเร็จรูปต่อสุขภาพโคนมมักจะเกิดปัญหาขึ้นเมื่อในสูตรอาหารนั้นมีอาหารข้นอยู่ในระดับสูง และอาหารหยาบในระดับต่ำ โดยมักจะทำให้สัตว์ท้องอืด (bloat), parakeratosis, การทำงานของตับผิดปกติไป ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารจำเป็นที่จะต้องมีระดับของเยื่อใยที่เพียงพอต่อความต้องการของโคนม Rakes (1969) แนะนำว่าระดับของเยื่อใย ADF ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถป้องกันท้องอืดได้ และเยื่อใย NDF ที่ระดับ 30-35 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้สัตว์มีสุขภาพดี

2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกินอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การกินอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะถูกควบคุมโดยระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system) โดยมีสมองส่วนไฮโปธารามัส (Hypothalamus) ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางควบคุมการกินอาหาร ในส่วนของไฮโปธารามัสยังแบ่งออกเป็นสองส่วนย่อยๆ คือ ส่วนของ ventro-media area ทำหน้าที่ควบคุมเกี่ยวกับความอิ่ม (satiety) และส่วนของ lateral area ทำหน้าที่ควบคุมความอยากกินอาหารหรือความหิว (hunger, feeding, appetite)

การกินได้อาหารอย่างอิสระ (voluntary food intake) ของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะถูกควบคุมด้วยปัจจัยหลักๆ 2 ประการ คือ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้องการโภชนะของสัตว์ประกอบกับความสามารถของสัตว์ในการใช้ประโยชน์จากโภชนะที่ถูกดูดซึม (metabolic factors) และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถของสัตว์ที่จะกินอาหาร ความจุของกระเพาะอาหาร ประกอบกับความสามารถในการย่อยอาหารในระบบทางเดินอาหาร (physical factors)

การควบคุมการกินอาหารสามารถพิจารณาได้จากการที่สัตว์พยายามที่จะปรับความสมดุลย์ของพลังงานภายในร่างกายให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม หรืออาจกล่าวโดยทั่วไปได้ว่าสัตว์พยายามที่จะรักษาความสมดุลย์ของพลังงานภายในร่างกายโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณการกินอาหารในรูปพลังงาน เป็นสัดส่วนกับความต้องการพลังงานของตัวสัตว์เอง รวมทั้งพยายามปรับให้เข้ากับสภาพทางสรีรวิทยาของตัวสัตว์ในระยะนั้น เช่น อายุ ขนาด น้ำหนัก การตั้งท้อง การให้ผลผลิตของสัตว์ และพยายามปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิของอากาศในขณะนั้น

สรีรวิทยาการควบคุมการกินอาหารเริ่มจาก End Products ของการย่อยและ Metabolism จะเป็นตัวกระตุ้นระบบประสาทรับความรู้สึกที่อยู่ใน Gastrointestinal Tract, Hepatic Portal System, Adipose Tissue และ/หรือ Peripheral และ Cerebrospinal Fluid เมื่อส่วนต่างๆเหล่านี้รับรู้สภาพทาง

โภชนะ ก็จะส่งสัญญาณกลับไปยังระบบประสาทรับรู้ที่สมอง สมองจะสั่งการการควบคุมการกินอาหาร คือ ให้สัตว์กินอาหารหรือหยุดกินอาหาร

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบ (Roughages) เป็นอาหาร การกินได้อาหารจะถูกจำกัดโดยความจุของกระเพาะ (Rumen Capacity) ทั้งนี้สังเกตได้จากสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารที่มี Fibre อยู่สูง จะหยุดกินอาหารก่อนที่จะได้รับพลังงานเพียงพอตามความต้องการ ปัจจัยทางกายภาพนี้จะเกี่ยวข้องกับ ความสามารถในการขยายตัว (Distention) ของ Reticulo-rumen และการไหลผ่านของ Digesta ออกจาก Reticulo-rumen

สัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบ (Roughages) เป็นอาหารหลัก จะกินอาหารได้จำนวนหนึ่งซึ่งค่อนข้างคงที่ตามความจุของกระเพาะ กล่าวคือเมื่อสัตว์กินอาหารหยาบเข้าไประดับหนึ่งจนกระเพาะไม่สามารถที่จะขยายตัวรับอาหารเข้าไปได้อีก สัตว์จะหยุดกินอาหาร ซึ่งการขยายตัวของกระเพาะจะถูกกำหนดโดยความจุของช่องท้อง (Abdominal Cavity) อีกทีหนึ่ง นอกจากนี้ถ้าแม่โคตั้งท้อง การเจริญเติบโตของตัวอ่อน (Foetus) จะกินเนื้อที่ภายในช่องท้อง ทำให้ความจุของช่องท้องลดลง เป็นเหตุให้จำกัดการกินอาหารเพราะกระเพาะขยายตัวได้น้อยกว่าปกติ การสะสมไขมันในช่องท้องก็เช่นเดียวกัน คือ จะลดขนาดความจุของช่องท้องลง

สรีรวิทยาการควบคุมให้สัตว์หยุดกินอาหารเมื่อกระเพาะขยายตัวเต็มที่ เกิดจากที่ผนังกระเพาะมีประสาทรับความรู้สึกถึงการขยายตัวของ Rumen แต่กลไกการส่งสัญญาณความรู้สึกยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด กลไกที่เกี่ยวข้องอาจเป็นเพราะสัตว์เกิดความอึดอัด ทำให้ไปกระตุ้นให้เกิดการควบคุมให้สัตว์หยุดกินอาหาร

การจำกัดทางด้านกายภาพของช่องว่างภายใน Gastrointestinal Tract สามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากปริมาตรความจุมากกว่าน้ำหนักของ Digesta ปัจจัยควบคุมทางกายภาพจะเกี่ยวข้องถึงความสัมพันธ์ระหว่างความจุของระบบทางเดินอาหาร, ส่วนประกอบที่เป็น Fibre ในอาหาร, อัตราการย่อยสลายของอาหารดังกล่าว และการไหลผ่านของอาหาร ฉะนั้นส่วนประกอบของอาหารที่ไม่ถูกย่อยจะเป็นปัจจัยทางกายภาพที่สำคัญทำให้จำกัดการกินได้ของอาหารของสัตว์

นอกจากคุณสมบัติทางกายภาพของอาหารจะเป็นตัวกำหนดปริมาณการกินได้ของอาหารแต่ละมื้อแล้วยังเป็นตัวกำหนดรูปแบบ (Pattern) การกินอาหารของสัตว์อีกด้วย กล่าวคือถ้าสัตว์ได้รับอาหารข้นหรือเมล็ดธัญพืชเป็นอาหารสัตว์จะกินอาหารในมื้อนั้นๆในปริมาณมาก แต่กินไม่บ่อย แต่ถ้าให้กินอาหารหยาบจำนวนมาก สัตว์จะกินอาหารหยาบนั้นครั้งละน้อยๆแต่บ่อยครั้งต่อวัน

อย่างไรก็ตามบทบาทที่แน่ชัดของ Gut Fill ในฐานะที่เป็นตัวควบคุมการกินอาหารยังคงเป็นที่ถกเถียงและยังไม่เป็นที่สรุปแน่ชัด เพราะมีปัจจัยอื่นๆเข้ามาเกี่ยวข้องโดยเฉพาะชนิดของอาหาร (Type of Feed) ที่สัตว์กิน

อัตราการไหลผ่านของ Digesta จาก Reticulo-rumen ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิ ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร, อัตราการย่อยสลายทางกายภาพ (การเคี้ยวและการเคี้ยวเอื้อง) และทางเคมี (Microbial and Enzymatic Digestion) ความสามารถในการบีบรัดกล้ามเนื้อของกระเพาะและขนาดของ Reticulo-omasal Orifice

ถ้าส่วนประกอบทางเคมีของอาหารประกอบด้วยส่วนที่ย่อยได้ง่าย เช่น Soluble Carbohydrate ในปริมาณมาก Digesta ก็จะไหลผ่านได้เร็ว ในทางตรงกันข้ามถ้าอาหารประกอบด้วย Structural Carbohydrate ที่ย่อยได้ยากหรือประกอบด้วย Fibre ที่ย่อยได้ยากในปริมาณมาก อาหารจะถูกย่อยได้ช้า Digesta ก็จะไหลผ่าน Reticulo-rumen ได้ช้าด้วย

อัตราการย่อยสลายทางกายภาพและทางเคมี ก็เป็นเช่นเดียวกันคือถ้าย่อยได้ช้า Digesta ก็จะไหลผ่านได้ช้า ถ้าย่อยสลายได้เร็วก็ไหลผ่านได้เร็ว ความสามารถในการบีบรัดกล้ามเนื้อของกระเพาะถ้ามีการบีบรัดที่รุนแรงและบ่อยครั้ง Digesta ก็จะถูกผลักดันให้ผ่าน Reticulo-omasal Orifice ได้มาก ขนาดของ Reticulo-omasal Orifice ถ้ามีขนาดใหญ่ Digesta ก็จะไหลผ่านได้สะดวก

การที่อาหารถูกเก็บกักอยู่ใน Reticulo-rumen เรียกว่า Retention of Feed ซึ่งจะทำให้โอกาสในการหมักของอาหารโดยจุลินทรีย์มีมากขึ้น โดยทั่วๆไปร้อยละ 60 ของอินทรียวัตถุ (Organic Matter) จะถูกย่อยภายใน Reticulo-rumen ระยะเวลาที่อาหารถูกเก็บกัก (Retention time) ขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่กิน (ถ้าสัตว์กินอาหารได้มาก Retention time จะลดลง), ลักษณะทางกายภาพของอาหารหยาบ (ถ้าอาหารหยาบเป็นเส้นยาว Retention time จะเพิ่มขึ้น), สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น (ถ้าสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นมาก Retention time เพิ่มขึ้น), ส่วนประกอบของ Fibre และลักษณะทางกายภาพของ Fibre (ถ้าอาหารมี Fibre มาก และเป็น Fibre ที่ย่อยได้ยาก Retention Time จะเพิ่มขึ้น)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนไหลของอนุภาคอาหาร (Feed particles) จาก Reticulo-rumen ประกอบด้วยขนาดของ Feed Particles (ถ้ามีขนาดเล็กจะไหลผ่านได้เร็ว), ความหนาแน่นของ Feed Particles (ถ้ามี Density สูง จะไหลผ่านได้เร็ว), อัตราการลดขนาดของ Feed Particles (ถ้าลดได้ช้าก็ไหลผ่านได้ช้า), ส่วนประกอบของ Cell Wall ในอาหาร (ถ้ามีมากจะไหลผ่านได้ช้า), Hydration Time (ถ้าเร็วจะทำให้ไหลผ่านได้เร็ว), pH (ถ้า pH ต่ำ จะไหลผ่านได้ช้าเนื่องจากย่อยได้ช้า) ความแรงและความถี่ของการบีบตัวของ Rumen และ Abomasum (ถ้าแรงและถี่จะไหลผ่านได้เร็ว)

อาหารที่ไม่ถูกย่อย (Undigested feed) จะไหลผ่าน Reticulo-omasal Orifice ได้ เมื่อถูกย่อยจนมีขนาดเล็กกว่า 2.0 mm. แต่อัตราการไหลผ่านจะขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่ไหลผ่าน กับการบีบตัวของกระเพาะแต่ละครั้งมากกว่าขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคของอาหาร (Feed Particle Size)

End Products จากการย่อยพลังงานในอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่จะเป็น VFAs ซึ่ง VFAs เหล่านี้จะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการควบคุมการกินอาหาร VFAs ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่

Propionate และ Acetate ซึ่งถ้าอาหารถูกย่อยได้ VFAs ทั้งสองนี้มาก จะทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร เพราะ VFAs ทั้งสองเป็นตัวที่ทำให้เกิดการส่งสัญญาณความอิ่ม (Satiety) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วน VFA อีกชนิดหนึ่งคือ Butyrate มีบทบาทน้อย สำหรับ Lactate เข้าใจว่าอาจทำให้เกิดการลดการเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหาร ไม่ใช่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการหยุดกินอาหารเพราะความอิ่ม

สภาพความเป็นกรดเป็นด่างในกระเพาะ Reticulo-rumen ก็มีส่วนในการส่งสัญญาณการควบคุมการกินอาหารเช่นเดียวกับ VFAs กล่าวคือ ถ้า pH ใน Reticulo-rumen ลดลง จะมีส่วนทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร แต่ระดับ pH ในกระเพาะจะเป็นตัวกำหนดการกินอาหารเฉพาะในระยะสั้นๆเท่านั้น เพราะระดับ pH มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ขนาดของตัวสัตว์เป็นตัวกำหนดปริมาตรของช่องท้อง (Abdominal cavity) ซึ่งจะมีส่วนสัมพันธ์กับความจุกระเพาะ (Rumen capacity) สัตว์ที่มีขนาดใหญ่ย่อมกินอาหารได้มากกว่าสัตว์ที่มีขนาดเล็ก นอกจากนี้ขนาดตัวสัตว์ยังมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักของตัวสัตว์ ซึ่งโดยปกติสัตว์ที่มีน้ำหนักมากจะกินอาหารได้มากกว่าสัตว์ที่มีน้ำหนักน้อยกว่า แต่ไม่แน่เสมอไปเพราะน้ำหนักตัวสัตว์อาจขึ้นอยู่กับ ขนาดโครงร่างและการสะสมไขมัน (ความอ้วน) ยกตัวอย่างเช่นสัตว์ที่มีขนาดเท่ากัน ตัวที่อ้วนกว่าจะมีน้ำหนักมากกว่า แต่กลับกินอาหารได้น้อยกว่าเพราะมีไขมันสะสมอยู่มาก และในสัตว์ที่มีน้ำหนักเท่ากัน ตัวที่ผอมกว่ามักกินอาหารได้มากกว่าตัวที่อ้วน

อายุของสัตว์ก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกินได้ กล่าวคือการกินได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อสัตว์เจริญเติบโตจากอายุน้อยไปถึงอายุมากขึ้น พันธุกรรมของสัตว์ที่เกี่ยวข้องกับการกินได้จะขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักของตัวสัตว์ในแต่ละพันธุ์ เช่นพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่จะกินอาหารได้มากกว่าพันธุ์ที่มีขนาดเล็ก

ระหว่างการตั้งท้อง ขนาดของตัวอ่อนจะเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ และมีความต้องการโภชนะเพื่อการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น ฮอร์โมนในร่างกายของแม่สัตว์ก็มีการเปลี่ยนแปลงด้วย ในช่วงต้นและช่วงกลางของการตั้งท้อง สัตว์จะกินอาหารเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีอัตราการเกิด metabolism เพิ่มขึ้น สัตว์มีความต้องการอาหารเพิ่มขึ้นเพื่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และอาจเกิดจากการเพิ่มปริมาณ Progesterone ในกระแสเลือดเหนี่ยวนำให้กินอาหารมากขึ้นด้วย

เมื่อถึงระยะใกล้คลอดสัตว์จะกินอาหารลดลง โดยเฉลี่ยสัตว์จะกินอาหารลดลงประมาณ 0.2 kgDM/สัปดาห์ในช่วง 6 สัปดาห์ก่อนคลอด การกินอาหารลดลงนี้เกิดจากการลดลงของปริมาณของช่องท้องเพราะการเติบโตของตัวอ่อนและการสะสมของไขมันกินเนื้อที่ของช่องท้อง และอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนภายในร่างกาย

ในโคนม โคที่กำลังรีดนมจะกินอาหารมากกว่าโคที่ไม่ได้รีดนมหรือโคหยุดรีดนม ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว โครีดนมจะกินอาหารมากกว่าโคหยุดรีดประมาณร้อยละ 42

2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยได้อาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

อาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะถูกทำให้มีขนาดเล็กลงโดยเริ่มจากการบดเคี้ยว อาหารที่ถูกเคี้ยวจะถูกผสมคลุกเคล้ากับน้ำลายภายในช่องปาก แล้วผ่านเข้าสู่ Reticulo-rumen ในรูปของ Bolus

ภายใน Reticulo-rumen ซึ่งเป็นส่วนของกระเพาะที่มีขนาดใหญ่ จะประกอบไปด้วยอาหารที่สัตว์กิน ของเหลวที่อยู่ภายใน Rumen (Rumen Fluid) จุลินทรีย์เป็นจำนวนมหาศาล ซึ่งมีส่วนในการย่อยอาหาร การย่อยอาหารภายใน Reticulo-rumen นี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และอาหารจะถูกย่อยภายใน Reticulo-rumen ถึงร้อยละ 60 ของอาหารที่สัตว์กินเข้าไป

การย่อยที่เกิดขึ้นภายใน Reticulo-rumen เกิดจากการหมักของอาหารโดยจุลินทรีย์ ฉะนั้นอาหารที่กินเข้าไปจะย่อยได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะ และความสามารถของจุลินทรีย์ที่จะย่อย Carbohydrates, Cellulose ซึ่งมีโครงสร้างซับซ้อนที่อยู่ในผนังเซลล์ (Cell Wall) ของพืชอาหารสัตว์

สภาพแวดล้อมของ Reticulo-rumen จะถูกควบคุมโดยชนิดและปริมาณของอาหารที่กิน การขับน้ำลาย (Salivation) การเคี้ยวเอื้อง (Rumination) การขับน้ำย่อยต่างๆ (Secretion) ในกระเพาะ การดูดซึม (Absorption) ของโภชนะผ่านผนัง Reticulo-rumen และการไหลผ่านของอาหารไปตามระบบทางเดินอาหาร การรักษาสภาพความเป็นกลางภายใน Reticulo-rumen โดยการปรับ pH ของ Rumen Fluid ตามขบวนการดังกล่าวข้างต้น จะทำให้เกิดการหมักในกระเพาะอย่างต่อเนื่อง การดำรงอยู่ของจุลินทรีย์ในระดับที่สมดุลย์คงที่เกิดจากการขยายปริมาณของจุลินทรีย์ ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์จำนวนหนึ่งจะไหลผ่าน Reticulo-rumen ไปตามทางเดินอาหาร ส่วนหนึ่งตายและเกิดขบวนการ Lysis ของจุลินทรีย์ภายใน Reticulo-rumen

ระบบนิเวศน์วิทยาของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะ Rumen ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนและขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์กิน ภายใน Rumen โครงสร้าง molecule ของ cell wall ของอาหารจะถูกย่อยสลายลงโดย Anaerobic Bacteria , Protozoa และ Fungi อัตราการย่อยสลายของอาหารภายใน Reticulo-rumen ขึ้นอยู่กับ ส่วนประกอบทางกายภาพและทางเคมีของอาหาร อาหารที่มีส่วนประกอบของ Soluble Fractions อยู่สูงจะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าอาหารที่มีส่วนประกอบของ Insoluble Structural Fractions อยู่สูง

โดยทั่วไปแล้วเมื่อระดับ pH ใน Rumen ลดต่ำลง อัตราการย่อยได้ของอาหารประเภท Fibre จะลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะจำนวนและการทำงานของจุลินทรีย์ประเภท Cellulolytic Species ลดลง การปรับระดับ Rumen pH ให้สูงขึ้น อาจทำได้โดยให้สัตว์กิน Buffers เช่น $NaHCO_3$ จะทำให้การย่อยได้ของ Fibre ใน Rumen เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการให้ Buffers จะทำให้การย่อยได้ของอาหารจำพวกแป้งใน Rumen และในระบบย่อยอาหารอื่นๆ ลดลง

ปกติแล้ว Rumen pH จะอยู่ระหว่าง 5.5-7.0 แต่ระดับ pH ที่เหมาะสมสำหรับการแตกตัวของโปรตีน และการเกิด Ammonia ใน Rumen จะอยู่ระหว่าง 6.0-7.0 ซึ่งระดับ pH นี้จะทำให้เกิดการทำงานของจุลินทรีย์สูงสุด ภายใต้การจัดการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยทั่วๆ ไป ที่ปฏิบัติกันอยู่ระดับ pH ใน Rumen จะอยู่ในช่วงนี้ซึ่งเหมาะกับการย่อยสลายของโปรตีนในอาหาร แต่ถ้าให้สัตว์ได้รับอาหารข้นในปริมาณมากระดับ pH ใน Rumen จะลดลง เป็นผลให้การย่อยได้ของอาหารหยาบลดลงด้วย

ระดับการกินได้ของอาหารจะมีผลต่ออัตราการไหลผ่านของอาหารออกจาก Reticulo-rumen กล่าวคือ เมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้น ปริมาตรของของเหลวใน Rumen (Rumen Fluid Volume), เปอร์เซ็นต์ DM ใน Digesta และอัตราการไหลผ่าน (Rate of Passage) จะเพิ่มขึ้น การตั้งท้อง การออกกำลังกาย อุณหภูมิ ความถี่ในการกินอาหาร (Frequency of Feeding) และช่วงเวลาในแต่ละวัน จะเปลี่ยนแปลงปริมาตรของ Rumen และการเคลื่อนบีบตัวของ Rumen ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลผ่าน Digesta ด้วย

อิทธิพลของอัตราการไหลผ่านที่มีต่อการย่อยได้ของอาหารใน Rumen ก็คือ ถ้าอัตราการไหลผ่านเพิ่มขึ้นจะทำให้การย่อยได้ของอาหารใน Rumen ลดลง ทั้งนี้เพราะ Digesta มีระยะเวลาอยู่ใน Rumen น้อย จุลินทรีย์มีระยะเวลาในการเข้าย่อยสลายอาหารน้อยลง แต่การไหลผ่านที่เร็วจะทำให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น

เมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้น จะทำให้อาหารถูกย่อยได้น้อยลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากระดับการกินได้ที่เพิ่มขึ้นไปเพิ่มอัตราการไหลผ่านให้เร็วขึ้น ทำให้อาหารมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะ Rumen สั้นลง จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายอาหารได้น้อยลง

โดยทั่วไปการย่อยได้ของอาหารจะลดลง เมื่อเปอร์เซนต์เยื่อใย (Fibre) ในอาหารเพิ่มขึ้น ส่วนลิกนิน (Lignin) นั้นมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับปริมาณ Fibre ในอาหาร จึงเป็นการยากที่จะแยกอิทธิพลของ Fibre ออกจากอิทธิพลของ Lignin โดยตรง การที่อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) จะถูกย่อยได้มากน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับการจัดตัวระหว่าง Hemicellulose หรือ Cellulose กับ Lignin

โคสามารถที่จะย่อยอาหารหยาบได้ดีกว่าแกะ ในขณะที่แกะสามารถย่อยอาหารข้นได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม บางรายงานพบว่าการย่อยได้ของ DM, CP หรือ DE ไม่แตกต่างระหว่างโคและแกะ แต่พบว่าโคอินเดียสามารถย่อยสลายอาหารใน Rumen ได้ดีกว่าโคยุโรป และกระบือย่อย Cellulose ได้ดีกว่าโคอินเดีย

การขาดโปรตีนในอาหารจะมีผลทำให้การย่อยได้ของพลังงานลดลงและทำให้ปริมาณการกินได้ลดลง ถ้าทำการเสริมอาหารที่มีโปรตีนสูง หรือ Non-Protein Nitrogen เช่น Urea ให้กับสัตว์ที่กินฟางเป็นอาหารหลัก การย่อยได้ของฟางข้าวจะเพิ่มขึ้น การขาดแร่ธาตุที่สำคัญ เช่น Mg, P และ S และแร่ธาตุรอง เช่น Fe, Co, Mn และ Zn จะทำให้การย่อยได้ของอาหารใน Rumen ลดลง

จุลินทรีย์ในกระเพาะ Rumen มีความต้องการ Nitrogen ในปริมาณมากเพื่อการสังเคราะห์ Protein Nitrogen ที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้จะอยู่ในรูป NH_3-N ที่รวมตัวกันอยู่ใน Rumen เรียก Rumen Ammonia Pool ปริมาณความต้องการ NH_3-N จะกล่าวเป็นปริมาณความเข้มข้นของ NH_3-N ใน Rumen ที่ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตมากที่สุด หรือทำหน้าที่ได้มากที่สุด ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่จุลินทรีย์จะสามารถทำงานสังเคราะห์โปรตีนได้เต็มที่อยู่ระหว่าง 6 ถึง 90 mgNH_3-N/Litre ของ Rumen Fluid

อย่างไรก็ตามยังมีรายงานถึงระดับความเข้มข้นของ Rumen Ammonia ที่สูงกว่านี้ที่จะทำให้ได้ผลิตผล โปรตีนจากจุลินทรีย์สูงสุด หรือมีการไหลผ่านของ Non-Amino Acid-N ที่ Duodenum อยู่ในช่วง 90-240 mgNH_3-N/Litre of rumen fluid (Allen and Miller, 1976; Satter and Styter, 1974; Hume *et al.*, 1970) Hume *et al.*, 1970) รายงานว่าจุลินทรีย์โปรตีน (Microbial protein) จะถูกผลิตใน rumen ได้สูงสุด เมื่อความเข้มข้นของ NH_3-N เท่ากับ 90 mgNH_3-N/Litre แต่ที่สำคัญคือ อัตราการไหลผ่านของ microbial protein จาก Rumen จะสูงที่สุด เมื่อความเข้มข้นของ Rumen Ammonia เป็น 130 mgNH_3-N/Litre Allen และ Miller (1976) พบว่าอัตราการไหลผ่านของ microbial protein จาก Reticulo-rumen ไปยัง Abomasum สูงสุดเมื่อความเข้มข้นของ Rumen Ammonia อยู่ระหว่าง 160-220 mgNH_3-N/Litre ปัจจุบันยังค้นพบว่าในโคที่ได้รับอาหารหยาบที่มีไนโตรเจนและการย่อยได้ต่ำ ปริมาณความเข้มข้นของ Rumen Ammonia ขั้นต่ำที่ทำให้โคกินอาหารได้เพียงพอควรอยู่ที่ระดับ 200 mgNH_3-N/Litre (Krebs and Leng, 1984; Boniface *et al.*, 1986; Perdok *et al.*, 1988) ส่วน Mehrez *et al.*, (1977) ชี้ให้เห็นว่าอัตราการย่อยได้ของ DM ในถุงไนลอนที่ถูกใส่ไว้ใน Rumen มีค่าสูงสุดเมื่อความเข้มข้นของ Ammonia เท่ากับ 230 mgNH_3-N/Litre

การเสริม Urea ในสัตว์ที่กินอาหารที่มีคุณภาพต่ำ (โปรตีนและการย่อยได้ต่ำ) จะเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ Rumen ammonia เพิ่มการย่อยได้ของอาหารหยาบและเพิ่มการกินได้ (Krebs and Leng, 1984; Boniface *et al.*, 1986; Perdok *et al.*, 1988) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการเพิ่มความเข้มข้นของ Ammonia ใน Rumen

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความพยายามที่จะรักษาระดับอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ (ประมาณ 37°C) เมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้น สัตว์เคี้ยวเอื้องพยายามที่จะลดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในร่างกายโดยการลดการกินอาหารโดยเฉพาะอาหารพลังงาน เมื่อการกินอาหารลดลงการเคลื่อนบีบตัวของกระเพาะก็ลดลงด้วย เมื่อสัตว์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอากาศร้อน Metabolism ภายในร่างกายสัตว์จะลดลง จะเกิดขึ้นร่วมกับการขับฮอร์โมน Thyroid ลดลง และความจุของกระเพาะเพิ่มขึ้น

Miller et al., (1974) พบว่าการลดลงของการเคลื่อนบีบตัวของกระเพาะเป็นผลมาจากการลดลงของ Thyroid ทำให้เกิดการสะสมอาหารในกระเพาะ Lippke (1975) เสนอว่า การทำงานของ

Thyroid โดยผ่านทางอิทธิพลของอัตราการไหลผ่านมีความสำคัญในฐานะเป็นตัวกลางของอิทธิพลของความร้อน ต่อ VFI และการย่อยได้

เมื่อสัตว์อยู่ในสภาวะอากาศร้อน สัตว์จะพยายามเพิ่มอัตราการคายความร้อนและจะทำให้สัตว์มีความต้องการน้ำมากขึ้น การเพิ่มของการกินน้ำจะไม่มีผลต่อ metabolism ภายในกระเพาะ Rumen Graham *et al.*, 1959 ได้รายงานไว้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสภาพแวดล้อมกับการย่อยได้ของพลังงานในแกะเป็นไปในทางบวก (Positive Relation) Blaxter และ Wainman (1961) ก็พบความสัมพันธ์เช่นเดียวกับในโค กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้นการย่อยได้พลังงานก็จะสูงขึ้นด้วย ในโคที่ได้รับอาหารหยาบเป็นอาหารหลักพบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจาก 20°C เป็น 33°C และ40°C จะทำให้การย่อยได้ของอาหารเพิ่มขึ้น (Colditz and Kellaway, 1972; McDowell *et al.*, 1969) อย่างไรก็ตามมีนักวิจัยหลายคนพบว่า ถ้าสัตว์ได้รับอาหารในรูปอัดเม็ด หรืออาหารที่มีอัตราการหมักเร็วเช่นอาหารข้นอุณหภูมิจะไม่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหารใน Reticulo-rumen

การเพิ่มความถี่ของการให้อาหาร โดยการให้อาหารมื้อละน้อย ๆ แต่จำนวนหลายมื้อในแต่ละวันจะทำให้การย่อยได้ของอาหารเพิ่มขึ้น

การบด การอัดแผ่นของเมล็ดธัญพืชจะช่วยให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น การอัดเม็ด (Pelletting) เมล็ดธัญพืช มีผลน้อยมากต่อการย่อยได้ของเมล็ดธัญพืชที่อัดเม็ด แต่จะทำให้การย่อยได้ของอาหารหยาบลดลง

การเปลี่ยนอาหารใหม่จำเป็นต้องให้เวลากับจุลินทรีย์ใน Rumen ได้มีโอกาสปรับตัวระยะหนึ่งเพื่อจะใช้ประโยชน์จากอาหารใหม่ได้ดียิ่งขึ้น ในการเปลี่ยนอาหารใหม่ในระยะแรก การย่อยได้อาจลดลง แต่เมื่อจุลินทรีย์ได้ปรับตัวระยะหนึ่ง การย่อยได้ก็ค่อยๆเพิ่มขึ้น

2.7 การสังเคราะห์น้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม

ส่วนประกอบหลักของน้ำนมได้แก่ น้ำ และปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำนมจะมีความสัมพันธ์ในทางบวก (positive relations) กับปริมาณแลคโตสที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นและประจุ (ions) ต่างๆ ซึ่งได้แก่ ประจุโปแตสเซี่ยม โซเดียม และคลอรีน ที่หลั่งออกมาทางน้ำนม

น้ำตาลแลคโตสในน้ำนมสังเคราะห์มาจากกลูโคสซึ่งไหลเวียนอยู่ในกระแสโลหิตที่ไหลผ่านต่อมสร้างน้ำนม กลไกการดูดซึม (uptake) กลูโคสโดยเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมยังไม่มีรายงานที่แน่ชัด อย่างไรก็ตามระดับของอินซูลิน (insulin) ในกระแสโลหิตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับของกลูโคสในกระแสโลหิต สมการการสังเคราะห์กลูโคสสามารถแสดงได้ดังนี้

Glucose + ATP —— hexoginase ⟶ Glucose-6-phosphate + ADP

Glucose-6-phosphate —— phosphoglucomutase ⟶ Glucose-1-phosphate

Glucose-1-phosphate + UTP — UDP-glucose pyrophosphorylase ⟶ UDP-glucose + pyrophosphate

UDP-glucose ——— UDP-galactose-4-epimerase ——→ UDP-galactose

UDP-galactose + Glucose ———lactose synthetase ——→ Lactose

สมการขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นขั้นตอนที่จำกัด (limiting step) การสังเคราะห์แลคโต๊ส ซึ่งเกิดขึ้นในลูเมน (lumen) ของโกลไจ แอพพาราตัส (Golgi apparatus)

ปริมาณของน้ำนมที่โคผลิตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการสังเคราะห์แลคโต๊ส และปริมาณน้ำนมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการกินอาหาร แลคโต๊สส่วนใหญ่จะถูกสังเคราะห์มาจากกลูโคส ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรดโพรพิโอนิคและกรดอะมิโนที่ดูดซึมมาจากระบบอาหารอีกทีหนึ่ง (Holmes and Wilson, 1984)

โปรตีนในน้ำนมที่ถูกสังเคราะห์และขับออกมาโดยเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมประกอบไปด้วย เคซีน (Casein) แอลฟ่า-แลคตาลบูมิน (α-lactalbumin) เบต้า-แลคโตโกลบูลิน (β-lactoglobulin) และโปรตีนชนิดอื่นๆ อีกเล็กน้อย เช่นเอนไซม์ต่างๆ สารตั้งต้น (precursors) ในการสังเคราะห์โปรตีนคือกรดอะมิโนที่ถูกส่งมายังต่อมสร้างน้ำนมทางกระแสโลหิต ต่อมสร้างน้ำนมจะดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) อย่างเพียงพอต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นในน้ำนม แต่ในบางครั้งอาจดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็นเกินกว่าความต้อง ส่วนที่เกินจะถูกนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non-essential amino acids) และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์น้ำนม กรดอะมิโนที่จำเป็น โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีกำมะถัน (sulphur) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย มากกว่าร้อยละ 60 จะถูกดูดซึมโดยต่อมสร้างน้ำนมในขณะที่ไหลผ่านมาตามกระแสโลหิต ถ้ากรดอะมิโนเหล่านี้มีไม่เพียงพอจะมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนม หรือแม้กระทั่งมีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม สำหรับการดูดซึมกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นโดยต่อมสร้างน้ำนมนั้นไม่ค่อยแน่นอน ในบางขณะจะดูดซึมมากกว่าความต้องการในการสังเคราะห์น้ำนม แต่ในบางโอกาสอาจขาดอย่างมาก (Holmes and Wilson, 1984)

กรดอะมิโนจะถูกดูดซึมจากกระแสโลหิตเข้าสู่ต่อมสร้างน้ำนมโดยผ่านกลไกที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ แอลฟ่า-กลูตานิล ทรานเปปติเดส (α-glutanyl tranpeptidae) และโปรตีนในน้ำนมจะถูกสังเคราะห์โดยไรโบโซม (ribosomes) ที่อยู่บนเอนโดพลาสมิคเรติคูลัม (endoplasmic reticulum) (Holmes and Wilson, 1984)

การสังเคราะห์น้ำนมอาจถูกจำกัดด้วยปริมาณของกรดอะมิโนบางชนิด โดยเฉพาะเมไธโอนีน (methionine) อย่างไรก็ตาม ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) ฮิสติดีน (histidine) ไลซีน (lysine) และทรีโอนีน (threonine) อาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำนมด้วย ทั้งนี้มีรายงานว่าการเสริมกรดอะมิโนให้ไหลผ่านกระเพาะหมัก และให้ไปย่อยในลำไส้เล็ก สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้ (Clarke, 1975) กลไกการทำงานของกรดอะมิโนต่อผลผลิตน้ำนมยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเป็นไปได้ว่าเป็นการ

เพิ่มปริมาณของกรดอะมิโนให้กับต่อมสร้างน้ำนม หรือกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นนี้อาจไปกระตุ้นการปลดปล่อยฮอร์โมนที่มีหน้าที่กระตุ้นการกลั้นสร้างน้ำนม (Holmes and Wilson, 1984)

ไขมันในน้ำนมร้อยละกว่า 98 จะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ส (triglycerides) ที่มีเส้นผ่าศูนย์ของของอนุภาคไขมันระหว่าง 1- 7 ไมโครมิลลิเมตร (μm) (Holmes and Wilson, 1984)

โคนมจะได้รับสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันโดยตรงจากอาหารและจากไขมันที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมันภายในร่างกาย กรดไขมันในน้ำนมจำพวก short และ medium chain (C_4-C_{16}) จะถูกสังเคราะห์มาจากอะซีเตท (acetate) และเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรท (β-hydroxybutyrate) ซึ่งอะซีเตทจะถูกดูดซึมจากกระเพาะหมัก และเบต้า-ไฮดรอกซี่บิวทีเรทจะถูกเปลี่ยนรูปมาจากบิวทีเรท (butyrate) ในขณะที่ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมัก

ร้อยละ 40-60 ของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันจะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ส (triglycerides) ซึ่งจะถูกสังเคราะห์ในลำไส้เล็กจากกรดไขมันที่ได้จากอาหาร หรือถูกสังเคราะห์ที่ตับจากกรดไขมันที่ได้จากเนื้อเยื่อไขมัน (Holmes and Wilson, 1984)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยการทดลองย่อย 7 การทดลอง กล่าวคือ การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมัก การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารหยาบหมัก และการศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารหยาบหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม (Early lactation) การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก และการศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม (Early lactation) ซึ่งในแต่ละการทดลองมีวิธีการดำเนินการวิจัยผันแปรตามจุดประสงค์ของแต่ละการทดลอง โดยรายละเอียดวิธีการดำเนินการวิจัยจะระบุไว้ในแต่ละการทดลองตามขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร

3.1.1. คัดเลือกผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

3.1.2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตรที่คัดเลือก

3.1.3 ศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมัก

3.2 การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมัก

3.2.1. นำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาประกอบสูตรอาหารหยาบหมัก

3.2.2. ทำการหมักอาหารหยาบตามข้อ 3.2.1 ในระยะเวลาต่างๆ กัน

3.2.3. เมื่อทำการหมักครบตามอายุตามข้อ 3.2.1 สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารหยาบหมักมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมัก

3.3 การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารหยาบหมัก

3.3.1. ทำการหมักอาหารหยาบที่คัดเลือกจากข้อ 3.2 ในระยะเวลาต่างๆ กัน

3.3.2. เมื่อทำการหมักครบตามอายุตามข้อ 3.3.1 สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารหยาบหมักมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3.4 การศึกษาผลของการใช้อาหารหยาบหมักต่อผลผลิตน้ำนมของโคนมในระยะต้นของการให้นม

3.4.1. คัดเลือกอาหารหยาบหมักจากข้อ 3.2 จากนั้นทำการหมักอาหารตามสูตรดังกล่าว โดยทำการหมักภายในหลุมหมักขนาดใหญ่ให้มีปริมาณเพียงพอ เพื่อใช้เลี้ยงโครีดนม

3.4.2. บันทึกผลผลิตน้ำนม การกินได้ สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนม เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และทำการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen Degradable) โดยใช้วิธีใช้ถุงไนล่อน (Ø rskov et al, 1980) และการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility)

3.5 การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

3.5.1. นำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาประกอบสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

3.5.2. ทำการหมักอาหารผสมสำเร็จรูปตามข้อ 3.5.1 ในระยะเวลาต่างๆ กัน

3.5.3. เมื่อทำการหมักครบตามอายุตามข้อ 3.5.1 สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารผสมสำเร็จรูปหมักมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมัก

3.6 การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

3.6.1. ทำการหมักอาหารผสมสำเร็จรูปที่คัดเลือกจากข้อ 3.5 ในระยะเวลาต่างๆ กัน

3.6.2. เมื่อทำการหมักครบตามอายุตามข้อ 3.6.1 สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารผสมสำเร็จรูปหมักมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3.7 การศึกษาผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม (early lactation)

3.7.1. คัดเลือกอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากข้อ 3.2 จากนั้นทำการหมักอาหารตามสูตรดังกล่าว โดยทำการหมักภายในหลุมหมักขนาดใหญ่ให้มีปริมาณเพียงพอ เพื่อใช้เลี้ยงโครีดนม

3.7.2. บันทึกผลผลิตน้ำนม การกินได้ สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนม เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และทำการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen Degradable) โดยใช้วิธีใช้ถุงไนล่อน (Ørskov et al, 1980) และการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility)

3.8 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารเครื่องมือ 2 อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.9 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2542 ถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2544

บทที่ 4
การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมัก ของผลพลอยได้ทางการเกษตร

4.1 คำนำ

อุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับ มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโคนมอย่างรวดเร็ว ทำให้มีความต้องการพื้นที่ในการปลูกสร้างทุ่งหญ้ามากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้การผลิตอาหารหยาบสดไม่เพียงพอต่อการบริโภคสำหรับโคนมที่มีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นทุกวันได้ ดังนั้นจึงได้มีการหาวิธีการนำเอาผลพลอยได้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร เช่น ชานอ้อย มาเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม ซึ่งชานอ้อยมีในปริมาณมากภายในประเทศ แต่อย่างไรก็ตาม ผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดนี้มีคุณค่าทางโภชนะที่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะโปรตีนและการย่อยได้ ดังนั้นก่อนนำมาใช้ควรที่จะมีการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ให้สูงขึ้น ได้แก่การเสริมวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีโภชนะเพียงพอ เช่น มันสำปะหลัง กากเบียร์ กากรำ และกากถั่วเหลืองเป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ

4.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของผลพลอยได้ทางการเกษตรก่อนปรับปรุงคุณภาพ

4.3 อุปกรณ์และวิธีการ

4.3.1. ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการย่อยสลายได้ของผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ ดังนี้

แหล่งเยื่อใย

- ชานอ้อย จากโรงงานน้ำตาลราชสีมา อ. แก้งสนามนาง จ. นครราชสีมา

แหล่งพลังงาน

- มันสำปะหลัง จากโรงงานอาหารสัตว์ ฟาร์มมหาวิทยาลัย
- กากมันสำปะหลัง จากบริษัทเจ้าพระยาพืชไร่ จำกัด
- กากรำสกัดน้ำมัน จากโรงงานอาหารสัตว์ ฟาร์มมหาวิทยาลัย
- กากน้ำตาล จากโรงงานอาหารสัตว์ ฟาร์มมหาวิทยาลัยแหล่งโปรตีน
- กากเบียร์ จากบริษัท แคร่ีเทรดดิ้ง จำกัด อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา
- กากถั่วเหลืองจากโรงงานอาหารสัตว์ ฟาร์มมหาวิทยาลัย

4.3.2. สุ่มเก็บตัวอย่างผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิด แล้วนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) (AOAC, 1990)

4.3.3. นำตัวอย่างผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิดที่ผ่านการอบ มาทำการบดด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร แล้วนำตัวอย่างที่ได้เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักต่อไป

4.3.4. นำตัวอย่างผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิด มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) (AOAC, 1990) โดย วิเคราะห์ดังต่อไปนี้คือ วัตถุแห้ง โดยเครื่อง hot air oven โปรตีนหยาบ (crude protein) โดยเครื่องเคเจลเทค (kjeltec auto sampler system) ไขมัน (ether extract) โดยเครื่องซอกเลท (soxhlet auto analyser) เถ้า โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนเยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF) และการวิเคราะห์เยื่อใยโดยดีเทอเจน (detergent analysis) (Goering and Van Soest, 1970) ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) โดยเครื่องไฟเบอร์เทค (fibertec auto analyser)

4.3.5. นำตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งที่ได้เก็บไว้ในข้อ 4.3.2. มาศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักโดยใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ (Ørskov, et al., 1980)

โดยนำตัวอย่างชนิดต่างๆ ที่บดไว้ และถุงไนล่อนที่มีรูพรุนของถุง 47 μm ที่ใช้ในการทดลองไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ชั่งน้ำหนักตัวอย่างวัตถุดิบประมาณ 5 – 6 กรัม ใส่ลงในถุงไนล่อนที่ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักไว้แล้ว หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนที่ใส่ตัวอย่างวัตถุดิบแล้วมาร้อยติดกับสายพลาสติกยาวประมาณ 90 เซนติเมตร นำไปหย่อนในกระเพาะหมัก โดยให้สายพลาสติกอยู่ในส่วนที่ลึกที่สุดของกระเพาะหมัก และให้แต่ละถุงมีระยะเวลาการแช่อยู่ในกระเพาะหมักต่างกันดังนี้คือ 0, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง โดยแต่ละตัวอย่างทำ 3 ซ้ำ ใช้โคเจาะกระเพาะ 3 ตัว และให้ถุงที่หย่อนในโคแต่ละตัวเป็น 1 ซ้ำ

โคเจาะกระเพาะเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮสไตส์ ฟรีเซียน (Holstein Friesian) สายเลือดประมาณ 87.5 เปอร์เซ็นต์ อายุเฉลี่ยประมาณ 80±26 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ย 468±49 กิโลกรัม เลี้ยงแบบผูกยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา ให้อาหารที่มีซานอ้อยเป็นแหล่งอาหารหยาบ 12 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และอาหารข้นสำเร็จรูป 6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

เมื่อแช่ถุงไนล่อนในกระเพาะหมักของโคได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะหมัก นำมาล้างเพื่อเอาเศษอาหารที่ติดจากกระเพาะหมักออก แล้วนำไปแช่แข็งเพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ เมื่อได้ตัวอย่างครบตามเวลาแล้ว นำถุงไนล่อนมาล้างในเครื่องซักผ้าเป็นเวลา 15 นาที 3 ครั้ง แล้วปั่นให้แห้ง หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนทั้งหมดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และนำไปชั่งเพื่อวิเคราะห์วัตถุแห้ง จากนั้นนำค่าสัดส่วนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ ของวัตถุแห้ง มาคำนวณหาอัตราการย่อยสลายได้ของผลพลอยได้ทางการเกษตรต่อไป

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำตัวอย่างผลพลอยได้ทางการเกษตรและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิด มาหาค่าเฉลี่ยและนำเสนอในรูป Mean ± SD

4.5 ผลการทดลอง

4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร

จากการศึกษาองค์ประกอบของผลพลอยได้ทางการเกษตร แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่า ชานอ้อยมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำมากเช่นเดียวกันกับมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง แต่ชานอ้อยมีองค์ประกอบพวก เปอร์เซ็นต์เยื่อใย NDFและ ADF ในปริมาณที่สูง ในกากถั่วเหลืองมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูง (47.5%) เช่นเดียวกับกากเบียร์ แต่กากเบียร์จะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่า (28.4%) อย่างไรก็ตามพบว่า กากเบียร์มีเปอร์เซ็นต์ไขมัน (10.1%) และ NDF (62.2%) ค่อนข้างสูง ส่วนของกากรำสกัดน้ำมันมีเปอร์เซ็นต์เถ้า (11.9%) และ NDF (50.5%) ค่อนข้างสูง

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร

วัตถุดิบ	เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง						
	วัตถุแห้ง	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	NDF	ADF
ชานอ้อย	42.1±0.50	1.5±0.02	2.1±0.29	4.6±0.01	49.6±0.09	85.4±0.23	51.2±0.1
มันสำปะหลัง	87.6±0.30	1.7±0.02	1.7±0.06	2.1±0.06	4.4±0.10	9.7±0.11	1.9±0.03
กากมันสำปะหลัง	28.3±0.01	1.7±0.15	1.0±0.05	1.4±0.11	12.5±0.10	29.5±0.98	3.1±0.05
กากรำสกัดน้ำมัน	87.1±0.15	17.2±0.17	3.3±0.06	11.9±0.1	12.7±0.11	50.5±0.10	25.9±0.5
กากเบียร์	23.7±0.01	28.4±0.51	10.1±0.3	4.6±0.01	15.2±0.08	62.2±0.21	10.0±0.1
กากถั่วเหลือง	87.0±0.14	47.5±0.17	3.1±0.29	7.2±0.13	5.9±0.13	15.4±0.15	7.5±0.31
กากน้ำตาล	74.6±0.28	2.4±0.19	-	-	-	-	-

4.5.2 การย่อยสลายวัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตร

จากการศึกษาการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิด แสดงไว้ดังตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น ผลพลอยได้ทางการเกษตรทุกชนิดมีอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยมีชานอ้อยเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ย่อยสลายได้วัตถุแห้งต่ำที่สุด และมีมันสำปะหลังที่สามารถย่อยสลายได้วัตถุแห้งดีที่สุด

ตารางที่ 4.2 แสดงการย่อยสลายวัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตรในกระเพาะหมัก (%)

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง							$dg^{1/}$
	0 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	96 ชั่วโมง	
ชานอ้อย	6.7±0.2	10.1±0.2	13.2±0.8	19.5±1.6	31.0±0.9	35.2±3.2	37.7±2.7	21.2
มันสำปะหลัง	64.9±3.7	75.9±1.9	79.2±2.1	82.2±3.6	85.8±2.0	94.4±0.2	95.1±0.5	76.0
กากรำสกัดน้ำมัน	34.2±3.4	54.1±3.4	55.7±2.5	58.7±3.2	66.2±5.7	70.4±6.2	76.2±1.9	63.2
กากเบียร์	25.2±2.7	25.5±1.9	26.3±0.7	31.1±2.4	50.8±3.5	51.6±3.4	58.2±3.2	62.7
กากถั่วเหลือง$^{2/}$	30.4±0.5	45.4±5.3	58.6±8.3	69.6±11.5	87.0±14.0	-	-	65.7

หมายเหตุ $^{1/}$ Effective degradability of DM (%)

$^{2/}$ ศึกษาการย่อยสลายถึงชั่วโมงที่ 48

4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้จากการเกษตรแต่ละชนิดพบว่า ชานอ้อย มีองค์ประกอบทางเคมีพวก โปรตีน และไขมันต่ำ โดยที่เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งที่ได้มีค่า 42.1 ต่ำกว่าที่ Suksombat et al. (1999) ที่รายงานไว้ที่ 55 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตของโรงงานน้ำตาล และอายุของต้นอ้อย ส่วนเปอร์เซ็นต์โปรตีน พบว่าใกล้เคียงกับ Suksombat et al (1999) และ Ibrahim and Pearce (1983) (1.5, 1.4 และ1.25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) และเปอร์เซ็นต์เยื่อใย ใกล้เคียงกับ Rangnekar (1988) (49.6 และ 48.0) NDF ที่วิเคราะห์ได้สูงกว่า Sharma (1974), quoted in Jackson (1977), Rangnekar (1988) แต่ต่ำกว่า Suksombat et al (1999) และ Ibrahim and Pearce (1983) เล็กน้อย (85.4, 82.0, 82.0, 88.5 และ 88.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วน ADF พบว่าต่ำกว่าที่รายงานโดย Sharma (1974), quoted in Jackson (1977), Ibrahim and Pearce (1983), Rangnekar (1988) และ Suksombat et al (1999) (51.2, 53, 60.2, 52.0 และ 55.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) ซึ่งจะเห็นได้ว่าชานอ้อยมีองค์ประกอบที่เป็นเยื่อใยสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพืชที่มีอายุมากจะมีผนังเซลล์หนาและย่อยได้ยาก และส่วนของลำต้นจะมีองค์ประกอบที่เป็นลิกนินสูง ซึ่งย่อยไม่ได้ ดังนั้นพืชที่มีอายุมากคุณค่าทางอาหารจะลดลง (ม.ร.ว. ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2534) และชานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากการปลูกอ้อย ซึ่งอ้อยเป็นพืชที่มีอายุมากเพราะใช้เวลานานในการปลูกก่อนเก็บเกี่ยวมากว่า 10 เดือน ทำให้มีการสะสมของเยื่อใยสูง

มันสำปะหลัง หรือมันเส้นมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่าที่มีรายงานโดย สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์ (2540) และ McDonald et al., (1995) (1.7, 2.52 และ 3.0 ตามลำดับ) แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันสูง

กว่าที่รายงาน (1.7, 0.47 และ 0.9 ตามลำดับ) ส่วนเปอร์เซ็นต์เถ้าในมันสำปะหลังพบว่าใกล้เคียงกับ McDonald et al., (1995) (2.1 และ 3.0) แต่ สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์ (2540) พบว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าสูงถึง 5.03 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ปริมาณเถ้าจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตมันเส้น ซึ่งอาจมีการปลอมปนของดินที่ติดมากับหัวมันสำปะหลังสด ส่วนเปอร์เซ็นต์เยื่อใยใกล้เคียงกับ สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์ (2540) และ McDonald et al., (1995) (4.4, 3.5 และ 4.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และ NDF ใกล้เคียงกับ McDonald et al., (1995) (9.7 และ 11.4 เปอร์เซ็นต์) แต่ ADF มีค่าน้อยกว่า (1.9 และ 6.3 เปอร์เซ็นต์) จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมีประเภทโปรตีนต่ำ ถึงแม้ว่ามันสำปะหลังจะไม่ใช่ผลพลอยได้จากการเกษตร แต่มีปริมาณมาก และมีราคาถูก อีกทั้งมันสำปะหลังยังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ง่ายสูง มีความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูง (77.5 เปอร์เซ็นต์) หรือพลังงาน 3.24 Mcal ต่อกิโลกรัม (โอภาส พิมพา และคณะ., 2539)

จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง พบว่า มีระดับคาร์โบไฮเดรตในระดับที่สูงถึง 83.4 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เป็นเพราะในกระบวนการสกัดแป้งออกนั้นสามารถสกัดแป้งออกได้เพียงประมาณ 64.6 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ระดับคาร์โบไฮเดรตของกากมันสำปะหลังมีในระดับสูง (เยาวมาลย์ และ สาโรช, 2543) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ชวนิศดากร (2500) และ Ewing (1951) ซึ่งพบว่ามีส่วนของคาร์โบไฮเดรต 81.0 และ 81.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

กากรำสกัดน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืช จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าที่รายงานโดย NRC (1988) และ McDonald et al., (1995) (17.2, 14.0 และ 16.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์ไขมัน (3.3, 1.5 และ 2.3 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการสกัดไขมัน โดยที่การสกัดน้ำมันโดยการใช้ความดันไฮโดรลิกจะได้ไขมัน 10 – 12 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเป็นวิธีการสกัดโดยใช้สารตัวทำละลายจะได้ปริมาณไขมันสูงกว่า คือ 10 – 18 เปอร์เซ็นต์ (Yokochi., 1977) ทำให้ไขมันที่เหลืออยู่มีปริมาณที่ต่างกัน อีกทั้งมีผลต่อสัดส่วนของโปรตีนในรำสกัดน้ำมัน ปริมาณของเถ้าของรำสกัดน้ำมันมีอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับที่มีรายงานของ NRC (1988) และ McDonald et al., (1995) (11.9, 12.8 และ 14.9 เปอร์เซ็นต์) ในส่วนของ NDF และ ADF พบว่ารำสกัดน้ำมันมีปริมาณ NDF สูงกว่ารายงานของ NRC (1988) และ McDonald et al., (1995) (50.5, 33.0 และ 45.1 เปอร์เซ็นต์) แต่ ADF มีปริมาณที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (1988) (5.7 และ 33.0 เปอร์เซ็นต์)

กากเบียร์เป็นผลพลอยได้ที่เป็นแหล่งโปรตีน โดยมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนเท่ากับ 28.4 ซึ่งใกล้เคียงกับ NRC (1988) และ สุรชัย โค้วสุวรรณ และคณะ (2542) (27.3 และ 26.4 เปอร์เซ็นต์) เปอร์เซ็นต์ไขมันที่วิเคราะห์ได้สูงกว่าที่รายงานโดย สุรชัย โค้วสุวรรณ และคณะ (2542) (10.1 และ 8.0 เปอร์เซ็นต์) และปริมาณเยื่อใยพบว่าใกล้เคียงกับ NRC (1988) (15.2 และ14.9 เปอร์เซ็นต์) สอดคล้องกับ พันทิพา พงษ์เพียจันทร์ (2539) ซึ่งรายงานว่า กากเบียร์มีโปรตีนหยาบ 25 – 27 เปอร์เซ็นต์

เยื่อใยหยาบ 13 – 15 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานในหน่วยโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (TDN) ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วน NDF พบว่าในกากเบียร์ มี NDF ค่อนข้างสูง (62.2 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสูงกว่าที่รายงานโดย NRC (1988) (46 เปอร์เซ็นต์) แต่ ADF มีค่าต่ำกว่า (10 และ 24 เปอร์เซ็นต์) แต่อย่างไรก็ตามองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในกากเบียร์นั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของธัญพืชที่นำมาทำข้าวมอลล์ ประสิทธิภาพการสกัดคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ในน้ำ และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด ดังนั้นส่วนที่เหลือในกากเบียร์ส่วนใหญ่ เป็นส่วนของเปลือก หรือแกลบ (husk) ของเมล็ดธัญพืช (สาโรช ค้าเจริญ, 2542) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนของวัตถุดิบที่เป็นสูตรในการผลิตเบียร์ของแต่ละบริษัท (Boon Rawd Brewery Company Limited, WWW, 2000)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลือง พบว่ามีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงมาก (47.5 เปอร์เซ็นต์) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (1988) และ McDonald et al., (1995) พบว่ามีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่าเล็กน้อย (49.9 และ 50.3 เปอร์เซ็นต์) ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงกว่า NRC (1988) และ McDonald et al., (1995) (3.1, 1.5 และ 1.7 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการสกัดน้ำมันเช่นเดียวกับรำสกัดน้ำมัน และพันธุ์ของถั่วเหลือง

กากน้ำตาล จะอยู่ในรูปของเหลวขณะจะนำไปใช้ เมื่อทำให้แห้ง พบว่ามีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งเท่ากับ 74.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียง NRC (1988) และ McDonald et al., (1995) มาก (75 และ 73.7 เปอร์เซ็นต์) แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตน้ำตาลด้วย ส่วนเปอร์เซ็นต์โปรตีนพบว่าต่ำกว่า NRC (1988) และ McDonald et al., (1995) (2.4, 5.8 และ 5.5 ตามลำดับ)

4.6.2 การย่อยสลายวัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตร

จากการศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิด พบว่าชานอ้อยมีการย่อยสลายวัตถุแห้งในกระเพาะหมักต่ำมาก Ibrahim and Pearce (1983) ได้ศึกษาการย่อยสลายวัตถุแห้งของชานอ้อย โดยวิธี *in vitro* ได้ค่า In vitro organic matter digestibility (IVOMD) 32.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำเช่นกัน ชานอ้อยมีค่า Effective degradability of DM (*dg*) ที่ได้จากการศึกษา 21.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารหยาบชนิดอื่นๆ ในการทดลองของ เอกสิทธิ์ สมคุณา และคณะ (2540) ที่ทำการศึกษาการย่อยสลายวัตถุแห้งของหญ้า 5 ชนิด ได้แก่ หญ้ารูซี่ หญ้าแนเปียร์ หญ้ากินนี่ หญ้าจัมโบ้ และหญ้าขน ซึ่งพบว่าหญ้าทั้ง 5 ชนิด มีค่า Effective degradability of DM (*dg*) สูงกว่าชานอ้อย (45.7, 44.9, 48.9 48.6 และ 44.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

มันสำปะหลังมีค่า Effective degradability of DM (*dg*) สูงที่สุดของกลุ่มวัตถุดิบที่ศึกษา เพราะมันสำปะหลังมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ง่ายสูง ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ในอาหารสัตว์ได้ดี แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำ แต่ในกรณีที่ใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถแก้ปัญหาได้โดยการปรับปรุงใช้ร่วมกับสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช้โปรตีน (NPN) ในกากเบียร์มีการ

ย่อยสลายวัตถุแห้งไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับกากรำสกัดน้ำมัน และกากถั่วเหลือง ทั้งนี้เนื่องจากกากเบียร์ประกอบด้วยเยื่อใยในปริมาณสูง ซึ่งเป็นผลให้การย่อยสลายวัตถุแห้งที่เวลาต่างๆ ต่ำกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ยกเว้นชานอ้อย ส่วนการย่อยสลายวัตถุแห้งของกากถั่วเหลืองเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของ Paengkoum et al., (2001) พบว่าที่เวลา 12 ชั่วโมง มีการย่อยสลายของวัตถุแห้งต่ำกว่า (58.6 และ 63.7 เปอร์เซ็นต์) แต่ในชั่วโมงที่ 24 มีการย่อยสลายของวัตถุแห้งสูงกว่าเล็กน้อย (69.6 และ 67.9 เปอร์เซ็นต์)

4.7 สรุปผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้แต่ละชนิด มีค่าใกล้เคียงกับที่ได้มีรายงานไว้โดยผู้วิจัยและสถาบันต่างๆ ชานอ้อยสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบ แต่มีองค์ประกอบทางเคมีพวก โปรตีน ไขมัน และการย่อยสลายได้ค่อนข้างต่ำ วัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงาน ได้แก่ มันสำปะหลัง กากรำสกัดน้ำมัน และกากน้ำตาล เนื่องจากมันสำปะหลังสามารถย่อยสลายได้ดีในกระเพาะหมัก แต่องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ค่อนข้างต่ำ โดยที่กากรำสกัดน้ำมันจะมีสูงกว่า และวัตถุดิบที่เหมาะสมเป็นแหล่งโปรตีนได้แก่ กากเบียร์ และกากถั่วเหลือง โดยที่กากถั่วเหลืองมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่ากากเบียร์ แต่มีราคาค่อนข้างสูง ส่วนกากเบียร์ พบว่ามีปริมาณเยื่อใยค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบดังกล่าวสามารถนำมาใช้ร่วมกัน เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางโภชนะของอาหารหมักที่มีชานอ้อยเป็นแหล่งอาหารหยาบได้

บทที่ 5
การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมัก

5.1 คำนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในภูมิภาคที่มีภูมิอากาศร้อนชื้น ซึ่งส่งผลทำให้พืชอาหารสัตว์ในประเทศไทยนั้นมีคุณภาพต่ำ อีกทั้งในฤดูแล้งเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมยังต้องประสบกับปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบทั้งปริมาณและคุณภาพ ดังนั้นการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงโคนมจึงเป็นที่นิยมแพร่หลาย แต่ผลพลอยได้ทางการเกษตรต่างๆ นั้นมีคุณค่าทางโภชนะต่ำ การนำมาใช้โดยตรงจึงทำให้สัตว์ได้รับโภชนะไม่เพียงพอกับความต้องการ จำเป็นต้องมีการนำมาปรับปรุงคุณภาพเสียก่อน นอกจากนี้ผลพลอยได้ทางการเกษตรบางชนิดไม่สามารถเก็บรักษาได้นาน อีกทั้งยังไม่มีรายงานการศึกษาถึงกรรมวิธีการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารหมัก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงส่วนประกอบทางโภชนะและกรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร เพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงโคนม

5.2 วัตถุประสงค์

-เพื่อทำการคัดเลือกผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นอาหารหยาบหมักสำหรับใช้เลี้ยงโคนม

-เพื่อศึกษาถึงกรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรให้มีคุณภาพและคุณค่าทางโภชนะที่เหมาะสมในการใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโคนม

5.3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ทำการประกอบสูตรอาหารหยาบหมักเพื่อให้ได้คุณค่าทางอาหารเหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซี่ยน โดยให้มีโปรตีนประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรดประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ และมี TDN มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์

5.3..1 ในการทดลองครั้งนี้ได้วางแผนการทดลองแบบ 8 x 3 factorial in completely randomized design

โดยมีปัจจัย A เป็นสูตรอาหารหยาบหมักซึ่งแต่ละสูตรจะแตกต่างกันที่สารเสริมแลคโตบาซิลัส (*Lactobacillus* sp.) ยูเรีย และกากน้ำตาล ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจะได้สูตรอาหารหยาบหมักทั้งหมด 8 สูตร (ดังตารางที่ 4.2) แต่ละสูตรของอาหารหยาบหมักจะมีจำนวน 4 ซ้ำ

และปัจจัย B เป็นระยะเวลาการหมัก ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการศึกษา 3 ช่วงระยะเวลา คือ 2, 3 และ 4 สัปดาห์

5.3.2 ทำการผลิตอาหารหยาบหมักตามตารางที่ 4.2 แล้วใส่ถุงพลาสติกดำและซ้อนด้วยถุงโพลีอีกหนึ่งชั้น โดยจะบรรจุอาหารหยาบหมักถุงละ 10 กิโลกรัม แล้วอัดให้แน่นบีบไล่อากาศออกให้หมด จากนั้นจึงทำการปิดปากถุงให้สนิทเสร็จแล้วนำไปเก็บไว้ในที่ร่ม

5.3.3 ทำการสุ่มตัวอย่างอาหารหมักตามช่วงระยะเวลา 2, 3 และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์หา วัตถุแห้ง (dry matter) โปรตีนหยาบ (crude protein) โดยวิธี kjeldahl ด้วยเครื่องเคเจลเทค (kjeldahl auto sampler system) (AOAC, 1990) วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหารหมัก 100 กรัม ใส่บีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 100 มล. ต้มให้เดือด 5 นาทีแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการวัดระดับความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH Meter และ ตรวจวัดหาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ได้แก่ กรดอะซิติค (acetic acid) กรดบิวทิริค (butyric acid) กรดแลคติค (lactic acid) โดยทำการชั่งตัวอย่างอาหารหมัก 10 กรัม ใส่ flask 500 มล. เติม 0.05M H_2SO_4 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำเข้าเครื่องเขย่าที่ 20 องศาเซลเซียส 200 รอบต่อนาที นาน 4 นาที นำไปกรอง จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการกรองไปตรวจหาด้วยเครื่อง HPLC ใช้คอลัมน์ Organic acid analysis รุ่น amiex HPX-87H และ guard column (40 x 4.6 mm.) รุ่น aminex HPX-85H (Bio-Red Laboratories, Richmond, CA). ใช้ mobile phase 0.005M H_2SO_4 flow rate 0.6 ml/min (Canale et al., 1984)

5.4 การทดสอบสมมุติฐาน

ข้อมูลทั้งหมดนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) แบบ 8 X 3 factorial in completely randomized design (Steel and Torries, 1980) และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1985)

5.5 ผลการทดลอง

5.5.1 การประกอบสูตรอาหารหมัก

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิดมีโภชนะที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการที่จะนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารหมักสำหรับใช้เลี้ยงโคนมนั้นควรมีการประกอบสูตรอาหารหยาบหมักเพื่อให้ได้โภชนะที่เหมาะสมเสียก่อน และในการศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารหมักนี้ได้ทำการประกอบสูตรดังตารางที่ 5.1 โดยมีสูตรอาหารหยาบหมักทั้งหมด 8 สูตร ซึ่งในแต่ละสูตรจะใช้สารเสริมชนิดต่างๆ กัน โดยสารเสริมที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ แล็คโตบาซิลลัส (*Lactobacillus* sp.) ซึ่งได้ใช้ในอัตรา $2.5x10^5$ cfu/g กากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ และ ยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารหยาบหมักสด

ตารางที่ 5.2 แสดงส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร ซึ่งพบว่า ในสูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 มีวัตถุแห้งต่ำที่สุด เพราะว่ามีส่วนประกอบจากกากมันสำปะหลังซึ่งเป็นกากสดทำให้มีความชื้นสูง โปรตีนหยาบมีค่าใกล้เคียงกันในทุกสูตร เปอร์เซ็นต์ไขมันในสูตรที่

7 และสูตรที่ 8 มีระดับสูงที่สุดเนื่องมาจากมีส่วนประกอบของกากเบียร์ในปริมาณที่สูงและกากเบียร์เองก็มีส่วนประกอบของไขมันสูง ในส่วนระดับเยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.1 แสดงการประกอบสูตรอาหารหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร (หน่วย:กิโลกรัมสด)

ผลพลอยได้ทางการเกษตร	สูตรที่ 1	2	3	4	5	6	7	8
กากอ้อย	22	22	21	17	17	21	22	22
กากมันสำปะหลัง	54	54	13	66	66	13	16	16
กากรำสกัดน้ำมัน	2	2	21	-	-	21	20	20
กากเบียร์	16	16	40	16	16	40	42	42
กากน้ำตาล[1]	5	5	5	-	-	5	-	-
ยูเรีย[1]	1	1	-	1	1	-	-	-
แลคโตบาซิลัส[1,2]	+	-	+	+	-	-	+	-
รวม	100	100	100	100	100	100	100	100
ต้นทุน (บาท/ก.ก)[3]	0.83	0.83	1.88	0.63	0.63	1.88	1.74	1.74

[1] คือสารเสริมในอาหารหมัก [2] หน่วยเป็น 2.5 x 10^5 cfu/KgDM

[3] ดูในภาคผนวก

เครื่องหมาย + หมายถึงการใส่แล็คโตบาซิลลัส ,- หมายถึงไม่ได้ใส่แล็คโตบาซิลลัส

ตารางที่ 5.2 แสดงส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรก่อนการหมัก (หน่วย: เปอร์เซ็นต์)

ส่วนประกอบทางโภชนะ	สูตรที่ 1	2	3	4	5	6	7	8
วัตถุแห้ง	38.38	38.38	47.97	33.36	33.36	47.97	45.27	45.27
โปรตีนรวม	12.47	12.47	13.11	13.05	13.05	13.11	13.57	13.57
ไขมัน	2.16	2.16	3.83	2.25	2.25	3.83	4.14	4.14
เถ้า	3.37	3.37	7.12	2.17	2.17	7.12	6.71	6.71
เยื่อใย	23.66	23.66	21.62	23.48	23.48	21.62	23.68	23.68
NDF	48.77	48.77	56.22	48.91	48.91	56.22	60.86	60.86
ADF	21.18	21.18	20.73	19.88	19.88	20.73	22.83	22.83
NFE	58.34	58.34	54.33	59.05	59.05	54.33	51.89	51.89

5.5.2 การตรวจวัดคุณภาพของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร

การตรวจวัดคุณภาพของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร (ตารางที่ 5.3) พบว่า เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งของอาหารหยาบหมักในแต่ละกลุ่มการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) โดยสูตรที่ 3 และ 6 สูตรที่ 7 และ 8 สูตรที่ 2 และ 1 สูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 มีค่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง

*ระดับความเป็นกรด-ด่างของอาหารหยาบหมักเป็นค่าที่สำคัญค่าหนึ่งที่ใช้ชี้วัดคุณภาพอาหาร*หมัก ซึ่งพบว่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันในแต่ละสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) และแตกต่างกันในระยะเวลาการหมักที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือ ในสูตรที่ 5 มีระดับความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุด

ปริมาณกรดแลคติค พบว่า มีความแตกต่างกันในแต่ละสูตร ระยะเวลาการหมัก และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสูตรกับระยะเวลาการหมัก *อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) โดยมีสูตรที่ 5* และสูตรที่ 4 ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์มีปริมาณกรดแลคติคต่ำที่สุด

ปริมาณกรดอะซิติค พบว่า มีความแตกต่างกันในแต่ละสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) โดยมีสูตรที่ 5 ปริมาณกรดอะซิติคมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นๆ แต่ระยะเวลาไม่มีผลต่อปริมาณกรดอะซิติค

ปริมาณกรดบิวทิริค พบว่า มีความแตกต่างกันในแต่ละสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) แต่ระยะเวลาการหมักและปฏิสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มการทดลองกับระยะเวลาการหมักไม่พบความแตกต่าง ($p>0.05$)

คะแนนของ Flieg พบว่า มีความแตกต่างกันในแต่ละสูตร ระยะเวลาการหมัก และมีปฏิ-สัมพันธ์ระหว่างสูตรกับระยะเวลาการหมัก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) โดยมีสูตรที่ 1, 2, 7 และ 8 สูตรที่ 3 และ 6 และสูตรที่ 4 และ 5 มีคะแนนเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ และที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์สูตรที่ 4 และ 5 มีระดับคะแนนของ Flieg ต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพโดยใช้เกณฑ์จากคะแนนของ Flieg พบว่า คุณภาพของอาหารหยาบหมักอยู่ในเกณฑ์ที่ดีถึงดีมาก ยกเว้นในสูตรที่ 4 และ 5 ที่ระยะเวลาการหมัก 2 สัปดาห์ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่พอใช้และเลว ตามลำดับ

การย่อยสลายวัตถุแห้งภายในกระเพาะรูเมน (ตารางที่ 5.4) พบว่า สูตรอาหารหยาบหมักมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.001$) กล่าวคือ สูตรที่ 7 และ 8 มีค่าการย่อยสลายภายได้ในกระเพาะ รูเมน (effective degradability) ต่ำกว่าสูตรอื่นๆ และพบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะสูตรและเวลา ($p<0.001$) ซึ่งเนื่องมาจากในการทดลองการย่อยสลายภายในกระเพาะรูเมนนี้ ได้แบ่งตัวอย่างในการจุ่มแช่ในกระเพาะรูเมนของโคนมเพื่อวัดการย่อยสลายได้ ซึ่งได้ทำการจุ่มแช่ตัวอย่างครั้งละ 8 สูตรที่ระยะเวลาการหมักเดียวกัน โดยได้ทำการจุ่มแช่ 3 ครั้ง ทั้งนี้เนื่องมาจากมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนถุงไนล่อน และจำนวนตัวอย่างที่ต้องการศึกษามีจำนวนมาก

ตารางที่ 5.3 แสดงการตรวจวัดคุณภาพของอาหารหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรระยะการหมัก 2, 3 และ 4 สัปดาห์

สูตรที่	DM (%)	CP (%)	PH (%)	Lactate (g/kgDM)	Acetate (g/kgDM)	Butyrate (g/kgDM)	Fleg[1]	คุณภาพ
ระยะการหมัก 2 สัปดาห์								
1	35.34	12.40	3.53	54.82	7.59	3.75	84.50	ดีมาก
2	35.50	12.69	3.52	50.30	6.67	4.22	82.50	ดีมาก
3	44.56	13.87	3.73	42.41	8.38	5.32	77.50	ดี
4	32.86	13.71	3.73	3.38	6.44	4.43	28.75	พอใช้
5	31.69	10.39	4.67	1.76	18.59	5.95	22.63	เลว
6	44.60	12.96	3.63	43.67	16.25	7.00	74.50	ดี
7	43.03	13.85	3.70	28.62	6.29	2.42	88.50	ดีมาก
8	43.27	14.19	3.69	26.56	6.57	1.61	84.50	ดีมาก
ระยะการหมัก 3 สัปดาห์								
1	34.80	13.31	3.51	59.07	9.68	2.91	99.50	ดีมาก
2	35.12	12.91	3.43	43.26	9.49	1.24	91.50	ดีมาก
3	44.67	14.09	3.66	58.59	6.62	5.97	80.00	ดี
4	32.38	12.22	3.53	41.38	7.27	8.22	72.25	ดี
5	31.19	11.54	3.86	29.49	11.26	1.74	87.75	ดีมาก
6	43.85	14.16	3.62	58.16	6.46	6.94	79.50	ดี
7	42.79	13.84	3.56	56.75	7.25	7.08	79.75	ดี
8	42.62	13.77	3.58	46.20	5.69	2.51	90.00	ดีมาก
ระยะการหมัก 4 สัปดาห์								
1	34.33	13.46	3.65	43.64	7.09	3.21	87.00	ดีมาก
2	35.78	12.57	3.53	48.04	7.54	2.75	86.67	ดีมาก
3	44.48	14.10	3.73	65.63	7.17	7.17	80.00	ดี
4	33.59	12.80	3.55	50.20	11.38	2.02	92.33	ดีมาก
5	30.55	11.65	4.88	42.49	24.76	6.85	68.38	ดี
6	42.82	14.00	3.68	64.80	10.09	6.62	81.00	ดี
7	43.71	13.61	3.61	29.72	5.17	1.72	93.50	ดีมาก
8	42.55	13.27	3.51	47.66	8.04	3.26	89.50	ดีมาก
SE	**0.29**	**0.31**	**0.11**	**2.68**	**2.06**	**0.95**	**3.26**	-
%CV	**2.17**	**6.95**	**8.67**	**18.55**	**66.40**	**64.65**	**12.27**	-
	p							
F^2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0014	0.0001	-
W^2	0.0858	0.5923	0.0420	0.0001	0.3379	0.8659	0.0001	-
$F*W^2$	0.1425	0.1980	0.2063	0.0001	0.3521	0.0211	0.0001	-

[1] คะแนน 81-100 ดีมาก, 61-80 ดี, 41-60 ปานกลาง, 21-60 พอใช้, 0-20 เลว (ดูในภาคผนวก)

[2] F คือ สูตรของอาหารหยาบหมัก, W คือ ระยะเวลาการหมัก และ F*W คือปฏิสัมพันธ์ระหว่างสูตรอาหารหยาบหมักกับระยะเวลาการหมัก

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนของวัตถุแห้งของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร (%)

สูตรที่	0	6	12	24	48	72	96	dg*
ระยะการหมัก 2 สัปดาห์								
1	29.49	40.04	43.48	50.96	57.49	64.11	65.56	66.70
2	36.36	43.20	45.88	50.21	64.71	64.83	70.59	70.97
3	30.50	39.03	44.12	51.51	56.16	62.43	68.21	67.73
4	33.92	46.70	52.25	58.28	64.33	61.94	69.79	69.50
5	32.86	43.63	43.31	55.47	63.30	68.56	71.50	69.47
6	31.57	41.53	39.90	49.04	64.65	65.45	72.08	69.27
7	27.11	37.99	44.94	51.11	55.21	57.58	60.46	65.03
8	33.39	35.55	36.69	53.08	58.73	61.58	60.54	66.87
ระยะการหมัก 3 สัปดาห์								
1	34.95	34.57	40.68	51.04	59.06	59.90	67.89	69.40
2	35.34	41.39	48.09	49.90	57.89	63.31	69.50	70.03
3	39.10	37.59	45.09	54.84	55.13	61.95	72.01	72.53
4	29.26	31.46	42.14	53.75	57.54	63.06	63.27	66.23
5	29.52	33.83	42.48	47.57	52.79	57.75	65.27	66.67
6	38.61	38.60	46.33	51.96	54.93	61.82	63.26	70.10
7	28.39	33.14	38.87	50.38	53.37	58.96	56.63	65.07
8	26.92	29.28	37.70	48.80	54.02	53.64	53.76	63.90
ระยะการหมัก 4 สัปดาห์								
1	26.43	29.28	33.72	48.26	61.90	60.27	64.72	65.63
2	31.89	35.54	40.53	49.47	57.81	60.16	64.20	67.27
3	25.58	30.24	37.90	46.31	47.11	54.91	64.54	65.40
4	23.18	32.82	33.58	46.65	54.18	60.91	59.93	64.27
5	27.53	22.86	35.13	40.33	52.53	59.51	64.33	66.23
6	33.54	37.13	44.88	48.31	54.63	59.27	63.26	67.73
7	26.86	34.55	35.27	42.33	55.21	53.17	57.77	64.57
8	23.63	29.78	33.72	39.06	47.79	45.63	50.33	63.17
SE	1.92	1.96	2.45	2.36	2.76	2.91	2.70	0.90
%CV	12.55	10.97	11.91	9.52	9.73	9.71	8.41	2.68
	p							
Treatment	0.0005	0.0005	0.0104	0.1952	0.0384	0.0151	0.0001	0.0001
Week	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0013	0.0010	0.0001
Treatment*Week	0.0191	0.0115	0.1072	0.2181	0.3923	0.7152	0.7537	0.0105

Effective degradability (%)

5.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.6.1 การตรวจวัดคุณภาพของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร

การตรวจวัดคุณภาพของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรได้รายงานไว้ในตารางที่ 5.3 พบว่า เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งในแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน เพราะในการประกอบสูตร (ตารางที่ 5.2) ได้มีความแตกต่างกันตั้งแต่เริ่มต้น กล่าวคือ ในสูตรที่ 3 และ 6 และสูตรที่ 7 และ 8 และสูตรที่ 1 และ 2 และสูตรที่ 4 และ 5 มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งเป็น 48.0, 46.5, 38.4 และ 33.4 ตามลำดับ ซึ่งทั้งนี้เป็นเพราะในสูตรที่ 3 และ 6 มีส่วนของกากรำสกัดน้ำมันในปริมาณที่สูง รองลงมาคือ สูตรที่ 7 และ 8 และสูตรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนในสูตรที่ 4 และ 5 นั้นไม่มีส่วนประกอบของ กากรำสกัดน้ำมันซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ (ดังตารางที่ 5.1) อย่างไรก็ตามในสูตรที่ 4 และ 5 นั้นมีวัตถุแห้งก่อนการหมักเท่ากัน แต่พบว่า ที่ระยะการหมัก 2, 3 และ 4 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งมีค่าลดต่ำกว่าสูตรที่ 4 ทั้งนี้เป็นเพราะในสูตรที่ 4 มีการเสริมเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus* sp.ซึ่งเป็นการกระตุ้นกระบวนการหมักให้ได้กรดแลคติคได้รวดเร็วขึ้น ส่งผลต่อการยับยั้งการทำงานของ จุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น *Clostridium* sp. และ *Enterobacteria* sp. ซึ่งจะเกิดกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจนในระยะแรกๆ ของการหมักและจะใช้โภชนะต่างๆ ในอาหารหมักเป็นแหล่งพลังงานและจะให้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (Bolsen et al., 1995; 1999a; 1999b) สอดคล้องกับการทดลองของ Ranjit and Kung (2000) ซึ่งได้ทดลองเสริมเชื้อ *L. plantarum* ในข้าวโพดหมักพบว่า วัตถุแห้งของข้าวโพดหมักที่ไม่เสริมมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหมักกลุ่มที่เสริมเชื้อ *L. plantarum* คือ มีวัตถุแห้งเป็น 28.6 และ 30.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบในอาหารหมักเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการพิจารณาคุณภาพของอาหารหยาบหมัก ซึ่งจากตารางที่ 5.3 พบว่า ระดับโปรตีนหยาบในแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะในแต่ละสูตรก่อนการหมักมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ในสูตรที่ 7 และ 8 และ สูตรที่ 3, 4, 5 และ 6 และ สูตรที่ 1 และ 2 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ (13.6, 13.1 และ 12.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามในสูตรที่ 4 และ 5 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่เท่ากันก่อนการหมัก แต่ที่ระยะการหมัก 2, 3 และ 4 สัปดาห์ในสูตรที่ 5 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบต่ำกว่าสูตรที่ 4 ทั้งนี้เป็นเพราะในระยะแรกของการหมักมีการเจริญของ จุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดแลคติคได้ต่ำทำให้มีการลดลงของระดับความเป็นกรด-ด่างช้า ซึ่งเป็นผลมาจากในสูตรอาหารหยาบหมักมีชูเรียและไม่ได้เสริมกากน้ำตาล (Esmail, 1999; Keady, 1998; McDonald, 1981) ส่งผลทำให้การมีเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจน เช่น พวก *Clostridium* sp. และ *Enterobacteria* sp. ซึ่งจะมีการสลายน้ำตาลและให้ผลผลิตเป็น น้ำ คาร์โบไฮเดรต และความร้อนในระดับที่สูง ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ โปรตีเอสทำให้มีการย่อยสลายโปรตีนในอัตราที่สูง (Bolsen et al., 1995; Woolford, 1984) ส่วนในสูตรที่ 4 ได้มีการเสริมเชื้อ *Lactobacillus sp* ซึ่งจะมีผลทำให้

กระบวนการหมักของอาหารในระยะแรกมีการผลิตกรดแลคติคได้เร็ว ทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างลดลงได้เร็วกว่าสูตรที่ 5 ซึ่งจะเป็นการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนได้ (McDonald, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Keady and Steen (1994) ซึ่งได้ทดลองเสริม *L. plantarum* ในการผลิตหญ้า ryegrass และเมื่อตรวจระดับโปรตีนในหญ้าหมักที่ 56 วัน พบว่า ในกลุ่มที่เสริมเชื้อ *L. plantarum* มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าในกลุ่มที่ไม่เสริม (19.3 และ 18.9 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ) และการทดลองของ Yimin et al. (1999) ได้ทำเสริมเชื้อ *L. casei* และ *L. plantarum* ในการผลิตข้าวฟ่างหมักเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริม พบว่า ในกลุ่มที่เสริมเชื้อมีปริมาณกรดแลคติคเพิ่มขึ้นจาก 43.5 เป็น 52.1 และ 55.5 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ ทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างลดลงจาก 4.4 เป็น 3.8 และ 3.7 ตามลำดับ และพบว่ามีปริมาณของแอมโมเนียลดลงจาก 2.2 เป็น 0.9 และ 0.8 ตามลำดับ

ในสูตรที่ 5 มีระดับความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าในทุกสูตรดังตารางที่ 5.3 ทั้งนี้เป็นเพราะในสูตรที่ 5 นั้นได้เสริมยูเรีย ซึ่งจะมีการแตกตัวให้แอมโมเนียจึงทำให้อาหารหมักมีความเป็นกรด-ด่างสูง (Bolsen et al., 1995) อีกทั้งไม่ได้เสริมสารกระตุ้นการหมักเหมือนสูตรอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Schmutz et al., (1969) ทดลองเสริมยูเรียในอัตรา 0.5 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์ ในการผลิตข้าวโพดหมักซึ่งเสริมยูเรียเปรียบเทียบกับข้าวโพดหมักที่ไม่เสริมยูเรีย พบว่า ในกลุ่มที่เสริมยูเรียมีระดับความเป็นกรด-ด่างสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมจาก 3.64 เป็น 3.71 และ 3.70 ตามลำดับ) ซึ่งคล้ายกับการทดลองของ Lopez et al. (1970) ซึ่งได้ทำการศึกษาการเสริมยูเรียที่ระดับ 0.5, 0.75 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ในข้าวโพดหมักทำให้มีระดับความเป็นกรด-ด่างสูงเพิ่มขึ้น

ในส่วนปริมาณกรดไขมันระเหยได้ พบว่า ปริมาณกรดแลคติคมีความแตกต่างกันในแต่ละสูตรและระยะเวลาการหมัก กล่าวคือ ในสูตรที่ 4 และ 5 ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์มีปริมาณกรดแลคติคต่ำที่สุด ซึ่งในสูตรที่ 4 และ 5 นั้นได้เสริมยูเรียแต่ไม่ได้เสริมกากน้ำตาลขาดแหล่งพลังงานที่ใช้ได้ง่ายมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติคในอัตราที่ช้ากล่าวสูตรอื่นๆ ทำให้มีการผลิตกรดแลคติคได้ในปริมาณที่ต่ำ (Frame, 1994) นอกจากนี้ในสูตรที่ 4 และ 5 ได้ใช้กากมันสำปะหลังในอัตราที่สูงซึ่งมีระดับคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ในปริมาณที่ต่ำ เนื่องมาจากส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้จะถูกละลายออกมาในกระบวนการสกัดแป้ง (เยาวมาลย์ และ สาโรช, 2543) นอกจากนี้ในส่วนของกากเบียร์และกากอ้อยนั้นก็มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ในระดับที่ต่ำเช่นกัน (เฉลิมชัย, 2527; จุฑามาศ, 2539) ในส่วนของปริมาณกรดอะซิติคมีความแตกต่างกันในแต่ละสูตร กล่าวคือ ในสูตรที่ 5 มีปริมาณที่ค่อนข้างสูงกว่าสูตรอื่นๆ เนื่องมาจากระดับความเป็นกรด-ด่างที่สูงจึงทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจนเจริญได้ดี (Schmutz et al., 1969; Lopez et al., 1970) และส่วนปริมาณกรดบิวทิริคมีความแตกต่างกันในแต่ละสูตร และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างสูตรและระยะเวลา อาจเนื่อง

มาจากในระหว่างการหมักถุงอาจเป็นผลมาจากการบีบไล่อากาศออกไม่หมดหรืออาจมีรอยรั่วจึงทำให้มีการเจริญของราและยีสต์

แต่อย่างไรก็ตามในการตัดสินคุณภาพของอาหารหมักการใช้คะแนนของ Flieg เป็นที่ได้รับการยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั่วไป (สมคิด และ คณะ, 2542; Woolford, 1984) ซึ่งจะอาศัยสัดส่วนของปริมาณกรดแลคติคต่อกรดอะซิติคและบิวทิริค ซึ่งพบว่าในสูตรที่ 4 และ 5 ที่ระยะเวลาการหมัก 2 สัปดาห์ มีค่าของคะแนน Flieg ต่ำ คือ 28.75 และ 22.63 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งจัดว่าเป็นอาหารหมักที่มีคุณภาพพอใช้ และเลว ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงค่าการย่อยสลายวัตถุแห้งภายในกระเพาะรูเมนนั้น พบว่า ในชั่วโมงแรกๆ ของการย่อยสลายจะมีความแปรปรวนสูง ซึ่งเนื่องมาจากอาหารหยาบหมักนี้ผลิตมาจากผลพลอยได้ทางการเกษตรซึ่งมีคุณค่าทางโภชนะต่ำจึงส่งผลให้มีอัตราการย่อยสลายได้ช้าในชั่วโมงแรกๆ แต่ในชั่วโมงที่ 72 และ 96 พบว่า ในสูตรที่ 7 และ 8 มีเปอร์เซ็นต์ของการย่อยสลายค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากในสูตรที่ 7 และ 8 มีส่วนประกอบของกากเบียร์และกากรำสกัดน้ำมันในปริมาณที่สูงกว่าสูตรอื่นๆ การที่กากเบียร์จะมีการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนต่ำ เนื่องมาจากได้ผ่านกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงจึงทำให้เกิดปฏิกริยาที่เรียกว่า maillard reaction ระหว่างหมู่อัลดีไฮด์ (aldehyde group) ของน้ำตาลและกรดอะมิโนอิสระได้เป็นอะมิโน-ซูการ์คอมเพล็กซ์ (amino sugar complex) ซึ่งมีการเลื่อนลำดับเบส (Shift's base) ระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลได้เป็น 1-ดีออกซี่ 2-คีโตซิล อะมาโดไร คอมเพาวด์ (1- deoxy 2- ketosyl amadori compound) ซึ่งไม่สามารถผันกลับได้และทนต่อการย่อยสลายโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน (ทรงศักดิ์, 2541) ส่งผลทำให้ค่าการย่อยสลาย (effective degradability) ของวัตถุแห้งในสูตรที่ 7 และ 8 มีค่าต่ำกว่าสูตรอื่นๆ และนอกจากนี้ยังพบว่าในส่วนของการย่อยสลายของอาหารหยาบหมักเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น (2, 3 และ 4 สัปดาห์) พบว่า ค่าการย่อยสลายวัตถุแห้งมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากในกระบวนการหมักจุลินทรีย์ได้ใช้คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้เป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งเป็นส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย จึงส่งผลทำให้มีการย่อยสลายในกระเพาะ รูเมนได้ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Holder and McBarron (1964) ซึ่งได้ทดลองผลิตหญ้าหมัก โดยใช้หญ้า kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) ซึ่งเป็นหญ้าเขตร้อน พบว่า มีค่าการย่อยสลายได้ลดลงจาก 64 เปอร์เซ็นต์เป็น 46 เปอร์เซ็นต์ และการทดลองของ Levitt and O'Bryan (1965) ซึ่งได้ศึกษาการย่อยสลายวัตถุแห้งของหญ้าพาสพาลั่มหมัก (*Paspalum dilataum*) พบว่า มีการย่อยสลายลดลงจาก 60 เปอร์เซ็นต์เป็น 51 เปอร์เซ็นต์

5.7 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร พบว่า การเสริมยูเรียเพียงอย่างเดียว จะทำให้มีการผลิตกรดแลคติคลดลงและปริมาณกรดอะซิติคเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระดับความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ทำให้มีการสูญเสียวัตถุแห้งและโปรตีนในปริมาณที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารเสริม แต่การเสริม *Lactobacillus* sp. ร่วมกับการเสริมยูเรียมีแนวโน้มทำให้คุณอาหารหยาบหมักดีขึ้น การเสริมกากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวและเสริมร่วมกับการเสริมยูเรียจะทำให้ได้อาหารหยาบที่มีคุณภาพสูงเหมาะสำหรับให้เป็นอาหารเลี้ยงโคนม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าในการผลิตอาหารหยาบหมักควรมีการเสริมคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำ เช่น กากน้ำตาล ซึ่งจะทำให้ได้อาหารหยาบหมักคุณภาพสูง และควร

บทที่ 6

การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร

6.1 คำนำ

อุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ส่งผลทำให้มีความต้องการอาหารหยาบสำหรับใช้เลี้ยงโคนมเพิ่มมากขึ้น ทำให้อาหารหยาบสำหรับใช้เลี้ยงโคนมมีปริมาณไม่เพียงพอ โดยเฉพาะในเดือนธันวาคมถึงพฤษภาคมของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้งเกษตรกรมักจะประสบปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบทั้งปริมาณและคุณภาพ และในช่วงนี้เกษตรกรจำเป็นต้องมีการกักเก็บอาหารหยาบไว้เพื่อใช้เลี้ยงโคนมในปริมาณที่เพียงพอตลอดระยะเวลา 4-6 เดือน เพื่อลดการขาดแคลนอาหารหยาบ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้มุ่งเน้นถึงการเก็บรักษาอาหารหยาบหมักเพื่อใช้เลี้ยงโคนมในระยะที่มีการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้ง

6.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงระยะเวลาในการเก็บรักษาอาหารหยาบหมักที่ผลิตจากผลพลอยได้ทางการเกษตร

6.3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

6.3.1 ในการทดลองนี้จะศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยวางการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) มีกลุ่มการทดลองคือ ระยะเวลาการเก็บรักษา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 เดือน ซึ่งจะได้กลุ่มการทดลองทั้งหมด 6 กลุ่มการทดลอง ในแต่ละกลุ่มการทดลองมีจำนวน 4 ซ้ำ

6.3.2 ทำการผลิตอาหารหยาบหมัก (จากการทดลองที่ 1) โดยใช้สารเสริมช่วยหมัก คือ กากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ และ ยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักสด ดังตารางที่ 6.1 บรรจุใส่ถุงพลาสติกดำซ้อนด้วยถุงโพลี ซึ่งแต่ละถุงมีน้ำหนัก 10 กิโลกรัม จำนวนทั้งหมด 24 ถุง มีน้ำหนักรวม 240 กิโลกรัม แล้วอัดให้แน่นเพื่อบีบไล่อากาศออกให้หมด มัดปากถุงให้สนิทและนำไปเก็บไว้ในที่ร่ม

6.3.3 สุ่มตัวอย่างอาหารหยาบหมักตามระยะเวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 เดือน เพื่อนำมาวิเคราะห์หา วัตถุแห้ง (dry metter) (AOAC, 1990) วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) และตรวจวัดหาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ได้แก่ กรดอะซิติค (acetic acid) กรดบิวทิริค (butyric acid) กรดแลคติค (lactic acid) (Canale et al., 1984)

6.4 การทดสอบสมมุติฐาน

ข้อมูลทั้งหมดนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) แบบ completely randomized design (CRD) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี dancan's new multiple range test (DMRT) (Steel and Torries, 1980) และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1985)

6.5 ผลการทดลอง

6.5.1 การประกอบสูตรอาหารหมัก

ตารางที่ 6.1 การประกอบสูตรอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยจะใช้สารเสริมช่วยหมัก คือ กากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ และ ยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักอาหารหยาบสด ซึ่งมีโภชนะต่างๆ ดังนี้ คือ วัตถุแห้ง 35.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในกระบวนการหมัก โปรตีน 12.68 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.06 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 27.07 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง 53.30 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรด 25.46 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนของคาร์โบไฮเดรต 48.68 เปอร์เซ็นต์

6.5.2 การตรวจวัดคุณภาพของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร

การตรวจวัดคุณภาพของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร (ตารางที่ 6.2) พบว่า เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ระดับความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดบิวทิริคของอาหารหยาบหมัก (กรัมต่อกิโลกรัมอาหารหยาบหมักแห้ง) ในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ปริมาณกรดแลคติค (กรัมต่อกิโลกรัมอาหารหยาบหมักแห้ง) พบว่า มีความแตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยมีระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 4 เดือน มีค่าต่ำที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างจากระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 5 และ 6 เดือน ปริมาณกรดอะซิติค (กรัมต่อกิโลกรัมอาหารหยาบหมักแห้ง) พบว่า มีความแตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) โดยที่ปริมาณกรดอะซิติคสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น

อย่างไรก็ตามในส่วนของคะแนนของ Flieg พบว่า มีความแตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 6 เดือน มีคะแนนต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพโดยใช้เกณฑ์จากคะแนนของ Flieg พบว่า คุณภาพของอาหารหยาบหมักในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 1–3 เดือน อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก และในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 4-6 เดือนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

ตารางที่ 6.1 แสดงการประกอบสูตรอาหารหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร

วัตถุดิบ	กิโลกรัมน้ำหนักสด	กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง
กากอ้อย	35.0	15.1
กากรำสกัดน้ำมัน	2.0	1.8
กากมันสำปะหลัง	45.0	10.7
กากเบียร์	12.0	2.7
กากน้ำตาล	5.0	3.7
ยูเรีย	1.0	1.0

ตารางที่ 6.2 แสดงส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรก่อนการหมัก

ส่วนประกอบทางโภชนะ (%)	
น้ำหนักแห้ง	35.02
โปรตีนรวม	12.68
ไขมัน	2.06
เถ้า	3.56
เยื่อใย	27.07
NDF	53.30
ADF	25.46
NFE[1]	48.68

[1] %NFE = 100 – [%CP + %EE + %CF +%ASH)

ตารางที่ 6.3 แสดงการตรวจวัดคุณภาพอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรระยะเวลา 1 – 6 เดือน

	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)						SEM	%CV	Pr>F
	1	2	3	4	5	6			
DM (%)	39.7	36.6	35.6	35.9	35.3	35.7	1.22	6.71	0.1591
pH	4.20	4.31	4.27	4.26	4.31	4.24	0.05	2.52	0.6837
Lactate (g/kgDM)	44.52^{a}	45.32^{a}	40.80^{ab}	16.40^{c}	30.26^{abc}	27.44^{bc}	5.01	29.49	0.0040
Acetate (g/kgDM)	13.04^{d}	14.72^{cd}	18.02^{bcd}	19.38^{bc}	22.23^{b}	28.75^{a}	1.63	16.86	0.0001
Butyrate (g/kgDM)	2.93	2.30	1.42	0.00	0.53	1.93	0.67	88.61	0.5520
Flieg Point[1]	82.75^{a}	82.25^{a}	84.25^{a}	70.88^{a}	79.13^{ab}	69.50^{b}	3.16	8.10	0.0119
คุณภาพ	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดี	ดี	-	-	-

[1] คะแนน 81-100 ดีมาก, 61-80 ดี, 41-60 ปานกลาง, 21-60 พอใช้, 0-20 เลว (ดูในภาคผนวก)

6.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

ในการประกอบสูตรอาหารหยาบหมักในการทดลองนี้ได้คัดเลือกสูตรจากการทดลองที่ 1 ซึ่งในการประกอบสูตรนี้จะใช้สารเสริม คือ กากน้ำตาลซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติค และยูเรียซึ่งเป็นแหล่งโภชนะโปรตีน โดยจะคำนวณสูตรอาหารหยาบหมักให้มีโปรตีนเท่ากับอาหารหยาบคุณภาพดี คือ มีโปรตีนอย่างน้อยประมาณ 10-11 เปอร์เซ็นต์ (ฉลอง, 2541) ดังได้แสดงการประกอบสูตรอาหารหยาบหมักและส่วนประกอบทางโภชนะไว้ในตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 5.2 ตามลำดับ

ในการตรวจวัดคุณภาพอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ระยะเวลาต่างๆ นั้น พบว่า ในส่วนของวัตถุแห้งไม่มีความแตกต่างกันเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นจาก 1-6 เดือน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในการเปลี่ยนแปลงวัตถุแห้งจะเกิดในระยะแรกๆ ของการหมัก ซึ่งเกิดเนื่องมาจากในระยะแรกๆ นั้นยังมีอากาศอยู่ในถุงหญ้าหมัก ซึ่งส่งผลให้มีการเจริญเติบโตจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในอาหารหมักเป็นแหล่งพลังงาน (McDonald, 1981) และจะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งลดลง แต่เมื่อไม่มีอากาศภายในถุงหมักแล้วจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะหยุดการเจริญเติบโต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ พรชัย และคณะ (2540) ซึ่งได้ทดลองทำการผลิตหญ้าหมัก โดยใช้หญ้ารูซี่ทำการหมักระยะเวลา 1, 2, 3, และ 4 สัปดาห์ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งน้อยมาก

ในส่วนของระดับความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทุกระยะเวลาการหมัก ซึ่งในกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดแลคติคจะใช้ส่วนของคาร์โบไฮเดรนตที่ละลายน้ำได้ในการผลิตกรดแลคติค ส่งผลทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างลดลงมีผลยับยั้งการเจริญจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ (McDonald et al., 1991; 1995) ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ สุรเดช และ คณะ (2540) ทดลองในหญ้าซิกแนล พบว่า ที่ระยะเวลาการหมัก 10, 20, 30 และ 40 วัน พบว่า ระดับความเป็นกรด-ด่างลดลงตามระยะการหมักที่เพิ่มขึ้น และการทดลองของ พรชัย และคณะ (2540) โดยได้รายงานว่าระดับความเป็นกรด-ด่างมีการลดลงในระยะการหมัก 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 4.98-5.35, 4.80-4.88, 4.68-4.75 และ 4.55-4.68 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากเป็นการศึกษาในหญ้ารูซี่ ที่อายุ 55 วันซึ่งมีระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ต่ำจึงทำให้จุลินทรีย์ในกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติคมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างของหญ้าหมักจึงสูงมากกว่า 4.2 ซึ่งเป็นระดับที่สามารถทำจุลินทรีย์อื่นๆ สามารถแย่งอาหารในการเจริญเติบโต (Bolsen et al., 1995) จึงทำให้มีการลดลงของระดับความเป็นกรด-ด่างช้าลง ดังรายงานของ Davies et al. (1998) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ที่ระดับ 66 และ 250 กรัมต่อกิโลกรัมของหญ้าหมัก พบว่า หญ้าหมักที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ในปริมาณที่สูงจะมีระดับความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า และปริมาณกรดแลคติคสูงกว่าหญ้าหมักที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ในปริมาณที่ต่ำ

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณกรดไขมันระเหยได้ พบว่า ปริมาณของกรดแลคติค (กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง) พบว่า มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (1-6 เดือน) แต่ปริมาณกรดอะซิติค พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าจุลินทรีย์กลุ่ม clostridium ยีสต์ และ รา ในสภาพที่ขาดออกซิเจนและมีความเป็นกรด-ด่างต่ำจะมีการสร้าง สปอร์จึงทำให้สามารถมีชีวิตอยู่ได้ แต่ในสภาพที่มีความเหมาะสมก็จะมีการเจริญเติบโตขึ้นได้ (McDonald et al., 1995) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Keady and Steen (1995) ซึ่งทำการศึกษาระยะเวลาการหมักของหญ้าที่ระยะเวลาการหมัก 2, 3, 5, 14, 56 และ 227 วัน ตามลำดับ พบว่า ปริมาณกรดแลคติคเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาการหมัก 2, 3, 5 และ 14 วัน (39.5, 49.8, 85.1 และ 86.6 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้งของหญ้าหมักตามลำดับ) แต่ที่ระยะเวลา 56 และ 227 วัน กรดแลคติคมีปริมาณลดลง เป็น 71.0 และ 35.6 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ แต่ปริมาณกรดอะซิติคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกระยะเวลาของการหมัก (15.8, 10.4, 15.0, 18.5, 44.4 และ 62.4 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้งของหญ้าหมัก ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sebastian et al. (1996) ได้ทำการศึกษาในข้าวโพดหมัก ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 42, 138 และ 202 วัน พบว่า ปริมาณกรดแลคติคมีค่าลดลง ซึ่งเป็นเพราะว่าในข้าวโพดมียีสต์ในปริมาณที่สูงและยีสต์นี้สามารถใช้กรดแลคติคได้ และ Lindgren et al. (1985) ได้รายงานว่า ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 51 และ 177 วัน พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของกรดอะซิติค และในส่วนของกรดบิวทิริคไม่พบความแตกต่างกันทุกระยะเวลาการหมัก

แต่อย่างไรก็ตามในการตัดสินคุณภาพของอาหารหมักการใช้คะแนนของ Flieg เป็นที่ได้รับการยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั่วไป (Woolford, 1984) ซึ่งจะใช้สัดส่วนของปริมาณของกรด แลคติคต่อกรดอะซิติคและบิวทิริค ซึ่งพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 6 เดือน มีระดับคะแนน Flieg ต่ำที่สุด (69.5) ซึ่งเมื่อเทียบค่าของคะแนนของ Flieg สามารถจัดว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 1-3 เดือน ทำให้ได้อาหารหยาบหมักมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก และที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 4-6 เดือน ทำให้ได้อาหารหยาบหมักมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระยะในการเก็บรักษาอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรนานขึ้นจะทำให้คุณภาพลดลง แต่อย่างไรก็ตามก็ยังสามารถเก็บรักษาอาหารหยาบหมักได้อย่างน้อย 6 เดือน ซึ่งคุณภาพของอาหารหยาบหมักยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดีซึ่งเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เลี้ยงโคนม

6.7 สรุปผลการทดลอง

ในการเก็บรักษาอาหารหยาบหมักที่ระยะเวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 เดือน พบว่า ส่วนประกอบวัตถุแห้งของอาหารหยาบหมักไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเก็บรักษานานขึ้น เช่นเดียวกันกับระดับความเป็นกรด-ด่าง แต่ปริมาณของกรดแลคติคมีค่าลดลง และปริมาณของกรดอะซิติคมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของอาหารหยาบหมัก โดยทำให้คุณภาพของอาหารหยาบหมักลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาอาหารหยาบแม้จะทำให้คุณภาพของอาหารหยาบหมักลดลงแต่ก็ยังว่าอยู่ในเกณฑ์คุณภาพที่ดี ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า อาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรสามารถเก็บรักษาได้อย่างน้อย 6 เดือน โดยที่อาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรยังมีคุณภาพดีเหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงโคนม

บทที่ 7

การศึกษาผลของการให้ผลผลิตของโครีดนม ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียน (Crossed Breed Holstein Friesian) ที่ได้รับอาหารหยาบหมักเปรียบเทียบกับหญ้าสด

7.1 คำนำ

ปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบสำหรับใช้เลี้ยงโคนมเป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งที่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมต้องประสบอยู่เสมอ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง อีกทั้งเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่สามารถที่จะปลูกสร้างทุ่งหญ้าได้ เนื่องจากมีพื้นที่จำกัดและขาดระบบการชลประทานที่ดี ดังนั้นเกษตรกรจำเป็นต้องนำผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ มาใช้เป็นอาหารโคนม ซึ่งการที่จะนำผลพลอยได้ทางการเกษตรเหล่านี้มาใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงโคนมนั้นจะต้องแน่ใจว่ามีคุณค่าทางโภชนะ และความน่ากินเหมาะสมสำหรับโคนม ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงการนำเอาผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารหยาบหมัก เพื่อใช้เลี้ยงโคนมในช่วงที่มีการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์คุณภาพดี ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมได้

7.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลการตอบสนองผลผลิตน้ำนมของโครีดนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยเปรียบเทียบกับหญ้าสดคุณภาพดี

7.3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

7.3.1 ศึกษาผลของการนำอาหารหยาบหมักใช้เลี้ยงโครีดนม

7.3.1.1 ในการทดลองนี้ได้จัดแผนการทดลองแบบ group comparison โดยจัดกลุ่มโคนมออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง คือ

กลุ่มการทดลองที่ 1 โครีดนมที่ได้รับอาหารหยาบหมัก จำนวน 10 ตัว

กลุ่มการทดลองที่ 2 โครีดนมที่ได้รับพืชอาหารสัตว์คุณภาพดี จำนวน 10 ตัว

ในกลุ่มการทดลองที่ 1 ได้เหลือโครีดนมในการทดลองเพียง 8 ตัว เนื่องจากในระหว่างทำการทดลองไปได้ 2 สัปดาห์ มีโคจำนวน 2 ตัว แสดงอาการป่วยจึงได้คัดออกจากการทดลอง และได้วิเคราะห์ข้อมูลแบบจำนวนค่าสังเกตไม่เท่ากัน

7.3.1.2 การจัดการสัตว์ทดลอง

โคนมที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียน ในระยะช่วงต้นการให้นม ซึ่งจะจัดกลุ่มแบบ stratified random balance group โดยคัดเลือกจากการให้ปริมาณน้ำนม ระยะเวลาให้นม อายุ จำนวนท้อง และน้ำหนักตัว โดยที่โคนมทั้งหมด 18 ตัว นั้นเป็นโคนมที่มีน้ำนม

เฉลี่ย 16.13±4.67 (n=8) และ 16.24±3.23 (n=10) กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ระยะเวลาการให้นม 75.25±20.41 และ 65.40±28.80 วัน ตามลำดับ อายุ 5.5±2.0 และ 6.1±1.85 ปี ตามลำดับ จำนวนท้อง 2.75±1.16 และ 3.20±1.03 ตามลำดับ และน้ำหนัก 426.88±62.30 และ 438.60±47.80 กิโลกรัมต่อตัว โคนมทุกตัวถูกขังคอกเดี่ยวโดยเลี้ยงแบบยืนโรง มีอ่างน้ำสำหรับใส่น้ำให้กินตลอดเวลา

7.3.1.3 การจัดการอาหารสัตว์ทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการผลิตอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร ซึ่งใช้กากอ้อยเป็นแหล่งเยื่อใย กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงาน และกากรำสกัดน้ำมัน และกากเบียร์เป็นแหล่งโปรตีน โดยใช้ในปริมาณ 35, 45, 2 และ 12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด ตามลำดับ และได้ใช้สารเสริมเป็น ยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ กากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักอาหารหยาบหมักสด และทำการหมักภายในหลุมหมักขนาด 4 X 4 X 1 ตารางเมตร จำนวน 3 หลุม และคลุมหลุมหมักด้วยพลาสติกดำอย่างมิดชิดเพื่อป้องกันอากาศเข้า ใช้เวลาในการหมัก 2 สัปดาห์ ในการจ่ายอาหารให้แก่โคนมจะจ่ายเป็นรายตัว โดยจะจ่ายอาหารแยกเป็นอาหารข้นและอาหารหยาบ ซึ่งอาหารข้นที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารของฟาร์มมหาวิทยาลัย และจ่ายอาหารในช่วงเช้าเวลา 7.30 น. ช่วงบ่ายเวลา 16.30 น. ของทุกวัน ซึ่งอาหารที่จ่ายมีส่วนประกอบทางโภชนะต่างๆ ดังตารางที่ 7.1

7.3.1.4 การเก็บข้อมูล

(1) ข้อมูลน้ำนม

ทำการบันทึกการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมทุกวันตลอดระยะเวลาของการทดลอง และสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมทุกสัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน (เย็น-เช้า) ตามอัตราส่วนปริมาณน้ำนมในช่วงเย็นและในช่วงเช้า 40 ต่อ 60 ใส่ในขวดเก็บน้ำนมขนาด 50 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาไขมันนม (milk fat) โดยวิธีเกอร์เบอร์ (gerber method) (AOAC, 1990) โปรตีนในน้ำนม (milk protein)โดยเครื่องเคเจลเทค และของแข็งในน้ำนม (total solid) ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ แล้วจึงนำมาคำนวณเป็นปริมาณ กรัมต่อตัวต่อวัน ส่วนปริมาณแล็คโตสในน้ำนม (milk lactose) และของแข็งพร่องไขมัน (solid not fat) จะใช้วิธีการคำนวณดังสมการ (หน่วยเป็นกรัมต่อตัวต่อวัน)

ไขมันนม = [ปริมาณน้ำนม (Kg) x ไขมันในน้ำนม (%) x1000]/100

โปรตีนนม = [ปริมาณน้ำนม (Kg) x โปรตีนในน้ำนม (%) x1000]/100

ของแข็งในน้ำนม = [ปริมาณน้ำนม (Kg) x ของแข็งในน้ำนม (%) x1000]/100

ของแข็งพร่องไขมัน = {ปริมาณน้ำนม(Kg)x[ของแข็งในน้ำนม(%)-ไขมันนม(%)]}x10

แล็คโตสในน้ำนม = {ปริมาณน้ำนม(Kg)x[ของแข็งพร่องในไขมัน(%) - โปรตีนนม(%) -เถ้า]}x10

ซึ่งเถ้าในน้ำนมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.7-0.8 เปอร์เซ็นต์ และเป็นค่าที่มีการผันแปรน้อยมากดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จะใช้ค่าเถ้าเป็น 0.8

(2) การกินได้

ทำการวัดการกินได้ทุกสัปดาห์สัปดาห์ละ 2 วัน ติดต่อกันตลอดการทดลอง โดยสุ่มเก็บอาหารก่อนกินและหลังกิน 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาอบที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมงเพื่อวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง (AOAC, 1990) และนำตัวอย่างที่อบแห้งมารวมกันเป็นรายสัปดาห์แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างเป็นรายตัว เพื่อนำไปบดและวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะในอาหารต่อไป

(3) การวัดน้ำหนักตัว

ทำการชั่งน้ำหนักตัวโคนมก่อนและหลังการทดลอง

7.3.2 การศึกษาการย่อยทั้งหมด โดยวิธี total collection และการศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน (rumen degradable) โดยใช้วิธีใช้ถุงไนล่อน (Ørskov and McDonald, 1979; Ørskov, et al., 1980)

7.3.2.1 การจัดการสัตว์ทดลอง

โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียนเลือด 85.6±7.25 อายุเฉลี่ย 8.6±2.8 ปี เป็นโคไม่รีดนม ซึ่งแบ่งเป็นโคเจาะกระเพาะ 6 ตัว และโคไม่ให้นม 2 ตัว เพื่อศึกษาการย่อยได้ ทำการจัดกลุ่มเป็น 2 กลุ่ม ตามน้ำหนักตัว ซึ่งมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 447±2.5 และ 436±46.5 ตามลำดับ และสามารถจัดกลุ่มได้ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ กลุ่มของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักเป็นอาหารหยาบ มีโคเจาะกระเพาะ 3 ตัว และโคไม่ให้นม 1 ตัว

กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ กลุ่มของโคนมที่ได้รับหญ้าสดเป็นอาหารหยาบ มีโคเจาะกระเพาะ 3 ตัว และโคไม่ให้นม 1 ตัว

7.3.2.2 การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ

(1) ระยะปรับตัว

ระยะนี้จะเป็นการให้โคปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม การเลี้ยงดู และอาหารซึ่งจะต้องปฏิบัติดังนี้ ปรับอาหารที่ให้โคนมและให้โคได้ชินกับสภาพแวดล้อม ซึ่งใช้ระยะเวลาในช่วงนี้นาน 7 วัน

(2) ระยะเก็บข้อมูล

ระยะนี้จะเก็บข้อมูลต่างๆ คือ ปริมาณการกินอาหาร มูล และปัสสาวะ ซึ่งใช้ระยะเวลาในช่วงนี้นาน 5 วัน

- การวัดปริมาณการกินอาหาร

ชั่งอาหารให้โคนม อาหารข้น 6 กิโลกรัม และอาหารหยาบ 15 กิโลกรัม (ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ของการกินอาหารก่อนการทดลอง) และชั่งน้ำหนักอาหารที่เหลือในแต่ละวัน สุ่มเก็บตัวอย่างทั้งก่อนและหลังกินทุกครั้งโดยแบ่งตัวอย่างเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง (DM) ทุกวัน อีกส่วนหนึ่งนำไปแช่แข็ง เมื่อเสร็จการทดลองแล้วนำมารวมกันเป็นรายตัว เพื่อนำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางโภชนะต่างๆ

- การเก็บมูล

เก็บมูลทั้งหมดเป็นรายตัว ชั่งน้ำหนักมูลทั้งหมดและสุ่มมูล 10 เปอร์เซ็นต์ ของมูลทั้งหมดใส่ถุงพลาสติก แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส โดยจะสุ่มเก็บทุกวันตลอดการทดลอง

- การเก็บปัสสาวะ

เก็บปัสสาวะทั้งหมดเป็นรายตัวเก็บไว้ใน 9 N H_2SO_4 (100 มิลลิลิตรต่อปัสสาวะ 20 ลิตร) และชั่งน้ำหนักพร้อมกับสุ่มเก็บปัสสาวะ 10 เปอร์เซ็นต์ของปัสสาวะทั้งหมดเป็นรายตัวแล้วนำไปแช่แข็งเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน

- การหาการย่อยได้อาหารและสมดุลไนโตรเจนของโคนม ดังสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพการย่อยได้} = \frac{[\text{โภชนะในอาหาร} - \text{โภชนะในมูล}]}{\text{โภชนะในอาหาร}}$$

$$\text{การย่อยได้ทั้งหมด (TDN)} = \%DCP + \%DCF + \%DNFE + (\%EE \times 2.25)$$

$$\text{สมดุลไนโตรเจน} = (\text{ไนโตรเจนในอาหาร (g)}) - (\text{ไนโตรเจนในมูล (g)}) + (\text{ไนโตรเจนในปัสสาวะ (g)})$$

7.3.2.3 การศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนโดยวิธีการใช้ถุงไนล่อน (nylon bag technique) (Ørskov and McDonald, 1979; Ørskov, et al., 1980)

ทำการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนของอาหารทั้งสองกลุ่มการทดลอง ทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบ โดยศึกษาการย่อยสลายที่เวลา 0, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งใช้โคไม่รีดนมเจาะกระเพาะจำนวน 6 ตัว หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนมาล้าง และนำไปวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง จากนั้นจึงนำอาหารที่เหลือจากการย่อยสลายไปหาโปรตีนด้วยเครื่องเคเจลเทค (AOAC, 1990)

7.4 การทดสอบสมมติฐาน

ข้อมูลทั้งหมดแสดงในรูป Mean±SD นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) แบบ T-test (Steel and Torries, 1980) และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1985)

7.5 ผลการทดลอง

7.5.1 ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารที่ใช้เลี้ยงโคนม

ตารางที่ 7.1 ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารที่ใช้เลี้ยงโคนมทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง กล่าวคือ กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ กลุ่มที่โคนมได้รับอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรเป็นอาหารหยาบ และกลุ่มการทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่โคนมได้รับหญ้ารูซี่สดเป็นอาหารหยาบ พบว่า ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารของกลุ่มการทดลองที่ 1 มีโปรตีนที่สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 แต่ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีระดับเยื่อใย เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง และเยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรด สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 ในส่วนของส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน

7.5.2 การกินได้อาหารและโภชนะต่างๆ ของโคนม

การกินได้ของอาหารและโภชนะของโคนมแสดงไว้ในตารางที่ 7.3 พบว่า การกินได้ของอาหารหยาบและอาหารรวมของกลุ่มการทดลองที่ 1 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) (8.0, 5.8 และ 15.1, 12.8 กิโลกรัม วัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน หรือ 1.9, 1.8 และ 3.6, 3.0 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ตามลำดับ) แต่การกินได้ของอาหารข้นไม่แตกต่างกันเนื่องมาจากในการจ่ายอาหารข้นให้แก่โคนมจะจ่ายอาหารเท่ากันทั้งสองกลุ่มการทดลอง

การกินได้โภชนะต่างๆ ของโคนมทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง พบว่า ในกลุ่มการทดลองที่ 1 มีการกินได้โภชนะโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และพลังงานสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) (2487, 1750 และ 333, 174 และ 7929, 6608 และ 189, 152 กรัม วัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ) และในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีการกินโภชนะเยื่อใย และเยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรด สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) (2764, 2453 และ 3334, 2747 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ)

ตารางที่ 7.1 แสดงส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารที่ใช้เลี้ยงโครีดนม

เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง	อาหารข้น	อาหารหยาบหมัก	หญ้ารูซี่สด
วัตถุแห้ง	88.41±0.01	36.10±0.07	28.96±0.09
โปรตีน	21.13±0.01	11.75±0.15	4.97±0.29
ไขมัน	2.46±0.08	2.03±0.07	0.33±0.36
เถ้า	8.85±0.06	15.33±1.00	8.48±1.47
เยื่อใย	10.57±0.52	21.49±0.44	35.39±0.79
NDF	33.62±0.66	49.54±2.17	67.55±3.67
ADF	8.81±1.96	31.29±1.36	47.18±3.52
NFE[1]	57.00	49.40	50.90
GE (MJ/kgDM)[2]	17.19	15.09	15.83

[1] NFE (%) = 100 – [CP(%) + EE(%) + ASH(%) + CF(%)]

[2] GE (MJ/kgDM) ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter

ตารางที่ 7.2 แสดงส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารรวมที่โคได้รับ

อาหารรวม(TMR)	กลุ่มการทดลองที่ 1[1]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2]
วัตถุแห้ง	60.1	64.7
โปรตีน	15.6	12.8
ไขมัน	2.21	1.4
เถ้า	12.7	8.6
เยื่อใย	17.0	23.5
NDF	43.0	51.2
ADF	22.0	28.7
NFE[3]	52.6	51.5
GE (MJ/kgDM)[4]	16.1	16.6
DE (MJ/kgDM)[5]	15.3	14.5
ME (MJ/kgDM)[6]	12.5	11.9

[1] กลุ่มการทดลองที่ 1 คือกลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบหมักเป็นอาหารหยาบ

[2] กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับหญ้าสดเป็นอาหารหยาบ

[3,4] ดังตารางที่ 6.1 [5,6] ดูในภาคผนวก

ตารางที่ 7.3 แสดงการกินอาหารได้ของโคนม

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2]	%CV	Pr>T
การกินได้ (kgDM/day)				
อาหารข้น	7.1	7.1	-	-
อาหารหยาบ	8.0±0.73[a]	5.8±0.59[b]	9.66	0.0001
อาหารรวม	15.1±0.7[a]	12.8±0.7[b]	4.99	0.0001
การกินได้ (%BW)				
อาหารข้น	1.7±0.2	1.6±0.2	11.71	0.5087
อาหารหยาบ	1.9±3[a]	5.8±2[b]	14.46	0.0001
อาหารรวม	3.6±4[a]	3.0±4[b]	12.27	0.0040
การกินได้ (g/day)				
โปรตีน	2487±10[a]	1750±106[b]	4.65	0.0001
ไขมัน	333±16[a]	174±9[b]	5.11	0.0001
เยื่อใย	2453±24[b]	2764±151[a]	6.54	0.0015
NDF	6080±81	6313±403	8.43	0.3631
ADF	3163±57	3334±311	12.38	0.0050
NFE[3]	7929±381[a]	6608±56.51[b]	4.97	0.0001
ME (MJ/Cow/Day)[4]	189±9[a]	152±8[b]	5.07	0.0001

[1] หมายถึง กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ กลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบหมักเป็นอาหารหยาบ

[2] หมายถึง กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับหญ้าฉดเป็นอาหารหยาบ

[3] NFE (%) = 100 – [CP(%) + EE(%) + ASH(%) + CF(%)]

[4] ดูในภาคผนวก

7.5.3 การกินได้และการย่อยได้ *in vivo* โดยวิธี total collection ของอาหารโคนม

การกินได้อาหารของโคนม (ตารารงที่ 7.4) พบว่า การกินได้ไม่แตกต่างกันของทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง เนื่องมาจากในการจ่ายอาหารให้แก่โคนมทั้ง 2 กลุ่ม จะจ่ายอาหารให้เพียง 90 เปอร์เซ็นต์ของการกินได้ เพื่อศึกษาการย่อยได้โดยวิธี total collection

เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ พบว่า ในกลุ่มการทดลองที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การย่อยได้โปรตีนสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (87.7, 80.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และมีเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ไขมันสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) (90.7 และ 75.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่ในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีการย่อยได้ของโภชนะเยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรดมีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (21.4 และ12.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

การกินได้พลังงานที่ย่อยได้ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ และความสมดุลโภชนะไนโตรเจน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 7.4 แสดงการกินได้และการย่อยได้ *in vivo* ของอาหารโคนมโดยวิธี total collection

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2]	CV	Pr >T
การกินได้ (กิโลกรัมต่อวัน)				
อาหารข้น	5.3	5.3	-	-
อาหารหยาบ	5.0±1.1	4.2±0.3	19.77	0.2648
อาหารรวม	10.3±6.5	9.5±3.2	9.23	0.2599
การย่อยได้โภชนะต่างๆ (%)				
วัตถุแห้ง	82.7±6.5	75.4±3.2	6.98	0.1131
โปรตีน	87.7±5.1[a]	80.4±0.9[b]	4.3	0.0468
ไขมัน	90.7±2.9[a]	75.3±1.8[b]	3.0	0.0005
เยื่อใย	75.3±9.1	75.9±3.1	9.0	0.8952
NDF	30.5±7.1	37.5±2.7	15.7	0.2288
ADF	13.8±5.7	21.4±2.3	25.8	0.0604
NFE	88.7±4.9	84.9±2.1	4.4	0.2437
%TDN	82.7±5.3	78.5±2.0	5.0	0.2762
DE (MJ/kgDM)[3]	15.3±1.0	14.5±0.4	5.0	0.2744
ME (MJ/kgDM)[4]	12.5±0.8	11.9±0.3	5.0	0.2741
ความสมดุลของไนโตรเจน (g/day)	215±56.6	143±27.8	24.9	0.1321

[1] หมายถึง กลุ่มการทดลองที่ 1 คือกลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบหมักเป็นอาหารหยาบ

[2] หมายถึง กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับหญ้าสดเป็นอาหารหยาบ

[3][4] ดูในภาคผนวก

7.5.4 การให้ผลผลิตของโคนม

ตารางที่ 7.5 แสดงผลการให้ผลผลิตของโคนม พบว่า ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน) ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน) ปริมาณไขมัน (กรัมต่อตัวต่อวัน) ปริมาณโปรตีน (กรัมต่อตัวต่อวัน) ปริมาณแล็คโตส (กรัมต่อตัวต่อวัน) ปริมาณของแข็งพร่อง ไขมัน (กรัมต่อตัวต่อวัน) ปริมาณของแข็งรวม (กรัมต่อตัวต่อวัน) เปอร์เซ็นต์ไขมัน เปอร์เซ็นต์โปรตีน เปอร์เซ็นต์แล็คโตส เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมัน เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวม น้ำหนักตัว และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 7.5 แสดงผลการให้ผลผลิตของโคนม

ผลผลิตของโคนม	กลุ่มการทดลองที่ 1[1]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2]	%CV	Pr >T
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน)				
ก่อนการทดลอง	16.1+4.7	16.2+3.2	24.23	0.9539
ระหว่างการทดลอง	14.2+3.1	13.7+3.2	22.68	0.7392
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4% (กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน)				
ก่อนการทดลอง	15.8±6.0	16.1±4.0	30.9	0.8872
ระหว่างการทดลอง	14.1±4.4	13.9±3.0	26.1	0.8790
ปริมาณไขมัน (กรัมต่อตัวต่อวัน)				
ก่อนการทดลอง	623+282	642+194	37.36	0.8645
ระหว่างการทดลอง	563+211	558+135	30.83	0.9578
ปริมาณโปรตีน (กรัมต่อตัวต่อวัน)				
ก่อนการทดลอง	437+140	435+128	30.59	0.9694
ระหว่างการทดลอง	425+104	397+82	22.60	0.5264
ปริมาณ แล็คโตส (กรัมต่อตัวต่อวัน)				
ก่อนการทดลอง	764+374	812+384	47.98	0.7916
ระหว่างการทดลอง	782+240	853+291	32.80	0.5866
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัมต่อตัวต่อวัน)				
ก่อนการทดลอง	1313+453	1360+431	32.89	0.8262
ระหว่างการทดลอง	1306+311	1354+303	23.02	0.7447
ปริมาณของแข็งรวม (กรัมต่อตัวต่อวัน)				
ก่อนการทดลอง	1936+610	2002+502	27.97	0.8038
ระหว่างการทดลอง	1869+488	1909+385	22.89	0.8467

ตารางที่ 7.5 แสดงผลการให้ผลผลิตของโคนม (ต่อ)

ผลผลิตของโคนม	กลุ่มการทดลองที่ 1[1]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2]	%CV	Pr>T
เปอร์เซ็นต์ไขมัน				
ก่อนการทดลอง	3.78±0.80	3.94±0.82	20.91	0.6728
ระหว่างการทดลอง	3.90±0.63	4.19±0.96	20.45	0.4858
เปอร์เซ็นต์โปรตีน				
ก่อนการทดลอง	2.71±0.26	2.66±0.48	14.90	0.7851
ระหว่างการทดลอง	3.01±0.34	2.93±0.23	9.42	0.5739
เปอร์เซ็นต์แล็คโตส				
ก่อนการทดลอง	4.75±2.03	5.53±2.24	43.81	0.7854
ระหว่างการทดลอง	5.03±1.67	6.81±3.80	48.91	0.3877
เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมัน				
ก่อนการทดลอง	8.15±1.93	8.38±2.21	25.28	0.8227
ระหว่างการทดลอง	9.24±1.76	10.51±3.93	31.89	0.4091
เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวม				
ก่อนการทดลอง	11.93±1.39	12.32±2.04	14.70	0.6503
ระหว่างการทดลอง	13.13±1.94	14.67±4.65	26.59	0.3970
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)				
ก่อนการทดลอง	427±62	439±48	12.60	0.6539
หลังการทดลอง	410±54	418±53	12.89	0.7571
น้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลง (กรัมต่อวัน)	-488±661	-399±610	142.5	0.7722

[1] หมายถึง กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ กลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบหมักเป็นอาหารหยาบ

[2] หมายถึง กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับหญ้าสดเป็นอาหารหยาบ

7.5.5 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารรวม

โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (กรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (กรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน) ของโคนมที่ได้รับอาหารรวมทั้งสองกลุ่มการทดลอง ดังตารางที่ 7.6 กล่าวคือ กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ กลุ่มที่โคนมได้รับอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรเป็นอาหารหยาบ และกลุ่มที่โคนมได้รับหญ้าสดเป็นอาหารหยาบ พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนของอาหารหยาบ อาหารรวม และความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนมีค่าสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) (688,

186 และ 1923, 1428 และ 1583, 1276 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตามโคนมทั้งสองกลุ่มการทดลอง ได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนจากอาหารเกินความต้องการ โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับเกินความต้องการสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) (340 และ 151 ตามลำดับ)

ในส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (ตารางที่ 7.6) นั้น พบว่า โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน จากอาหารข้น อาหารหยาบ และอาหารรวมสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) (260, 249 และ 254, 101 และ 515, 350 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ) ส่วนความต้องการโปรตีนในการให้ผลผลิตน้ำนม เพื่อการดำรงชีพ เพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว และความต้องการโปรตีนรวมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับโปรตีนจากจุลินทรีย์สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 คือ เท่ากับ 861 กับ 694 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) ซึ่งเมื่อพิจารณาโปรตีนที่โคได้รับจากอาหารและจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน พบว่า มีปริมาณมากกว่าความต้องการโปรตีนรวมทั้งหมด และการกินได้พลังงานใช้ประโยชน์ของกลุ่มการทดลองที่ 1 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) และนอกจากนี้สัดส่วนของโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนต่อพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในกลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 10.71 และ 8.6 กรัมของโปรตีนที่ย่อยสลายภายในกระเพาะรูเมนต่อเมกะจูลของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่โคนมได้รับ ตามลำดับ

ตารางที่ 7.7 แสดงการจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ ของโคนมทั้ง 2 กลุ่ม จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ เพื่อการผลิตน้ำนม และเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัวมีความใกล้เคียงกันทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง แต่ในกลุ่มการทดลองที่ 1 มีการกินได้สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) (189 และ 152 เมกะจูลต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ) และได้รับพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อการให้ผลผลิตสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) เช่นกัน(132 และ 95 เมกะจูลต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ)

ตารางที่ 7.6 แสดงการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนและไม่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนของโภชนะโปรตีนของอาหารโคนม (หน่วย : กรัมต่อตัวต่อวัน)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2]	%CV	P>T
โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน(RDP)[3]				
อาหารข้น	1235±1	1242±12	0.75	0.1523
อาหารหยาบ	688±63[a]	186±19[b]	10.69	0.0001
อาหารรวม	1923±62[a]	1428±31[b]	2.87	0.0001
ความต้องการ RDP	1583±76[a]	1276±65[b]	4.98	0.0001
ขาด/เกิน	340±14[a]	151±35[b]	11.77	0.0001
โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน(UDP)[4]				
อาหารข้น	260±0[a]	249±3[b]	0.73	0.0001
อาหารหยาบ	254±23[a]	101±10[b]	10.13	0.0001
อาหารรวม	515±23[a]	350±13[b]	4.25	0.0001
ความต้องการโปรตีน				
เพื่อการดำรงชีพ	215±23	220±18	9.35	0.6435
เพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว	-63±85	-76±93	127.63	0.7607
เพื่อการให้นม	424±91	356±79	15.67	0.5080
ความต้องการโปรตีนรวม	577±70	541±105	16.46	0.4229
โปรตีนจากจุลินทรีย์ในการเพาะรูเมน	861±42[a]	694±36[b]	4.98	0.0001
ความต้องการ UDP	-284±81[b]	-153±92[a]	41.36	0.0061
ขาด/เกิน	799±94[a]	503±91[b]	31.64	0.0001
การกินได้พลังงานใช้ประโยชน์ (ME)	189±9[a]	152±8[b]	5.07	0.0001
RDP/ME	10.2±0.2[a]	8.6±0.1[b]	1.88	0.0001

[1] หมายถึง กลุ่มการทดลองที่ 1 คือกลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบหมักเป็นอาหารหยาบ

[2] หมายถึง กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับหญ้าฮดเป็นอาหารหยาบ

[3] การคำนวณดูในภาคผนวก

ตารางที่ 7.7 แสดงการจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ[3] (MJ/ตัว/วัน)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2]	%CV	Pr>T
การกินได้พลังงานใช้ประโยชน์ (ME_{intake})	189±9[a]	152±8[b]	5.07	0.0001
พลังงานใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ (ME_m)	56±6	58±5	9.65	0.6549
พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_l)	44±13	43±9	25.66	0.7122
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_g)	-6±10	-8±11	156.62	0.8260
พลังงานสุทธิที่สะสม	38±8	36±12	27.55	0.6195
พลังงานใช้ประโยชน์ (การกิน-ดำรงชีพ)	132±9[a]	95±9[b]	8.40	0.0001
ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานเพื่อผลผลิต (%)	29.1±0.1	38.0±0.1	32.10	0.1013

[1] หมายถึง กลุ่มการทดลองที่ 1 คือกลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบหมักเป็นอาหารหยาบ

[2] หมายถึง กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับหญ้าสดเป็นอาหารหยาบ

[3] การคำนวณดูในภาคผนวก

7.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ กลุ่มที่โคนมได้รับอาหารหยาบหมักเป็นอาหารหยาบ กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่โคนมได้รับหญ้าสดเป็นอาหารหยาบ ซึ่งในการจ่ายอาหารจะแยกจ่ายเป็นอาหารข้นและอาหารหยาบ โดยอาหารข้นที่ใช้จะให้โคนมทั้ง 2 กลุ่ม ในปริมาณที่เท่ากัน ส่วนอาหารหยาบจะให้กินเต็มที่ โดยที่ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารที่ใช้เลี้ยงโคนม (ตารางที่ 6.1) พบว่า อาหารหยาบหมักนี้ได้จากการประกอบสูตรอาหารจึงมีโปรตีน 11.75 เปอร์เซ็นต์ มีพลังงานรวม (GE) เป็น 15.09 MJ/kgDM และหญ้าสดมีโปรตีน 4.97 เปอร์เซ็นต์ มีพลังงานรวม 15.83 MJ/kgDM ซึ่งอาหารหยาบที่มีคุณภาพดีจะต้องมีส่วนของโปรตีน 10-11 เปอร์เซ็นต์ (ฉลอง, 2541) และในรายงานของ Webster (1993) รายงานว่าอาหารหยาบที่มีเหมาะสำหรับใช้เลี้ยงโคนมควรมีพลังงานรวมมากกว่า 12 MJ/kgDM ซึ่งในส่วนของอาหารหยาบหมักมีโปรตีนสูงกว่าหญ้าสด แต่มีพลังงานรวมในอาหารไม่แตกต่างกันซึ่งเหมาะสมในการใช้เลี้ยงโคนม ในส่วนของหญ้าสดนั้นมีส่วนของเยื่อใย เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง และเยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรดสูงกว่าในอาหารหยาบหมัก อย่างไรก็ตามส่วนประกอบของอาหารรวมของโคนมทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า ในส่วนของการกินได้ของกลุ่มที่โคนมได้รับอาหารหยาบหมักจะมีส่วนของโปรตีนและไขมันสูงกว่า แต่พบว่าอาหารรวมของโคนมในกลุ่มที่ได้รับหญ้าสดมีเยื่อใย เยื่อใยที่ไม่ละลายในละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลางและเยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรด ในระดับที่สูง ซึ่งเป็นไปตามส่วนประกอบของอาหารหยาบที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม NRC (1988) ได้แนะนำว่าในอาหารของโคนมควรมีส่วนประกอบของมีเยื่อใย เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง และเยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็น

กรด ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 17, 28 และ 21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และควรมีระดับโปรตีนหยาบ 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าอาหารที่โคได้รับทั้งสองกลุ่มมีส่วนประกอบประเภทเยื่อใยมีอยู่ในระดับที่เหมาะสม แต่ในส่วนของโปรตีนของอาหารในกลุ่มที่โคนมได้รับหญ้าสดมีค่าที่ต่ำกว่าในกลุ่มที่โคนมได้รับอาหารหยาบหมัก และต่ำกว่าที่ NRC (1988)ได้แนะนำไว้ อย่างไรก็ตามในการจัดการด้านอาหารควรพิจารณาถึงการกินได้ของอาหารที่ใช้เลี้ยงโคนมประกอบกันไปด้วย

จากตารางที่ 7.3 แสดงถึงการกินได้อาหารของโคนมทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า โคนมในกลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบหมักมีการกินได้อาหารหยาบในปริมาณสูงกว่าโคนมกลุ่มที่กินหญ้าสด จึงส่งผลทำให้การกินได้อาหารรวมในปริมาณที่สูงขึ้นตามไปด้วย (8.0 กับ 5.8 และ 15.1 กับ 12.8 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ) ทั้งนี้เนื่องมาจากในส่วนของอาหารหยาบหมักนั้นจะมีขนาดชิ้นของอาหารที่เล็กกว่าหญ้าสด จึงมีผลทำให้อัตราการไหลผ่านกระเพาะรูเมนและการย่อยสลายในรูเมนในอัตราเร็วขึ้น ส่งผลทำให้ในส่วนของกระเพาะรูเมนว่างลงทำให้โคนมสามารถกินอาหารได้มากขึ้น (วิศิษฐิพร, 2538; 2539) และเมื่อพิจารณาถึงระดับโปรตีนหยาบที่โคนมได้รับ พบว่า ในกลุ่มของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักมีค่าสูงกว่าในกลุ่มที่โคนมได้รับหญ้าสด ซึ่งมีรายงานว่าการกินได้ที่เพิ่มขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากสัตว์ได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนในระดับสูง โดยจะเป็นผลทำให้มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนในอัตราที่สูงซึ่งจะทำให้มีการย่อยสลายอาหารได้ในอัตราที่เร็วทำให้การไหลผ่านสูงการกินได้จึงสูงตามไปด้วย (ARC, 1984) และนอกจากนี้ในอาหารหยาบหมักมีส่วนประกอบของกากเบียร์ ซึ่งได้ผ่านความร้อนจากกระบวนการสกัดเอาแป้งและน้ำตาลออก ทำให้เกิดปฏิกริยาระหว่างหมู่อัลดีไฮด์ (aldehyde group) ของน้ำตาลและกรดอะมิโนอิสระได้เป็นอะมิโน-ซูการ์คอมเพล็ก (amino sugar complex) ซึ่งจะมีการเลื่อนลำดับเบส (shift's base) ระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลได้เป็น 1-deoxy, 2-ketosyl amadori compound ซึ่งไม่สามารถผันกลับได้และทนต่อการย่อยสลายของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (ทรงศักดิ์, 2541) เป็นผลทำให้มีการย่อยและการดูดซึมกรดอะมิโนในส่วนของลำไส้เล็ก ทำให้ได้กรดอะมิโนเพิ่มขึ้นซึ่งจะเป็นการกระตุ้นการกินได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดสมดุลของกรดอะมิโนและจะมีผลต่อกระบวนการเมทาโบลิซึมในร่างกาย (Nocek and Tamminga, 1991) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ฉลอง (2542) ซึ่งได้ใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานและเสริมเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายภายในกระเพาะรูเมนสูงในอาหารโคนมที่ระดับ 0, 1.84 และ 3.68 กิโลกรัมต่อวัน พบว่า มีโคนมที่ได้รับกากเมล็ดฝ้ายมีการกินได้เพิ่มขึ้นเป็น 6.8, 7.4 และ 7.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งคล้ายกับการทดลองของ กฤตพล และ คณะ (2542) ซึ่งพบว่า เมื่อเสริมเมล็ดฝ้ายในอาหารโคนมในอัตรา 0, 2 และ 4 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน พบว่า มีการกินได้เพิ่มขึ้นเป็น 6.8, 7.4 และ 7.5 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ และนอกจากนี้ยังพบว่า กากน้ำตาลและกากเบียร์เองนั้นมีความน่ากินสูง (เฉลิมชัย, 2527) สอดคล้องกันรายงานของ สุรชัย และคณะ (2542) ซึ่งได้ศึกษาการใช้กากเบียร์ใช้เป็นอาหารโคนม โดยใช้กากเบียร์ที่ระดับต่างกัน คือ 0, 10, 20และ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าโคนมมีการกินได้เพิ่ม

ขึ้นตามปริมาณของกากเบียร์ที่ใช้ (2.90, 2.91, 3.00 และ 3.09 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ตามลำดับ) และนอกจากนี้ในส่วนการกินได้อาหารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก พบว่า โคนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักสามารถกินอาหารหยาบและกินได้อาหารรวมมากกว่าในกลุ่มที่โคนมได้รับหญ้าสด ซึ่งแสดงว่าอาหารหยาบหมักนั้นมีความน่ากินสูง (เมธา, 2533)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงการกินได้โภชนะต่างๆ พบว่า ในกลุ่มที่โคนมได้รับอาหารหยาบหมักมีการกินได้โภชนะ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในปริมาณที่สูงกว่าโคนมกลุ่มที่ได้รับหญ้าสด แต่จะพบว่ามีการกินได้โภชนะเยื่อใย เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง และเยื่อใยที่ไม่ตัวทำละลายที่เป็นกรด ในปริมาณต่ำกว่ากลุ่มโคนมที่ได้รับหญ้าสด ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณโภชนะที่มีอยู่ในอาหารหยาบและการกินได้ที่มากกว่า

ในการศึกษาการกินได้และการย่อยได้ของอาหารรวมของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักและหญ้าสด พบว่า การกินได้ของโคนมไม่แตกต่างกันทั้งนี้เป็นเพราะในการทดลองนั้นได้จ่ายอาหารให้เพียง 90 เปอร์เซ็นต์ของการกินได้ในช่วงปรับตัว และเมื่อพิจารณาถึงการย่อยได้ พบว่า โคนมในกลุ่มที่ได้รับอาหารหมักมีการย่อยได้โภชนะโปรตีนและไขมันในปริมาณที่สูงกว่าหญ้าสด แต่การย่อยได้เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรดนั้นมีแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับหญ้าสด ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในอาหารหยาบหมักมีปริมาณไขมันในปริมาณที่สูงและในสูตรอาหารมีส่วนของกากเบียร์ซึ่งมีคุณสมบัติในการไหลผ่านกระเพาะรูเมนในอัตราที่สูง (McDonald et al., 1995) และกากเบียร์นี้จะมีส่วนประกอบประเภทเยื่อใยอยู่ในปริมาณที่สูง และในอาหารหยาบหมักยังมีส่วนของกากน้ำตาลและกากมันสำปะหลังซึ่งมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตในปริมาณที่สูง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการหมักย่อยได้อย่างรวดเร็วเป็นผลทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะ รูเมนลดลง ซึ่งจะจำกัดการทำงานของแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส (Milne et al., 1981) นอกจากนี้อาหารหยาบหมักมีส่วนประกอบของยูเรียในปริมาณสูงกว่าในหญ้าสด ซึ่งยูเรียจะมีคุณสมบัติที่สามารถแตกตัวในกระเพาะรูเมนได้ง่าย จึงทำให้โคนมสามารถการย่อยได้ในระดับที่สูง (ทรงศักดิ์, 2541)

อย่างไรก็ตามถึงแม้โคนมทั้งสองกลุ่มจะได้รับอาหารแตกต่างกันแต่ในการให้ผลผลิตน้ำนมและส่วนประกอบของน้ำนมของโคนมทั้ง 2 กลุ่มนั้นไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ในส่วนของน้ำหนักตัวก็ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าข้อจำกัดในด้านลักษณะของสายพันธุ์และความเครียดที่เกิดจากการจัดการเลี้ยงดูในสภาพขังคอกในระหว่างการทดลอง

เมื่อพิจารณาถึงโปรตีน พบว่า ในกลุ่มของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักนั้นได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนในปริมาณที่สูงกว่ากลุ่มที่โคนมได้รับหญ้าสด ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในกลุ่มที่โคนมได้รับอาหารหยาบหมักมีการกินได้ในปริมาณที่สูง และนอกจากนี้ยังพบว่า ในอาหารหยาบหมักมีส่วนของยูเรียซึ่งสามารถแตกตัวให้แอมโมเนียได้อย่างรวดเร็ว (McDonald et al., 1995) แต่อย่างไรก็ตามโคนมทั้ง 2 กลุ่มนั้นได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนได้ ในปริมาณที่เกินกว่าความต้องการ

ในส่วนของโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน พบว่า โคนมในกลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบหมักได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนปริมาณที่สูงกว่าโคนมในกลุ่มที่ได้รับหญ้าสด ซึ่งส่งผลในการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้ในปริมาณที่สูงตามไปด้วย (ARC, 1984) แต่ในส่วนของความต้องการโปรตีนในการให้ผลผลิตน้ำนม พบว่า ในกลุ่มที่โคนมได้รับอาหารหยาบหมักมีความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนในปริมาณที่สูงกว่าโคนมที่ได้รับหญ้าสด แต่อย่างไรก็ตามพบว่า โคนมทั้ง 2 กลุ่มได้รับโปรตีนจากอาหารในปริมาณที่เกินความต้องการ และเมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนต่อพลังงานใช้ประโยชน์ พบว่า ในกลุ่มที่โคนมได้รับอาหารหยาบหมักมีสัดส่วนสูงกว่าในกลุ่มที่โคนมได้รับหญ้าสดเป็นอาหารหยาบ คือ 10.2 และ 8.6 ตามลำดับ ซึ่งตามที่ ARC (1984) ได้รายงานว่าสัดส่วนของโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนต่อพลังงานใช้ประโยชน์ที่การกินได้ เพื่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนควรมีค่าอย่างน้อยเท่ากับ 8.38 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของอาหารที่โคได้รับทั้งสองกลุ่มมีค่าเป็นไปตามที่ ARC (1984) ได้กำหนดไว้ แต่อย่างไรก็ตาม Leng (1991) ได้อธิบายถึงผลของสัดส่วนโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนต่อพลังงานใช้ประโยชน์ที่กินได้ว่า ถ้าสัดส่วนมีค่าต่ำจะมีผลต่อการผลิตจุลินทรีย์โปรตีนได้ต่ำและทำให้มีการผลิตกรด ไขมันระเหยได้ในปริมาณที่สูง ทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อระบบนิเวศวิทยาของภายในกระเพาะรูเมนได้ และมีผลต่อการให้ผลผลิต ดังนั้นจึงควรมีค่าสัดส่วนให้อยู่ในสัดส่วนที่สูง

การจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ ดังตารางที่ 7.7 พบว่า ในกลุ่มที่โคนมได้รับอาหารหยาบหมัก มีการกินได้ของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในปริมาณที่สูงกว่ากลุ่มโคนมที่ได้รับหญ้าสด ทั้งนี้เนื่องมาจากการกินได้อาหารหยาบหมักของโคนมมีปริมาณที่สูง (ดังตารางที่ 6.3) แต่ในส่วนของพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ พลังงานสุทธิเพื่อการให้ผลผลิตน้ำนม และพลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว ไม่มีความแตกต่างกัน จึงเป็นผลทำให้พลังงานใช้ประโยชน์ (พลังงานกินได้ พลังงานดำรงชีพ) ในโคนมกลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบหมักมีปริมาณที่สูงตามไปด้วย และมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานเพื่อการให้ผลผลิตมีแนวโน้มต่ำกว่าโคนมกลุ่มที่ได้รับหญ้าสด

7.7 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการใช้อาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรเลี้ยงโคนมเปรียบเทียบกับหญ้าสด พบว่า อาหารหยาบหมักมีความน่ากินสูงกว่าหญ้าสด ซึ่งจะทำให้โคนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักมีการกินได้สูงกว่าโคนมที่ได้รับหญ้าสด ซึ่งอาจเป็นเพราะว่ามีสารเอทานอลและมีกลิ่นของสารจำพวกเอสเทอร์อยู่ด้วย ทำให้โคนมได้รับโภชนะต่างๆ สูงตามไปด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าการย่อยได้โปรตีนและไขมันสูงกว่าโคนมที่ได้รับหญ้าสด แต่โคนมที่ได้รับหญ้าสดมีแนวโน้มการย่อยได้ของเยื่อใยที่ละลายได้ในกรดสูงกว่า และยังพบว่าอาหารหยาบหมักมีโปรตีนที่ย่อยสลายและไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนในระดับสูงกว่าหญ้าสด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าหญ้าสดที่นำมาเปรียบเทียบมีคุณภาพค่อนข้างต่ำ หากใช้หญ้าสดที่มีคุณภาพสูง มีการดูแลใส่ปุ๋ยอย่างถูกต้องและตัดที่อายุพอเหมาะ ยิ่งถ้ามีพืชตระกูลถั่วปลูกร่วมด้วยจะมีโปรตีนสูงและอาจมีการย่อยสลายได้ของโปรตีนสูงตามไปด้วย ในส่วนของการให้ผลผลิตน้ำนม การเพิ่มน้ำหนักตัว และส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำนม ไม่แตกต่างกันกับโคนมที่ได้รับหญ้าสด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าอาหารหยาบหมักที่ผลิตจากผลพลอยได้ทางการเกษตรสามารถใช้เลี้ยงโคนมได้เป็นอย่างดี และสามารถที่จะใช้แก้ปัญหาการขาดแคลนหญ้าสดในช่วงฤดูแล้งได้

บทที่ 8

การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

8.1 คำนำ

การเลี้ยงโคนมในประเทศไทยมีปริมาณการเลี้ยงเพิ่มจำนวนมาก ส่งผลทำให้ปริมาณการผลิตพืชอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการสำหรับโคนม โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งทำให้เกิดการขาดแคลน ปัจจุบันจึงมีผู้สนใจที่จะนำเอาผลพลอยได้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีอยู่หลายชนิดมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถบรรเทาปัญหาดังกล่าวได้ และผลพลอยได้ทางการเกษตรที่น่าสนใจได้แก่ ชานอ้อย เนื่องจากระยะเวลาการหีบอ้อยของโรงงานน้ำตาลจะตรงกับช่วงฤดูแล้งพอดีและมีปริมาณมาก แต่พบว่าชานอ้อยมีคุณค่าทางโภชนะที่ค่อนข้างต่ำ การที่เราจะนำชานอ้อยมาใช้ จึงควรที่จะมีการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อย ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี เป็นต้น ซึ่งมีผู้ทำวิจัยไปบ้างแล้ว พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพผลพลอยได้ทางการเกษตรแล้ว สามารถนำมาใช้ทดแทนการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ได้ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยโดยวิธีการหมักยังไม่มีการทดลองวิจัย หากได้มีการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยโดยวิธีการหมักแล้ว น่าจะมีผลที่ดี อีกทั้งยังช่วยในการถนอมอาหารทำให้สามารถเก็บไว้ใช้ได้ระยะเวลานาน

8.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษากรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตร และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของผลพลอยได้ทางการเกษตรหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการหมัก

8.3 อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักเพื่อให้ได้อาหารผสมสำเร็จรูปที่มีคุณภาพดี ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ต่อไปนี้

8.3.1 ทำการคัดเลือกผลพลอยได้ทางการเกษตรจากบทที่ 4 เพื่อนำมาประกอบสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปหมักเพื่อให้ได้คุณค่าทางโภชนะที่เหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน โดยวางแผนการทดลองแบบ 5*3 Factorial design ซึ่งมีการจัด Treatment ดังนี้

มีปัจจัย A ระดับยูเรีย 5 ระดับได้แก่ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2.0% ใช้จำนวน 4 ซ้ำต่อ 1 Treatment

มีปัจจัย B อายุการหมักศึกษา 3 ช่วงระยะเวลาการหมักคือ 14 วัน 21วัน และ 28วัน

จำนวนอาหารหมักทั้งหมด 60 ถุงๆ ละประมาณ 10 ก.ก. มีน้ำหนักรวม 600 กิโลกรัม

ทำการผสมอาหาร ตามสูตรดังตารางที่ 8.1 โดยการบรรจุอาหารแต่ละสูตรที่ผสมแล้วใส่ถุงพลาสติกสีดำขนาด 25x36 นิ้ว และซ้อนด้วยถุงโพลีอีกหนึ่งชั้น ซึ่งจะบรรจุถุงละประมาณ 10 กิโลกรัม บีบไล่อากาศออกให้หมด อัดให้แน่น แล้วปิดถุงให้สนิทนำไปเก็บไว้ในที่ร่ม

ตารางที่ 8.1 แสดงสูตรอาหารที่ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการหมัก

กลุ่มการทดลอง	อัตราส่วน (กิโลกรัมสด)					ระยะเวลาการหมัก (วัน)
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	
ชานอ้อย	28.0	28.0	30.0	31.0	33.0	14, 21, 28
มันเส้น	10.0	14.5	21.0	27.0	33.0	
กากเบียร์	40.0	38.0	32.0	26.0	19.0	
กากรำสกัด	9.0	9.0	7.0	7.0	7.0	
กากถั่วเหลือง	8.0	5.0	4.0	2.5	1.0	
กากน้ำตาล	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
ยูเรีย	-	0.5	1.0	1.5	2.0	
รวม	100	100	100	100	100	

8.3.2 สุ่มตัวอย่างอาหารผสมสำเร็จรูปหมักที่ได้ตามระยะเวลา ดังนี้คือ 14 วัน 21วัน และ 28 วัน ตามลำดับ เพื่อนำมาวิเคราะห์หา องค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี Proximate analysis โปรตีนรวมโดยใช้วิธี Kjeldahl, ความชื้น, เถ้า, ไขมัน (AOAC, 1990), และ เยื่อใย (ADF, NDF) (Goering and Van Soest, 1970) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid: acetate, butyrate และ lactate)

8.3.3 การวิเคราะห์หาความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยการนำตัวอย่างที่ได้จากกลุ่มทดลองทั้ง 5 สูตร และตามระยะเวลาที่ศึกษา คือ 14 วัน 21วัน และ 28วัน ตัวอย่างละ 10 กรัม เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มให้เดือด แล้วทิ้งไว้ให้เย็น และทำการวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter

8.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid: acetate, butyrate และ lactate) โดยใช้วิธี High performance liquid chromatography (HPLC) (Canale et al, 1984)

1) การเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างที่ได้จากกลุ่มทดลองทั้ง 5 สูตร และตามระยะเวลาที่ศึกษา คือ 14 วัน, 21วัน และ 28วัน ตัวอย่างละ 60 – 120 กรัม สกัดด้วย 0.05M H_2SO_4 ปริมาณ 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าเป็นเวลา 4 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แล้วนำมากรองเอาส่วนของเหลวใสไปใช้วิเคราะห์

2) การเตรียมสารละลายมาตราฐานของ acetate, butyrate และ lactate ให้ได้ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.6 mol โดยใช้สารละลายมาตราฐานนี้ในการเตรียม calibration curve และเปอร์เซ็นต์ recovery ของกรดไขมันระเหยง่าย

3) วิธีการตรวจวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่าย โดยเครื่อง HPLC รุ่น8100

นำตัวอย่างที่สกัดได้มากรองผ่าน Filter membrane ขนาด 0.4 μm แล้วฉีดเข้าเครื่อง HPLC โดยที่สภาวะของเครื่อง HPLC ตั้งไว้ดังนี้

Column: Aminex HPX-87H, Guard column, Detector: UV ตั้งที่ 210 nm., Flow rate : 0.6 ml/min, ปริมาณที่ฉีด 10 μl, column temperature : 41°C, Mobile phase : สารละลาย 0.0025M H_2SO_4

4) การศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ (Ørskov, et al., 1980)

วิธีการศึกษาเหมือนกับข้อที่ 4.1.4 (ในบทที่ 4) โคเจาะกระเพาะเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ ฟรีเซียน (Holstein Friesian) สายเลือดประมาณ 87.5 เปอร์เซ็นต์ อายุเฉลี่ยประมาณ 80±26 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ย 468±49 กิโลกรัม เลี้ยงแบบผูกยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา ให้อาหารที่มีฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ 12 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และอาหารข้นสำเร็จรูป 6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

8.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ และการย่อยสลายในกระเพาะหมักของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักแต่ละสูตร วิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี Analysis of variance โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (Statistical analysis system) (1985)

8.5 ผลการทดลอง

8.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามสูตรอาหาร (สูตร 1, สูตร 2, สูตร 3, สูตร 4 และ สูตร 5 ตามลำดับ) และระยะเวลาการหมัก (14, 21 และ 28 วัน) แสดงไว้ดังตารางที่ 8.2 พบว่า เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาการหมัก ($P>0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ระหว่างสูตรอาหาร โดยเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งสูงขึ้นตามสูตรอาหาร (สูตร 1, สูตร 2, สูตร 3, สูตร 4 และ สูตร 5 ตามลำดับ) และมีอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหาร ($P<0.01$)

เปอร์เซ็นต์โปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาการหมัก ($P>0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง

สูตรอาหาร (P<0.01) แต่ค่าดังกล่าวค่อนข้างแปรปรวน ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมักและสูตรอาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

เปอร์เซ็นต์ไขมันของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาการหมัก (P<0.05) และระหว่างสูตรอาหาร (P<0.01) โดยที่เปอร์เซ็นต์ไขมันลดลงเมื่อมีระยะเวลาการหมักนานขึ้น (14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ) และตามสูตรอาหาร (สูตร 1, สูตร 2, สูตร 3, สูตร 4 และ สูตร 5 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน (P>0.05)

เปอร์เซ็นต์เถ้าของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาการหมัก (P>0.05) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสูตรอาหารและมีอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหาร (P<0.05) แต่มีค่าค่อนข้างแปรปรวน

เปอร์เซ็นต์เยื่อใยของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาการหมัก ระหว่างสูตรอาหาร (P<0.05) และมีอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหาร (P<0.01) โดยเปอร์เซ็นต์เยื่อใยมีค่าลดลงตามสูตรอาหาร และระยะเวลาการหมัก

เปอร์เซ็นต์ NDF ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาการหมัก และอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหาร (P>0.05) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสูตรอาหาร (P<0.01) แต่ค่าดังกล่าวค่อนข้างแปรปรวน

เปอร์เซ็นต์ ADF ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาการหมัก ระหว่างสูตรอาหาร และอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหาร (P>0.05)

ระดับความเป็นกรด – ด่าง (pH) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาการหมัก (P<0.01) สูตรอาหาร (P<0.01) โดยที่ระดับความเป็นกรด – ด่าง มีค่าสูงขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการหมักนานขึ้น (14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ) และตามสูตรอาหาร (สูตร 1, สูตร 2, สูตร 3, สูตร 4 และ สูตร 5 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน (P>0.05)

8.5.2 การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

ผลการย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามสูตรอาหาร (สูตร 1, สูตร 2, สูตร 3, สูตร 4 และ สูตร 5 ตามลำดับ) และระยะเวลาการหมัก (14, 21 และ 28 วัน) แสดงไว้ในตารางที่ 8.3 พบว่า ที่เวลา 0 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก (P <0.01) สูตรอาหาร (P<0.01) และอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหารมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

เวลา 6, 12 และ 48 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ของระยะเวลาการหมัก และอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการหมักและสูตรอาหาร (P>0.05) แต่มีความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติระหว่างสูตรอาหาร (P<0.01) โดยมีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งสูงขึ้นตามสูตรอาหาร

เวลา 24 ชั่วโมง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) ในส่วนของระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหาร (P<0.01) โดยที่มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งลดลง แต่ค่าดังกล่าวมีค่าค่อนข้างแปรปรวน และสูตรอาหาร มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งสูงขึ้นตามสูตรอาหาร อย่างไรก็ตาม ทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน (P>0.05)

เวลา 72 และ 96 ชั่วโมงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในส่วนของสูตรอาหาร และอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหาร แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาการหมัก (P<0.05) โดยที่มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้ง 14 วัน สูงกว่า 21 และ 28 วัน ตามลำดับ

8.5.3 การย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

ผลการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามสูตรอาหาร (สูตร 1, สูตร 2, สูตร 3, สูตร 4 และ สูตร 5 ตามลำดับ) และระยะเวลาการหมัก (14, 21 และ 28 วัน) ดังตารางที่ 8.4 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในส่วนของระยะเวลาการหมัก (P<0.01) สูตรอาหาร(P <0.01) และอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมัก (P<0.01) และสูตรอาหาร ในชั่วโมงที่ 0, 24, 48, 72 และ 96 โดยที่เวลา 0 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายโปรตีนสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหาร และในชั่วโมงที่ 24, 48, 72 และ 96 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายโปรตีนสูงขึ้นตามสูตรอาหารเช่นเดียวกับที่เวลา 0 ชั่วโมง แต่ในระยะเวลาการหมักพบว่าเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายโปรตีนมีค่าลดลงเมื่อมีระยะเวลาการหมักนาน 14, 21 และ 28 ตามลำดับ

เวลา 6 และ 12 ชั่วโมงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างระยะเวลาการหมัก และอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหาร (P>0.05) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสูตรอาหาร (P<0.01) โดยที่เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายโปรตีนสูงขึ้นตามสูตรอาหาร (สูตร 1, สูตร 2, สูตร 3, สูตร 4 และ สูตร 5 ตามลำดับ)

8.5.4 ปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

ปริมาณ VFAs ในอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก แสดงไว้ดังตารางที่ 8.5 พบว่าปริมาณ lactic acid มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหาร (P<0.01) โดยที่ปริมาณ lactic acid สูงที่สุด เมื่อมีระยะเวลาการหมัก 14 วัน และลดปริมาณลงเมื่อมีระยะเวลาการหมัก 21 และ 28 วัน ส่วนสูตรอาหารมีค่าค่อนข้างแปรปรวน อย่างไรก็ตาม ทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน(P>0.05)

ปริมาณ acetic acid มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างระยะเวลาการหมัก และอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหาร ($P<0.01$) โดยปริมาณ acetic acid มีค่าค่อนข้างแปรปรวน แต่สูตรอาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณ butyric acid มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างระยะเวลาการหมัก โดยที่ปริมาณ butyric acid ต่ำที่สุด เมื่อมีระยะเวลาการหมัก 14 วัน และเพิ่มปริมาณขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการหมัก 21 และ 28 วัน

อย่างไรก็ตาม เมื่อนำปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก มาคำนวณคะแนนตัดสินคุณภาพของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักโดยวิธีการของ Flieg อ้างโดย Woolford (1984) ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดความน่ากินของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก พบว่าอาหารผสมสำเร็จรูปหมักทุกสูตรอาหารและระยะเวลาการหมัก มีคะแนนอยู่ในระดับเดียวกันทั้งหมด คือ 82 – 100 ซึ่งมีคะแนนอยู่ในระดับดีมาก (80 - 100)

8.5.5 การคัดเลือกสูตรอาหารที่ดีที่สุดในการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร เพื่อนำไปศึกษาต่อในระดับ large scale ต่อไป

จากการศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักเพื่อนำไปศึกษาต่อในระดับ large scale โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้ องค์ประกอบทางเคมี การย่อยสลายของวัตถุแห้ง และโปรตีนในกระเพาะหมัก และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก ซึ่งพบว่าองค์ประกอบทางเคมีมีค่าค่อนข้างแปรปรวน แต่ทั้งหมดอยู่ในระดับที่ NRC (1988) แนะนำ ส่วนปริมาณของระดับกรดไขมันระเหยได้ มีค่าค่อนข้างแปรปรวน เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าที่ระยะเวลาการหมัก 28 วัน มีคะแนนต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อใช้คะแนนตัดสินคุณภาพของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักโดยวิธีการของ Flieg อ้างโดย Woolford (1984) ซึ่งพบว่าทุกสูตรอาหารมีคะแนนอยู่ในระดับเดียวกัน ดังนั้นจึงคัดเลือกจากการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งและโปรตีนในกระเพาะหมัก ซึ่งพบว่าอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสูตรที่ 5 ที่ระยะเวลาการหมัก 14 วัน มีการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งและโปรตีนในกระเพาะหมักได้ดีที่สุด

8.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

8.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป (ตารางที่ 8.2) พบว่า ระยะเวลาการหมักไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง แต่สูตรอาหารมีผลต่อเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 8.1 จะเห็นได้ว่า ในสูตรอาหารที่ 1 – 5 มีสัดส่วนของมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบของสูตรอาหารสูงขึ้นตามสูตรอาหาร ซึ่งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งสูง ในขณะที่กากเบียร์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งต่ำ มีสัดส่วนลดลงตามลำดับ (สูตร 1 – สูตร 5) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งเพิ่มขึ้นตามสูตรอาหาร ส่วน

เปอร์เซ็นต์โปรตีน พบว่า เปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลงตามสูตรอาหาร โดยที่สูตรอาหารแต่ละสูตรจะมีระดับยูเรียแตกต่างกัน (0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ซึ่งอาจเกิดจากการสลายตัวของยูเรียโดย urease เป็นแอมโมเนียและเกิดการสูญเสีย สอดคล้องกับรายงานของ Catchpooled (1962) ที่พบว่าหญ้าซิกแนล เมื่อนำไปหมัก มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าซิกแนลก่อนหมัก สาเหตุอาจเป็นเพราะมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้โปรตีนสลายตัวทำให้มีการปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาในปริมาณมาก สอดคล้องกับรายงานของ McDonald (1981) ส่วนไขมัน เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่ากากเบียร์เป็นวัตถุดิบที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงที่สุด และสูตรอาหารเรียงตามลำดับสูตรที่ 1 – สูตรที่ 5 จะมีสัดส่วนของกากเบียร์ลดลง จึงเป็นสาเหตุให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในสูตรอาหารเปลี่ยนแปลงตามสูตร ส่วนเปอร์เซ็นต์เถ้าเช่นเดียวกันกับเปอร์เซ็นต์ไขมัน คือมีส่วนประกอบของกากรำสกัดน้ำมันและกากถั่วเหลือง ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณเถ้าสูง จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของวัตถุดิบ เปอร์เซ็นต์เยื่อใย พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ลดลงเมื่อมีระดับของยูเรียเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Hinds et al (WWW, 1999) เมื่อเสริมยูเรีย 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเปอร์เซ็นต์เยื่อใยลดลง (23.2 และ 22.4 เปอร์เซ็นต์) แต่ Reddy and Prasad (1982) และ Chauhan and Kakkar (1981) พบว่ามีเปอร์เซ็นต์เยื่อใยสูงขึ้นกว่ากลุ่มควบคุม (26.73, 27.83 และ 27.8, 33.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนเปอร์เซ็นต์ NDF มีเปอร์เซ็นต์ค่อนข้างแปรปรวน แต่อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ NDF ดังกล่าวอยู่ในระดับที่ NRC (1988) แนะนำ ส่วน ADF ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนระดับความเป็นกรด – ด่าง พบว่าระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหารมีผลต่อระดับความเป็นกรด – ด่าง ทั้งนี้เนื่องมาจากระดับของยูเรียที่มีอยู่ในสูตรอาหารแต่ละสูตร ซึ่งยูเรียมีคุณสมบัติเป็นด่าง จึงมีผลทำให้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักมีระดับความเป็นกรด – ด่าง สูงขึ้นตามระดับยูเรีย (Shirley et al, 1972; Huber et al, 1979) ในส่วนของระยะเวลาการหมัก ระดับความเป็นกรด – ด่าง สูงขึ้นตามระยะเวลา 14, 21 และ 28 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสลายตัวของยูเรียปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาตามระยะเวลาการหมัก ซึ่งแอมโมเนียมีคุณสมบัติเป็นด่างเช่นเดียวกับยูเรีย

8.6.2 การย่อยสลายวัตถุแห้งและโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักในกระเพาะหมัก

จากการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งในกระเพาะหมัก แสดงไว้ในตารางที่ 8.3 จะเห็นได้ว่าการย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารเพิ่มขึ้นเรียงตามลำดับ (สูตรที่ 1 - 5) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 8.1 พบว่ามีสัดส่วนของมันสำปะหลังสูงขึ้น ตามสูตรอาหาร (สูตรที่ 1 - 5) และจากตารางที่ 4.2 (ในบทที่ 4) มันสำปะหลังมีการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งสูงมาก ดังนั้นในสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของมันสำปะหลังสูงจะมีการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า ซึ่งพบว่าในอาหารสูตรที่ 5 ที่ระยะเวลาการหมัก 14 วัน มีค่า effective degradability of DM สูงที่สุด และจากตารางที่ 8.4 การย่อยสลายได้ของโปรตีน พบว่า ในอาหารสูตรที่ 5 มีการย่อยสลายโปรตีนได้ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากในอาหารสูตรที่ 5 มี

ระดับของยูเรียเป็นส่วนประกอบในอัตราสูง (2 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งยูเรียจะสามารถสลายตัวได้ดีในกระเพาะหมัก

8.6.3 ปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

ปริมาณ lactate ในอาหารสูตรที่ 1 (ไม่มียูเรีย) มีปริมาณสูงกว่าในสูตรอื่นๆ ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดลองของ Song and Kennelly (1989), Lopez et al (1970) และ Huber et al (1979) ซึ่งพบว่าเมื่อมีระดับยูเรียหรือ NPN เพิ่มขึ้น จะมีปริมาณ lactate เพิ่มสูงขึ้นกว่ากลุ่มควบคุม (ไม่มียูเรีย) นอกจากนี้ระดับความชื้นในอาหารก็มีผลต่อกระบวนการหมักของอาหาร Lopez et al (1970) ทำการทดลองหมักข้าวโพดที่มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งประมาณ 25.1, 29.7 และ 52.1 เปอร์เซ็นต์ พบว่าในระยะเวลาการหมัก 42 วัน ข้าวโพดหมักที่มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง 25.1 เปอร์เซ็นต์ มี lactate สูงที่สุด (7.72, 4.21 และ 2.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เช่นเดียวกับปริมาณของ acetate ในส่วนของ butyrate พบในปริมาณต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะเวลาการหมักไม่นาน และมีการอัดแน่นเพื่อไล่อากาศในอาหารที่ดี อย่างไรก็ตาม ปริมาณ butyrate ที่พบอาจเกิดจากการฉีกขาดของภาชนะห่อหุ้ม ซึ่งมีผลทำให้อากาศเข้าไปในอาหาร ซึ่งทำให้แบคทีเรียที่ผลิต butyrate ทำงาน

8.7 สรุป

จากการศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปมาจากการคำนวณสูตรอาหาร และสัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละชนิด ซึ่งไม่เท่ากันในแต่ละสูตร ในส่วนของระดับความเป็นกรด – ด่าง ก็แปรผันตามระดับยูเรียที่สูงขึ้น ซึ่งยูเรียมีคุณสมบัติเป็นด่าง ทำให้ระดับความเป็นกรด – ด่าง สูงขึ้น ส่วนการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้ง ในสูตรที่มีส่วนประกอบของมันสำปะหลังสูง จะสามารถย่อยสลายได้ดี และการย่อยสลายได้ของโปรตีน ในสูตรที่มีส่วนประกอบของยูเรียสูง จะสามารถย่อยสลายได้ดี และในส่วนของกรดไขมันระเหยได้ มีปริมาณค่อนข้างแปรปรวน แต่เมื่อพิจารณาจากคะแนนตัดสินคุณภาพอาหารหมัก พบว่าทุกสูตรอาหารและระยะเวลาการหมัก มีคะแนนอยู่ในระดับเดียวกัน ดังนั้นวิธีที่เหมาะสมในการเลือกสูตรอาหารคือการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีน ซึ่งพบว่าอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสูตรที่ 5 ที่ระยะเวลาการหมัก 14 วัน มีการย่อยสลายได้ดีที่สุด

ตารางที่ 5.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง	ระยะเวลา 14 วัน					ระยะเวลา 21 วัน					ระยะเวลา 28 วัน					SEM	%CV	Pr > F		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5			อายุการหมัก	สูตร	อายุการหมัก*สูตร
วัตถุแห้ง	46.2	47.8	47.9	51.7	55.2	44.3	47.7	49.0	54.1	54.0	45.6	46.5	49.3	49.4	55.0	0.87	2.50	0.1818	0.0001	0.0003
โปรตีน	16.4	15.5	15.2	14.9	15.5	15.7	14.4	14.5	13.6	15.0	16.9	14.7	14.1	15.8	13.9	0.81	7.61	0.0657	0.0033	0.2098
ไขมัน	3.9	4.7	3.3	3.9	3.5	4.7	4.4	3.8	3.5	3.1	3.9	3.9	2.8	3.3	3.2	0.41	15.4	0.0189	0.0001	0.3002
เถ้า	6.1	6.2	6.2	5.6	5.9	6.3	6.6	5.8	5.1	6.1	6.0	6.5	5.5	5.8	5.3	0.26	6.21	0.3070	0.0001	0.0051
เยื่อใย	19.2	17.0	15.3	16.7	15.2	17.8	14.1	14.8	12.5	13.9	15.5	14.3	14.1	15.6	13.7	1.02	9.37	0.0001	0.0001	0.0303
NDF	32.2	34.5	36.3	35.9	33.1	37.3	34.1	36.7	35.9	33.4	37.2	36.0	33.7	37.4	32.9	1.77	7.09	0.9329	0.0061	0.6412
ADF	18.6	17.0	18.1	18.0	18.2	17.7	17.7	18.5	17.3	17.1	18.1	17.8	17.0	18.2	17.1	1.21	9.60	0.8032	0.8641	0.8385
pH	3.95	3.99	4.01	4.19	4.36	4.05	4.07	4.12	4.25	4.38	4.04	4.11	4.25	4.33	4.43	0.06	2.11	0.0001	0.0001	0.6938

ตารางที่ 5.3 แสดงการย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักในกระเพาะหมัก (เปอร์เซ็นต์)

ชั่วโมง	ระยะเวลา 14 วัน					ระยะเวลา 21 วัน					ระยะเวลา 28 วัน					SEM	%CV	Pr >F		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5			อายุการหมัก	สูตร	อายุการหมัก*สูตร
0	30.6	38.9	47.9	47.6	50.9	35.1	41.2	44.9	30.1	46.4	42.7	46.0	52.2	41.2	57.3	1.56	5.08	0.0001	0.0001	0.0001
6	42.5	54.7	53.7	59.6	60.2	42.3	51.8	55.1	54.1	56.7	47.6	50.4	56.6	51.9	58.9	3.00	8.01	0.4146	0.0001	0.3304
12	45.8	56.5	55.1	61.6	61.3	45.3	52.9	57.4	61.2	59.0	49.2	51.7	57.1	54.5	60.6	3.14	8.04	0.6762	0.0001	0.4394
24	58.5	60.3	59.7	65.7	67.1	52.3	53.4	62.2	62.9	64.3	55.1	57.3	60.0	55.8	62.8	2.65	6.26	0.0152	0.0001	0.1454
48	63.9	66.4	65.4	69.9	71.6	61.4	65.2	66.7	63.5	65.8	62.4	65.9	67.3	62.1	66.9	2.42	5.22	0.0544	0.0275	0.3782
72	68.3	72.7	69.8	73.4	73.6	66.1	69.1	67.9	66.2	68.2	68.5	69.6	71.9	64.1	68.3	2.82	5.77	0.0249	0.4235	0.5004
96	70.5	77.2	71.8	74.8	77.1	72.4	71.7	71.3	72.4	71.6	68.6	70.3	73.2	66.3	71.7	2.56	5.03	0.0108	0.3855	0.2570
dg''	45.3	52.2	54.6	59.4	60.4	44.5	50.8	55.6	54.7	57.3	49.5	52.3	57.2	51.6	60.3					

ตารางที่ 5.4 แสดงการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักในกระเพาะหมัก (เปอร์เซ็นต์)

ชั่วโมง	ระยะเวลา 14 วัน					ระยะเวลา 21 วัน					ระยะเวลา 28 วัน					SEM	%CV	Pr > F		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5			อายุการหมัก	สูตร	อายุการหมัก*สูตร
0	26.5	38.0	52.3	57.9	71.7	31.7	41.2	52.2	44.9	65.8	36.8	42.8	53.3	48.2	70.5	1.23	3.57	0.0001	0.0001	0.0001
6	40.8	54.4	59.6	68.5	77.9	39.6	51.8	61.3	64.3	74.2	46.3	49.8	61.5	60.5	73.9	2.86	6.85	0.3324	0.0001	0.1773
12	46.6	58.2	59.9	71.4	78.9	49.6	54.8	62.2	69.9	75.8	47.5	52.6	63.7	63.5	74.9	1.40	6.35	0.1935	0.0001	0.2776
24	63.4	62.9	66.3	76.2	81.9	51.9	55.3	68.2	73.3	79.0	54.2	59.8	65.4	68.0	76.9	2.19	4.64	0.0001	0.0001	0.0190
48	71.7	72.5	72.9	82.3	84.8	67.8	69.4	74.4	74.0	81.4	67.7	75.8	75.9	73.3	80.1	1.81	3.42	0.0031	0.0001	0.0034
72	81.7	83.7	77.4	86.1	86.5	73.9	76.9	74.8	76.1	83.1	80.9	83.1	83.4	74.8	81.9	1.90	3.35	0.0001	0.0007	0.0005
96	84.2	89.9	79.7	87.2	89.6	83.9	79.6	80.7	81.4	86.2	83.1	83.7	83.8	80.2	85.6	1.62	2.74	0.0003	0.0002	0.0012
dg^{n}	45.6	54.1	60.2	69.3	77.9	44.4	51.9	61.6	65.1	74.2	47.5	52.8	61.9	60.9	74.3					

ตารางที่ 5.5 แสดงปริมาณ VFAs ในอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก (กรัม/กิโลกรัมแห้ง)

	ระยะเวลา 14 วัน					ระยะเวลา 21 วัน					ระยะเวลา 28 วัน					SEM	%CV	Pr > F		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5			อายุการหมัก	สูตร	อายุการหมัก*สูตร
Lactate	49.9	39.2	32.5	30.0	44.6	42.8	37.7	27.1	27.4	31.2	32.6	28.7	33.7	29.2	27.5	4.88	20.1	0.0006	0.0005	0.0557
Acetate	10.1	7.3	5.8	8.8	8.2	8.8	8.5	6.6	8.3	5.5	7.5	7.8	12.3	13.0	9.4	1.44	23.8	*0.0009*	*0.0510*	*0.0009*
Butyrate	4.0	nil	nil	nil	nil	nil	nil	1.7	nil	0.9	3.0	2.9	nil	nil	1.6	0.38	25.3	-	-	-
Flieg point[3]	95.5	99.5	100	97.0	98.8	99.5	99.5	88.8	97.5	88.0	82.0	89.5	95.5	91.4	92.0	3.90	5.8	0.0001	0.4020	0.0028

หมายเหตุ [1] Effective degradability of DM

[2] Effective degradability of CP

[3] คะแนน : มากกว่า 80 ดีมาก, 61-80 ดี, 41-60 ปานกลาง, 21-40 พอใช้, น้อยกว่า 20 เลว (ภาคผนวก ก.)

บทที่ 9

การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

9.1 คำนำ

ในช่วงฤดูแล้งเกษตรกรที่เลี้ยงโคนมจะประสบปัญหาการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ โดยเฉพาะพืชอาหารสัตว์คุณภาพดี การทำอาหารหมักเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถเก็บถนอมอาหารสัตว์ที่มีอยู่เพื่อเก็บสำรองสำหรับใช้ในช่วงที่ขาดแคลน แต่การเก็บสำรองอาหารหมักไว้ใช้ในระยะเวลาที่ยาวนานอาจส่งผลให้คุณภาพของอาหารหมักเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารหมักที่ระยะเวลาต่างๆ เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารหมักจากชานอ้อย

9.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของระยะเวลาเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการหมัก

9.3 อุปกรณ์และวิธีการ

9.3.1 การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี Treatment ดังนี้

อาหารผสมสำเร็จรูปหมักอายุ 1 เดือน 2 เดือน 3 เดือน 4 เดือน 5 เดือน และ 6 เดือน ซึ่งจะได้ Treatment ทั้งหมด 6 Treatment

ใช้จำนวน 4 ซ้ำต่อ 1 Treatment

จำนวนอาหารผสมสำเร็จรูปหมักทั้งหมด 24 ถุงๆ ละประมาณ 10 กิโลกรัมมีน้ำหนักรวม 240 กิโลกรัม

คัดเลือกอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสูตรที่ดีที่สุด จากบทที่ 8 โดยมุ่งเน้นถึงความเหมาะสมสำหรับนำมาเป็นอาหารโคนม และศักยภาพในการผลิตเชิงพาณิชย์

ทำการหมักอาหาร (สูตรอาหารที่ได้จากการคัดเลือก) โดยการแบ่งอาหารแต่ละสูตรใส่ถุงพลาสติกและซ้อนด้วยถุงโพลีอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งจะบรรจุถุงละ 10 กิโลกรัม บีบไล่อากาศออกให้หมดแล้วปิดถุงให้สนิทนำไปเก็บไว้ในที่ร่ม

9.3.2 สุ่มตัวอย่างอาหารผสมสำเร็จรูปหมักที่ได้จากตามระยะเวลาดังนี้ 1 เดือน 2 เดือน 3 เดือน 4 เดือน 5 เดือน และ 6 เดือนตามลำดับเพื่อนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนะโดยใช้วิธี Proximate analysis โปรตีนรวมโดยใช้วิธี Kjeldahl, ความชื้น, เถ้า, ไขมัน (AOAC, 1990), และ เยื่อใย (ADF, NDF) (Goering and Van Soest, 1970) ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid: acetate, butyrate และ lactate)

9.3.3 การวิเคราะห์หาความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยการนำตัวอย่างที่ได้จากกลุ่มทดลองทั้ง 5 สูตร และตามระยะเวลาที่ศึกษา คือ 1 เดือน 2 เดือน 3 เดือน 4 เดือน 5 เดือน และ 6 เดือน ตัวอย่างละ 10 กรัม เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มให้เดือด แล้วทิ้งไว้ให้เย็น และทำการวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter

9.3.4. การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid: acetate, butyrate และ lactate) โดยการใช้วิธี High performance liquid chromatography (HPLC) (Canale et al, 1984)

1) การเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างจากข้อ 9.3.1 ตามระยะเวลาที่ศึกษา คือ 1 เดือน 2 เดือน 3 เดือน 4 เดือน 5 เดือน และ 6 เดือน ตัวอย่างละ 60 – 120 กรัม สกัดด้วย 0.05M H_2SO_4 ปริมาณ 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าเป็นเวลา 4 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แล้วนำมา กรองเอาส่วนของเหลวใส่ไปใช้ในการวิเคราะห์

2) เตรียมสารละลายมาตราฐานผสมของ acetate, butyrate และ lactate acid ให้ได้ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.6 mol โดยใช้สารละลายมาตราฐานนี้ในการเตรียม calibration curve และเปอร์เซ็นต์ recovery ของกรดไขมันระเหยง่าย

3) วิธีการตรวจวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่าย โดยเครื่อง HPLC รุ่น8100

นำตัวอย่างที่สกัดได้มากรองผ่าน Filter membrane ขนาด 0.4 μm แล้วฉีดเข้าเครื่อง HPLC โดยที่สภาวะของเครื่อง HPLC ตั้งไว้ดังนี้

Column: Aminex HPX-87H, Guard column, Detector: UV ตั้งที่ 210 nm., Flow rate : 0.6 ml/min, ปริมาณที่ฉีด 10 μl, column temperature : 41°C, Mobile phase : สารละลาย 0.0025M H_2SO_4

9.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยวิธี Analysis of variance โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (Statistical analysis system) (1985)

9.5 ผลการทดลอง

9.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ที่ใช้ในการศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน แสดงไว้ดังตารางที่ 9.1 จากการเก็บตัวอย่างของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กัน มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง เปอร์เซ็นต์โปรตีน เปอร์เซ็นต์ไขมัน เปอร์เซ็นต์เถ้า และเปอร์เซ็นต์เยื่อใย ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ในส่วนของเปอร์เซ็นต์เถ้าพบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ NDF มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่เมื่อดูผลการทดลองที่จากตาราง พบว่า เปอร์เซ็นต์ NDF มีค่าค่อนข้างแปรปรวนในแต่ละอายุการเก็บรักษา และเปอร์เซ็นต์ ADF มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) แต่มีค่าค่อนข้างแปรปรวนในแต่ละอายุการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 9.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)

ระยะเวลา	วัตถุแห้ง	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	NDF	ADF	PH
เดือนที่ 1	52.2	12.7	1.98	7.59	12.2	33.8^{bc}	17.9^{b}	4.45^{b}
เดือนที่ 2	49.9	12.6	2.06	8.57	14.3	38.4^{a}	22.2^{a}	4.67^{b}
เดือนที่ 3	52.4	12.4	1.91	7.76	13.2	30.8^{c}	17.6^{b}	4.45^{b}
เดือนที่ 4	50.8	12.8	1.94	9.05	13.9	34.2^{abc}	21.2^{a}	5.23^{a}
เดือนที่ 5	48.9	12.2	2.19	9.25	13.0	35.7^{ab}	23.0^{a}	5.06^{a}
เดือนที่ 6	49.9	12.5	2.12	9.57	12.6	36.9^{ab}	23.3^{a}	5.04^{a}
SEM	1.91	0.504	0.197	0.829	0.925	1.905	1.102	0.169
Pr > T	0.4100	0.8916	0.7015	0.1409	0.2694	0.0143	0.0001	0.0004
%CV	7.302	5.675	7.702	13.57	9.903	7.702	7.44	4.963

9.5.2 ระดับของความเป็นกรด- ด่าง (pH) ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ระดับของความเป็นกรด – ด่าง ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือนตามตารางที่ 9.1 พบว่าระดับของความเป็นกรด – ด่างของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยที่อาหารผสมสำเร็จรูปหมักที่มีระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน มีระดับของความเป็นกรด – ด่างอยู่ระหว่าง 4.45 – 4.67 ส่วนอาหารผสมสำเร็จรูปหมักที่มีระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน 5 เดือน และ 6 เดือน มีระดับของความเป็นกรด – ด่างอยู่ระหว่าง 5.04 – 5.23

9.5.3 ปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 6 เดือน แสดงไว้ในตารางที่ 9.2 พบว่าปริมาณ lactate มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) แต่ผลดังกล่าวมีค่าค่อนข้างแปรปรวน โดยที่เดือนที่ 2 มีปริมาณ lactate ต่ำที่สุด (16.22 g/KgDM) และเดือนที่ 5 มีปริมาณ lactate สูงที่สุด (37.36 g/KgDM) ส่วนปริมาณ acetate มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ผลดังกล่าวมีค่าค่อนข้างแปรปรวนเช่นเดียวกับปริมาณ lactate โดยที่เดือน

ที่ 2 มีปริมาณ acetate ต่ำที่สุด (10.06 g/KgDM) และปริมาณ butyrate มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยที่เดือนที่ 4 มีปริมาณ butyrate สูงที่สุด (4.90 g/KgDM)

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อนำปริมาณปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก มาคิดคะแนนตัดสินคุณภาพของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักโดยวิธีการของ Flieg อ้างโดย Woolford (1984) ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดความน่ากินของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก พบว่าอาหารผสมสำเร็จรูปหมักในระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน มีคะแนนอยู่ในระดับเดียวกันทั้งหมด คือ 65 – 78 ซึ่งมีคะแนนอยู่ในระดับดี (61 - 80)

ตารางที่ 9.2 แสดงปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา (g/KgDM)

ระยะเวลา	Lactate	Acetate	Butyrate	Flieg point[1/]
เดือนที่ 1	23.23 ^{bc}	11.24 ^{c}	1.97 ^{b}	72.8
เดือนที่ 2	16.22 ^{c}	10.06 ^{c}	2.56 ^{b}	65.5
เดือนที่ 3	24.06 ^{bc}	14.79 ^{abc}	3.16 ^{b}	67.5
เดือนที่ 4	32.20 ^{ab}	17.77 ^{a}	4.90 ^{a}	69.0
เดือนที่ 5	37.36 ^{a}	16.88 ^{ab}	2.41 ^{b}	78.0
เดือนที่ 6	23.11 ^{bc}	12.59 ^{bc}	2.35 ^{b}	72.0
SEM	4.74	2.14	0.82	5.33
Pr > T	0.0047	0.0103	0.0269	0.2718
%CV.	25.7	21.7	40.2	10.6

หมายเหตุ [1/] คะแนน : มากกว่า 80 ดีมาก, 61-80 ดี, 41-60 ปานกลาง, 21-40 พอใช้, น้อยกว่า 20 เลว (ภาคผนวก ก.)

9.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

9.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก พบว่า เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีปริมาณลดลงเล็กน้อย เมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษานาน ตั้งแต่เดือนที่ 1 – 6 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ วีระพล พูนพิพัฒน์ และคณะ (2541), Lopez et al. (1970) และ พรชัย ล้อวิลัย และคณะ (2540) โดยที่การลดลงของปริมาณวัตถุแห้งของอาหาร อาจเกิดจากกระบวนการหมักของแบคทีเรียภายใต้สภาพ aerobic fermentation และ anaerobic fermentation ซึ่งจุลินทรีย์ใช้คาร์โบไฮเดรทเป็นแหล่งพลังงานที่ได้มาจากอาหาร เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ มีผลทำให้ปริมาณวัตถุแห้งลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Frame

(1994) ที่พบว่ากระบวนการหมักที่ดี และเกิดขึ้นเร็วนั้นจะมีการใช้วัตถุแห้งไป 3 – 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหารผสมสำเร็จรูปหมักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ผลที่ได้มีระดับของเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่าที่คำนวณไว้ก่อนทำการทดลอง ทั้งนี้อาจเกิดจากการทดลองนี้มียูเรียเป็นส่วนประกอบอยู่ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ และเอนไซม์ urease จะทำให้ urea แตกตัวเป็นแอมโมเนีย และอาจเกิดการสูญเสียไนโตรเจนจากการระเหยของแอมโมเนียในขณะอบตัวอย่างเพื่อหาเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ซึ่งแอมโมเนียจะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้น แต่จะไม่มีความแตกต่างทางสถิติ หลังจากระยะเวลาการหมักนานกว่า 3 สัปดาห์ขึ้นไป (McDonald et al, 1991) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในบทที่ 9 และได้แสดงไว้ในตารางที่ 9.2 จะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์โปรตีน ที่ระยะเวลาการหมัก 14 วัน ของสูตรที่ 5 ซึ่งมีส่วนประกอบของยูเรีย 2 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลงเมื่อมีระยะเวลาการหมักนานขึ้นเป็น 21 และ 28 วันตามลำดับ (15.5, 15.0 และ 13.9 เปอร์เซ็นต์) ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมัน และเยื่อใย ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าที่ได้เป็นไปตามสูตรอาหารที่คำนวณไว้ก่อนการทดลอง

แต่ NDF มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า NDF มีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น เมื่อมีระยะเวลาการหมักนานขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับรายงานของ ศรัณยา วิทยานุภาพยืนยง และคณะ (2536) พบว่า NDF ของหญ้าซิกแนลเมื่อผ่านการหมักแล้ว จะมีเปอร์เซ็นต์ NDF ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนหมัก อาจเป็นเพราะว่า NDF เป็นส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ ในระหว่างกระบวนการหมัก จุลินทรีย์จะใช้ NDF ส่วนหนึ่งในการเจริญเติบโต จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ NDF ลดลงระหว่างกระบวนการหมัก ส่วนเปอร์เซ็นต์ ADF มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ ADF มีเปอร์เซ็นต์สูงขึ้น เมื่อมีระยะเวลาการหมักนานขึ้น ให้ผลสอดคล้องกับ สายชิม แสงโชติ และคณะ (2536), Ely et al. (1981) และ Chauhan and Kakkar (1981) ซึ่งพบว่า ADF ประกอบด้วย เซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งย่อยได้ยาก และชานอ้อยเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มี ADF ในปริมาณสูง แต่อย่างไรก็ตาม การที่ ADF มีเปอร์เซ็นต์สูงขึ้น ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเกิดจากการที่เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งลดลงภายหลังจากการหมัก จึงมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ ADF ที่วิเคราะห์ได้สูงขึ้น

9.6.2 ระดับของความเป็นกรด–ด่าง (pH) ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ระดับความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในที่เดือนที่ 1 – 3 และเดือนที่ 4 – 6 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวีระพล พูนพิพัฒน์ และคณะ (2541) ได้ศึกษาการเก็บรักษาหญ้าเนเปียร์หมักในถุงพลาสติกเป็นระยะเวลา 7 เดือน พบว่า หญ้าหมักมีระดับ pH เท่ากับ 3.2 – 4.0 ในช่วงเดือนที่ 1 – 4 และ 4.2 – 4.3 ในเดือนที่ 5 – 7 ทั้งนี้อาจเนื่องจากแหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรทที่ละลายในอาหารหมัก ที่ถูกใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์มีปริมาณลดลง ทำให้เกิดการชะลอการผลิตกรดของจุลินทรีย์ อีกทั้งอาจเป็นผลมาจากยูเรียที่มีอยู่ในอาหารหมัก นอกจากนี้อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมอาจมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ Bolsen et al. (WWW,

1999b) ได้ทำการทดลองหมัก alfalfa ที่อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ และ 90 องศาฟาเรนไฮต์ พบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 90 องศาฟาเรนไฮต์ มีระดับ pH ต่ำกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ และจากการทดลองในบทที่ 9 นี้ เริ่มดำเนินการในช่วงเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2543 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2544 ซึ่งในช่วงระยะเวลาการหมักเดือนที่ 4 – 6 จะอยู่ในช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย ซึ่งอุณหภูมิจะมีผลต่อการทำงาน และเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรด

9.6.3 ปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

จากการทดลองพบว่าปริมาณ lactate และ acetate มีปริมาณสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก สอดคล้องกับการทดลองของ Sheperd et al. (1995) ทำการทดลองหมัก alfalfa จนมีอายุ 177 วัน พบว่า ระดับของ lactate สูงขึ้นตามระยะเวลา แต่จากผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 9.2 พบว่าที่ระยะเวลาการการหมัก 6 เดือน มีปริมาณ lactate ลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Sebastian et al. (1996) ทำการหมักข้าวโพด โดยแบ่งเป็นช่วงระยะเวลาเป็น 0 – 42 วัน 42 – 138 วัน และ 138 – 202 วัน พบว่าปริมาณ lactate เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลาการหมัก แต่ในช่วง 138 – 202 วัน lactate มีปริมาณลดลง ทั้งนี้เนื่องจากมียีสต์ในข้าวโพดหมักสูงขึ้น จึงเกิดการสูญเสียกรดอินทรีย์ในข้าวโพดหมัก เพราะสามารถใช้ lactic และ acetate ได้ (Lindgren et al, 1985) ในส่วนของ acetate คล้ายกับผลของ lactate จากการทดลองของ Sheperd et al. (1995) acetate เพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาการหมักที่ 51 วัน ประมาณ 1.8 – 4.7 เปอร์เซ็นต์ และลดลงประมาณ 3.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาการหมัก 177 วัน และปริมาณ Butyrate จากตารางที่ 9.2 พบว่าในเดือนที่ 4 มีปริมาณ Butyrate สูงที่สุด เนื่องจากภาชนะที่บรรจุอาหารหมักเกิดการฉีกขาด ทำให้มีอากาศเข้าไป มีผลทำให้แบคทีเรียที่ผลิต Butyrate ทำการผลิต Butyrate สูงขึ้น

9.7 สรุป

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักตามระยะเวลา 1 – 6 เดือน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่เปอร์เซ็นต์โปรตีนมีเปอร์เซ็นต์ต่ำกว่าที่ได้คำนวณไว้ก่อนการทดลอง ส่วน NDF และ ADF มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวอยู่ในระดับที่เหมาะสมตาม NRC (1988) แนะนำ แต่ระดับความเป็นกรด – ด่าง มีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนปริมาณกรดไขมันระเหยได้มีปริมาณค่อนข้างแปรปรวนในแต่ระยะเวลาการหมัก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการให้คะแนนตัดสินคุณภาพอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ซึ่งมีคะแนนอยู่ในระดับเดียวกันทั้ง 6 เดือน ดังนั้นการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก สามารถเก็บไว้ได้นาน ไม่น้อยกว่า 6 เดือน ทั้งนี้ต้องไม่มีการฉีกขาดของภาชนะที่ใช้ในการบรรจุ

บทที่ 10

การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม (Early lactation)

10.1 คำนำ

ผลพลอยได้ทางการเกษตรที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในการเลี้ยงสัตว์นั้น ต้องมีปริมาณมากพอที่จะสามารถส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเพียงพอ ชานอ้อยก็เป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดนี้ มีคุณค่าทางโภชนะที่ต่ำ อีกทั้งมีเฉพาะในช่วงฤดูกาลหีบอ้อย ดังนั้นการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะให้สูงขึ้น ร่วมกับการถนอมอาหารให้สามารถเก็บไว้ใช้ได้ในระยะเวลาที่นานตลอดช่วงฤดูแล้งจึงมีความสำคัญ จากการศึกษาการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของชานอ้อยโดยการเสริมวัตถุดิบที่มีความเข้มข้นทางโภชนะสูง ทั้งทางด้านพลังงานและโปรตีน และนำมาถนอมอาหารโดยวิธีการหมัก พบว่าสูตรอาหารที่มีระดับยูเรีย 2% และระยะเวลาการหมักที่ 14 วัน สามารถย่อยสลายได้สูงสุด อีกทั้งยังมีราคาที่ต่ำกว่าอาหารสูตรอื่นๆ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งที่จะขยายการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของชานอ้อยดังกล่าวในระดับ Large scale เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแห้ง สำหรับโคนมในระยะต้นของการให้นม

10.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการใช้ชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะแล้ว เป็นอาหารสำหรับโคนม เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแห้ง สำหรับโคนมในระยะต้นของการให้นม

10.3 อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของการนำอาหารผสมสำเร็จรูปหมักใช้เลี้ยงโครีดนม ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซี่ยน (Holstein Friesian)

10.3.1. การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของชานอ้อย

คัดเลือกอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากบทที่ 8 โดยมุ่งเน้นถึงความเหมาะสมสำหรับนำมาเป็นอาหารโคนม และศักยภาพในการผลิตเชิงพาณิชย์ โดยทำการหมักภายในหลุมหมักขนาดใหญ่เพื่อใช้เลี้ยงโครีดนม ทำการหาน้ำหนักวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิด (อบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง) เพื่อคำนวณน้ำหนักของวัตถุดิบชนิดต่างในการหมัก แสดงไว้ในตารางที่ 10.1 โดยจะชั่งวัตถุดิบต่างๆ ตามสัดส่วนที่คำนวณได้ มาผสมร่วมกัน แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันดี จนได้ปริมาณที่ต้องการ หลังจากนั้นทำการอัดให้แน่น และคลุมด้วยพลาสติกอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันอากาศเข้า ใช้

ระยะเวลาการหมักนาน 14 วัน หลังจากครบกำหนดเวลาการหมัก นำไปศึกษาการกินได้และการย่อยได้ต่อไป

ตารางที่ 10.1 แสดงสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ในการเลี้ยงโคนม

วัตถุดิบ	กลุ่มการทดลองที่ 1 น้ำหนักสด (กิโลกรัม)	กลุ่มการทดลองที่ 2 น้ำหนักสด (กิโลกรัม)
หญ้าหมัก	72.7	-
ชานอ้อย	-	33.0
มันสันปะหลัง	-	33.5
กากถั่วเหลือง	-	4.0
กากเบียร์สด	-	22.5
กากน้ำตาล	-	5.0
ยูเรีย	-	2.0
อาหารข้น[1/]	27.3	-
รวม	100	100

หมายเหตุ [1/] ประกอบด้วย มันสำปะหลัง ข้าวโพดบด รำอ่อน รำสกัดน้ำมัน กากมะพร้าว กากถั่วเหลือง กากถั่วแขก สารกันรา เกลือ กากน้ำตาล ยูเรีย และแร่ธาตุ

10.3.2. แผนการทดลองและการจัดการให้อาหาร

ทำการจัดแผนการทดลองแบบ Group comparison โดยจัดโคนมออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 8 ตัว โดยจัดกลุ่มตามปริมาณผลผลิตน้ำนม ระยะการให้น้ำนม วันคลอด และน้ำหนักตัว แล้วทำการจัดกลุ่มการทดลองตามค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยให้มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองกลุ่ม (stratified random balance group) โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตลน์ฟรีเซี่ยนในช่วงระยะเริ่มต้นของการให้นม จำนวน 16 ตัว ให้ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 14.5 $\pm$ 3.6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน วันคลอดเฉลี่ย 73 $\pm$ 28 วัน และน้ำหนักตัวก่อนการทดลองเฉลี่ย 420 $\pm$ 52 กิโลกรัม โดยแต่ละตัวจะถูกเลี้ยงแบบผูกยืนโรงเป็นรายตัว ได้รับอาหารข้น 7.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และหญ้าหมักให้กินเต็มที่ ทำการบันทึกปริมาณน้ำนมติดต่อกัน 3 วัน และเก็บตัวอย่างน้ำนม 1 วัน โดยแบ่งเป็น 2 ครั้ง (เย็นและเช้า) เพื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนมก่อนการทดลอง นำผลที่ได้มาทำการจัดกลุ่มการทดลองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง ดังต่อไปนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 โคนมจะได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป โดยมีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ จำนวน 8 ตัว

กลุ่มการทดลองที่ 2 โคนมจะได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก จำนวน 8 ตัว

10.3.3. วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

เมื่อทำการคัดเลือกโคนมตามกลุ่มแผนการทดลองแล้ว ทำการให้อาหาร และใช้ระยะเวลาการปรับตัวสัตว์ทดลองประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้สัตว์ทดลองคุ้นเคยกับสภาพคอกทดลองและอาหาร ทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยมีการบันทึกปริมาณการกินได้ของโคนมทุกวันโดยการชั่งน้ำหนักอาหารก่อนกิน และน้ำหนักอาหารหลังกินที่เหลืออยู่ในรางอาหารในตอนเช้าของทุกวัน และทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารก่อนกิน และอาหารหลังกินของโคนมทั้ง 2 กลุ่มการทดลองทุกสัปดาห์ๆ ละ 2 วันติดต่อกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ นำตัวอย่างอาหารของแต่ละสัปดาห์ไปอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งแล้วเก็บไว้ เมื่อครบตามระยะเวลาก็นำตัวอย่างที่เก็บไว้แต่ละสัปดาห์มารวมกันและทำการสุ่มตัวอย่างอาหารอีกครั้ง ให้ได้อาหารก่อนกินและอาหารหลังกินของโคนมทั้งสองกลุ่มการทดลองเป็นรายตัว เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างอาหารต่อไป

ส่วนของน้ำนมจะทำการบันทึกผลผลิตน้ำนมที่ได้ทุกวัน ซึ่งโคนมจะได้รับการทำความสะอาดและรีดนมเวลา 05.30 น. และ 15.00 น. ทุกวัน การวิเคราะห์คุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม โดยทำการสุ่มน้ำนมที่ผลิตได้ทุกสัปดาห์ๆ ละ 1 วัน โดยทำการแยกวิเคราะห์นมเย็นและนมเช้าด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม (Milkoscan รุ่น S50) แล้วจึงนำมาคำนวณตามอัตราส่วนปริมาณน้ำนม การชั่งน้ำหนักโคนม จะทำการชั่งน้ำหนักโคนมทั้งก่อนการทดลองและหลังการทดลอง

10.3.4. การศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของอาหารผสมสำเร็จรูป

โดยนำตัวอย่างอาหารผสมสำเร็จรูปที่บดไว้และถุงไนล่อนที่ใช้ในการทดลองไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1- 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ชั่งตัวอย่างอาหารผสมสำเร็จรูปประมาณ 5 – 6 กรัม ใส่ลงในถุงไนล่อนที่ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักไว้แล้ว หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนที่ใส่ตัวอย่างอาหารผสมสำเร็จรูปแล้วมาร้อยติดกับสายพลาสติกยาวประมาณ 90 เซนติเมตร นำไปหย่อนในกระเพาะหมัก โดยให้สายพลาสติกอยู่ในส่วนที่ลึกที่สุดของกระเพาะหมัก และให้แต่ละถุงมีระยะเวลาการแช่อยู่ในกระเพาะหมักต่างกันดังนี้คือ 0, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมงโดยแต่ละตัวอย่างทำ 3 ซ้ำ ใช้โคเจาะกระเพาะ 3 ตัวต่อกลุ่มการทดลอง และให้ถุงที่หย่อนในโคแต่ละตัวเป็น 1 ซ้ำ

โคเจาะกระเพาะเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮสไตส์ ฟรีเซียน (Holstein Friesian) สายเลือดประมาณ 87.5 เปอร์เซ็นต์ อายุเฉลี่ยประมาณ 38 $\pm$ 7 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ย 333 $\pm$ 51 กิโลกรัม เลี้ยงแบบผูกยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา การให้อาหาร กลุ่มที่ 1 โคนมจะได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปโดยมีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ จำนวน 3 ตัว และกลุ่มที่ 2 โคนมจะได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก จำนวน 3 ตัว

เมื่อแช่ถุงไนล่อนในกระเพาะหมักได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะหมัก นำมาล้างเพื่อเอาเศษอาหารที่ติดจากกระเพาะหมักออก จากนั้นนำไปแช่แข็งเพื่อหยุดการทำงาน

ของจุลินทรีย์ เมื่อได้ตัวอย่างครบตามเวลาแล้ว นำถุงไนล่อนมาล้างในเครื่องซักผ้าเป็นเวลา 15 นาที 3 ครั้ง แล้วปั่นให้แห้ง หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนทั้งหมดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และนำไปชั่งเพื่อวิเคราะห์ปริมาณหาวัตถุแห้ง และนำอาหารที่เหลือจากการย่อยสลายในถุงไนล่อนไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน โดยรวมตัวอย่างจากโคตัวที่ 1, 2 และ 3 เข้าด้วยกัน จากนั้นนำค่าสัดส่วนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ ของวัตถุแห้งและไนโตรเจน มาคำนวณหาอัตราการย่อยสลายของอาหารผสมสำเร็จรูปและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

การคำนวณค่าปริมาณการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ในกระเพาะหมัก ที่ทิ้งไว้ในช่วงระยะเวลาต่างๆ กันมาคำนวณอัตราการย่อยสลายโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY EXCEL (Ørskov and McDonald, 1979) ตามสมการดังนี้คือ

$$dg = a + \frac{bc}{(c + k)}$$

เมื่อ dg = Effective protein degradability

k = Fractional outflow rate of digesta per hour

เมื่อคำนวณได้ค่า dg แล้วสามารถนำไปประมาณค่าโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (Rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (Undegradable protein, UDP)

10.3.5. ศึกษาการย่อยได้ของอาหารผสมสำเร็จรูป โดยวิธีการชั่งน้ำหนักทั้งหมด (Total collection method)

การศึกษาการย่อยได้แบบ Total collection method จะใช้โคเจาะกระเพาะเพศเมียจำนวน 8 ตัว โดยแบ่งโคออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 มีน้ำหนักเฉลี่ย 333 $\pm$ 68 กิโลกรัม อายุเฉลี่ย 35 $\pm$ 9 เดือน และ กลุ่มที่ 2 มีน้ำหนักเฉลี่ย 333 $\pm$ 37 กิโลกรัม อายุเฉลี่ย 41 $\pm$ 3 เดือน ตามลำดับ โคทั้งสองกลุ่มจะถูกเลี้ยงในโรงเรือนแบบผูกยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา การเลี้ยงโคนมในการศึกษาครั้งนี้มีระยะเวลาการศึกษา 15 วัน โดยที่ 10 วันแรก ให้โคนมปรับตัว แบ่งเป็น 2 ช่วง

ช่วงที่ 1 (วันที่ 1-5) เป็นช่วงหาปริมาณการกินได้โดยอิสระของโค โดยให้อาหารเต็มที่ดังนี้ กลุ่มที่ 1 โคนมจะได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป โดยมีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มที่ 2 โคนมจะได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

ช่วงที่ 2 (วันที่ 6 – 10) เป็นช่วงที่ลดปริมาณอาหารให้เหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอาหารที่กินได้โดยอิสระของโคนมแต่ละกลุ่ม

ส่วน 5 วันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 11 – 15) เป็นช่วงที่ลดปริมาณอาหารให้เหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอาหารที่กินได้โดยอิสระของโคนมแต่ละกลุ่ม จะทำการเก็บข้อมูลต่างๆ คือ การบันทึกน้ำหนักโคนมก่อนการทดลอง เก็บตัวอย่างอาหารก่อนกินและอาหารหลังกิน รวมทั้งเก็บมูลและปัสสาวะ โดยจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง 10 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง จะนำตัว

อย่างที่ได้ในแต่ละวันมารวมกันและทำการสุ่ม 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปอบหาเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งต่อไป

ตัวอย่างอาหารและมูลที่อบแห้งแล้วจะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Proximate analysis และวิเคราะห์ Detergent analysis ส่วนปัสสาวะนำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน โดยเครื่อง Kjeltec auto sampler system

10.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ปริมาณการกินได้ ปริมาณน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนม น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ความต้องการพลังงานและโปรตีน ซึ่ง N = 8 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยวิธี analysis of variance โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (Statistical analysis system) (1985)

10.5 ผลการทดลอง

10.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงไว้ดังตารางที่ 10.2 ซึ่งได้แก่ กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มการทดลองที่ 2 อาหารผสมสำเร็จรูปหมัก พบว่าอาหารทั้ง 2 ชนิดมีคุณค่าทางโภชนะใกล้เคียงกันในส่วนของเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง และเปอร์เซ็นต์โปรตีน แต่ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ไขมัน เปอร์เซ็นต์เถ้า และองค์ประกอบในส่วนของเยื่อใยได้แก่ CF, NDF และ ADF พบว่าในกลุ่มการทดลองที่ 1 จะมีค่าสูงกว่าอาหารในกลุ่มการทดลองที่ 2 (5.38 และ 1.21, 11.26 และ 4.73, 18.94 และ 15.59, 54.04 และ 42.42, 33.09 และ 25.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และในส่วนของพลังงานรวม (GE) พบว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 แต่พลังงานย่อยได้ (DE) และพลังงานใช้ประโยชน์ (ME) ของกลุ่มการทดลองที่ 1 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2

10.5.2 การกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป

การกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงไว้ในตารางที่ 10.3 ผลการทดลองพบว่า การกินได้โดยอิสระของโคนมทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยที่กลุ่มที่ 1 มีการกินได้โดยอิสระเท่ากับ 11.9 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ซึ่งสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 ที่การกินได้โดยอิสระเท่ากับ 10.0 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน รวมทั้งการกินได้ของโปรตีน และการกินได้ของพลังงานใช้ประโยชน์ (ME) พบว่าทั้ง 2 กลุ่มการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยที่กลุ่มการทดลองที่ 1 มีการกินได้ของโปรตีน และพลังงานใช้ประโยชน์ (ME) เท่ากับ 1,764 กรัม/ตัว/วัน และ 124 MJ/ตัว/วัน และกลุ่มการทดลองที่ 2 มีการกินได้ของโปรตีน และการกินได้ของพลังงานใช้ประโยชน์ (ME) เท่ากับ 1,248 กรัม/ตัว/วัน และ 100 MJ/ตัว/วัน

ตารางที่ 10.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป

เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]
วัตถุแห้ง	63.54	64.35
โปรตีน	13.61	13.02
ไขมัน	5.38	1.21
เถ้า	11.26	4.73
เยื่อใย	18.94	15.59
NDF	54.04	42.42
ADF	33.09	25.33
พลังงานรวม GE (MJ/kgDM)[3/]	16.47	17.88
พลังงานย่อยได้ DE (MJ/kgDM)[4/]	12.65	12.18
พลังงานใช้ประโยชน์ ME (MJ/kgDM)[5/]	10.37	9.98

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

[3/] GE (MJ/kgDM) = ((5.72CP + 9.5EE + 4.79CF + 4.17NFE)/100)*4.184

[4/] DE (MJ/kgDM) = 0.04409*TDN(%)*4.184

[5/] ME = 0.82DE

ตารางที่ 10.3 แสดงผลการกินได้ของอาหารผสมสำเร็จรูป

การกินได้ของโภชนะ	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	Pr > T	%CV
การกินได้ (กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	11.9±0.43	10.0±1.86	0.0118	12.30
การกินได้ของโปรตีน (กรัม/ตัว/วัน)	1764±21.95	1248±276.73	0.0001	13.03
การกินได้พลังงาน (MJ/ตัว/วัน)	124±4.52	100±4.52	0.0031	12.08

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

10.5.3 การย่อยได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป

การย่อยได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคเจาะกระเพาะ ซึ่งศึกษาการย่อยได้ *in vivo* โดยวิธี Total collection method แสดงไว้ดังตารางที่ 10.4 พบว่า การย่อยได้ของโภชนะ ได้แก่วัตถุแห้ง โปรตีน NFE เยื่อใย NDF ADF โภชนะย่อยได้รวม (TDN) พลังงานย่อยได้ (DE) และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง ยกเว้นการย่อยไขมันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) โดยที่กลุ่ม

การทดลองที่ 1 มีการย่อยได้ของไขมันสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 (87.89 และ 65.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และความสมดุลไนโตรเจนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าสูงกว่า กลุ่มการทดลองที่ 2 (109.31 และ 76.36 กรัม/วัน ตามลำดับ)

ตารางที่ 10.4 แสดงการย่อยได้ *in vivo* โดยวิธี Total collection method ของอาหารผสมสำเร็จรูป

เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	Pr >T	%CV
วัตถุแห้ง	61.06±9.64	65.87±4.51	0.4782	11.86
โปรตีน	68.92±6.23	63.96±5.78	0.3689	9.04
ไขมัน	87.89±5.92	65.73±3.96	0.0047	6.20
ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (NFE)	69.69±1.69	76.19±6.52	0.1895	6.91
เยื่อใย	52.00±6.92	51.90±1.33	0.9858	9.59
NDF	41.89±10.60	41.35±9.45	0.9555	23.69
ADF	25.14±13.60	29.80±0.36	0.6756	35.02
พลังงานรวม TDN (%)	68.56±6.17	66.00±0.31	0.6176	7.47
พลังงานย่อยได้ DE (MJ/kgDM)[3/]	12.65±1.14	12.18±0.06	0.6202	7.45
พลังงานใช้ประโยชน์ ME(MJ/kgDM)[4/]	10.37±0.93	9.99±0.05	0.6197	7.49
ความสมดุลย์ของไนโตรเจน (N-balance) (g/day)	109.31±11.19	76.36±7.72	0.0137	10.40

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

[3/] DE (MJ/kgDM) = 0.04409*TDN(%)*4.184

[4/] ME = 0.82DE

10.5.4 ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ปริมาณน้ำนม และส่วนประกอบของน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงไว้ในตารางที่ 10.5 ผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำนม (13.0, 9.2 กิโลกรัม/วัน) ปริมาณไขมันนม (454, 347 กรัม/วัน) ปริมาณโปรตีนนม (356, 273 กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งพร่องในไขมัน (1043, 775 กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งรวมในนม (1497, 1123 กรัม/วัน) และปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (12.0, 8.9 กิโลกรัม/วัน) ที่ศึกษา มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) และปริมาณแล็คโตส (568, 424 กรัม/วัน) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างกลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2

ตารางที่ 10.5 แสดงปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	Pr>T	%CV
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	13.0±2.37	9.2±1.85	0.0027	19.12
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4% (กิโลกรัม/วัน)	12.0±1.66	8.9±1.77	0.0026	16.41
ปริมาณไขมัน (กรัม/วัน)	454±51.49	347±78.98	0.0065	16.63
ปริมาณโปรตีน (กรัม/วัน)	356±44.57	273±57.29	0.0056	16.29
ปริมาณแล็คโตส (กรัม/วัน)	568±116.93	424±94.97	0.0173	21.43
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน)	1043±179.08	775±161.14	0.0073	18.72
ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน)	1497±223.94	1123±224.33	0.0049	17.10

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

10.5.5 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงไว้ดังตารางที่ 10.6 พบว่า เปอร์เซ็นต์ไขมันนม (3.54, 3.83 เปอร์เซ็นต์) เปอร์เซ็นต์โปรตีน (2.77, 2.99 เปอร์เซ็นต์) เปอร์เซ็นต์แล็คโตส (4.35, 4.61 เปอร์เซ็นต์) เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม (11.56, 12.28 เปอร์เซ็นต์) และเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมัน (8.02, 8.45 เปอร์เซ็นต์) ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างกลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2 แต่ผลที่จากตารางจะเห็นได้ว่า ในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของน้ำนมดังกล่าว สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 เล็กน้อย

ตารางที่ 10.6 แสดงผลเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	Pr>T	%CV
เปอร์เซ็นต์ไขมัน	3.54±0.45	3.83±0.67	0.3294	15.50
เปอร์เซ็นต์โปรตีน	2.77±0.26	2.99±0.39	0.1974	11.40
เปอร์เซ็นต์แล็คโตส	4.35±0.28	4.61±0.31	0.0978	6.57
เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมัน	8.02±0.28	8.45±0.50	0.0520	4.90
เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม	11.56±0.61	12.28±0.92	0.0862	6.53

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

10.5.6 น้ำหนักตัว และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัวของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงไว้ในตารางที่ 10.7 พบว่า น้ำหนักตัวก่อนการทดลอง (431, 409 กิโลกรัม) น้ำหนักตัวหลังการทดลอง (429, 395 กิโลกรัม) และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (-89, -488 กรัม/วัน) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ทั้ง 2 กลุ่มการทดลองมีน้ำหนักตัวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกันน้ำหนักตัวก่อนการทดลอง โดยการสูญเสียน้ำหนักตัวของกลุ่มการทดลองที่ 2 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1

ตารางที่ 10.7 แสดงผลน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	Pr>T	%CV
น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กิโลกรัม)				
ก่อนการทดลอง	431±52.46	409±53.73	0.4212	12.64
หลังการทดลอง	429±44.92	395±60.82	0.2390	12.97
น้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน)	-89±708.91	-478±693.04	0.2865	247.3

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

10.5.7 การประมาณค่าโปรตีน และพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป

ผลของโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงในตารางที่ 10.8 โดยที่สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของโปรตีน โดยวิธี Nylon bag technique พบว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับ RDP และ UDP สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) แต่สัดส่วน RDP/ME ในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

การจำแนกพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่างๆ ของทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง ที่แสดงไว้ในตารางที่ 10.9 พบว่าพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ ของทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกัน (33 และ 32 MJ) แต่ในกลุ่มการทดลองที่ 1 ใช้พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม และพลังงานสุทธิสะสมสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01 และ P<0.05 ตามลำดับ) ส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อผลผลิตของกลุ่มการทดลองที่ 1 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 (0.41 และ0.27) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

การกินได้ของโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการของ ARC (1980, 1984) และ AFRC (1992)

แสดงไว้ดังตารางที่ 10.10 พบว่าทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง ได้รับ RDP และ UDP เพียงพอต่อความต้องการ

ตารางที่ 10.8 แสดงการได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (UDP)(กรัม/ตัว/วัน) ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	Pr>T	%CV
โปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP)	1184±15.96	979±182.15	0.0068	11.95
โปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP)	556±9.27	326±60.72	0.0001	9.84
RDP/ME	9.5±0.22	9.8±0.00	0.0061	1.61

หมายเหตุ [1/]กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/]กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

ตารางที่ 10.9 แสดงการจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ (MJ/วัน)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	Pr>T	%CV
การกินได้พลังงานใช้ประโยชน์ (ME intake)	124±4.52	100±18.63	0.0031	12.1
พลังงานใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ (ME_m)[3/]	57±5.22	55±5.37	0.4218	9.5
พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_l)[4/]	38±5.47	28±5.50	0.0024	16.6
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_g)[5/]	-0.9±12.33	-7.6±11.13	0.2697	277.7
พลังงานสุทธิสะสม[6/]	37±14.23	20±13.71	0.0297	48.5
พลังงานใช้ประโยชน์ (กินได้ – ดำรงชีวิต)	68±5.36	46±15.68	0.0021	20.7
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อผลผลิต[7/]	0.54±0.19	0.43±0.39	0.3460	66.1

หมายเหตุ [1/]กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/]กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

[3/] $ME_m = 0.60LW^{0.75}$ (ARC, 1980)

[4/] Tyrrell and Reid (1965)

[5/] 19 MJ/kg Gain and 16 MJ/kg Loss (AFRC, 1992)

[6/] = [4/] + [5/]

[7/] = NE Retention/(ME intake - ME_m)

ตารางที่ 10.10 แสดงความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (UDP)(กรัม/ตัว/วัน) ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	Pr>T	%CV
ความต้องการ RDP[3/]	1042±37.89	839±156.10	0.0031	12.07
RDP จากอาหาร	1184±15.78	979±182.15	0.0068	11.95
ขาด/เกิน	+142±22.11	+140±26.05	0.8834	17.14
โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน (TP_{mp})[4/]	567±20.61	456±84.92	0.0031	12.07
ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (NP_t)[5/]	572±102.36	429±128.77	0.0280	23.25
โปรตีนที่ต้องการจาก UDP[6/]	5±99.62	-27±90.10	0.5096	835.6
เทียบเท่า UDP จากอาหาร[7/]	9±189.75	-52±171.62	05096	835.6
UDP จากอาหาร	556±9.27	326±60.72	0.0001	9.84
ขาด/เกิน	+547±189.76	+379±177.30	0.0883	39.69

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

[3/] RDP requirement = 8.38 ME

[4/] $TP_{mp} = RDP_R$ (0.80.85*0.80)

[5/] ARC (1980; 1984)

[6/] = [5/] + [4/]

[7/] = UDP_R /(0.70*0.75)

10.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

10.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงโคนม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงโคนม พบว่าทั้ง 2 กลุ่มการทดลองมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่าที่กำหนดโดย NRC (1988) คือ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปอร์เซ็นต์เยื่อใยของกลุ่มการทดลองที่ 2 ต่ำกว่า NRC (1988) เล็กน้อย ซึ่งกำหนดไว้ที่ 17 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ NDF และ ADF สูงกว่าที่ NRC (1988) กำหนดไว้คือ 28 และ 21 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปริมาณไขมันในกลุ่มการทดลองที่ 1 สูงกว่า กลุ่มการทดลองที่ 2 เพราะในกลุ่มการทดลองที่ 1 มีอาหารข้นสำเร็จรูป ซึ่งมีวัตถุดิบหลายชนิดมีปริมาณไขมันสูง แต่ในกลุ่มการทดลองที่ 2 วัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ปริมาณไขมันต่ำ และผ่านการสกัดเอาน้ำมันออกแล้ว และเปอร์เซ็นต์เถ้าในกลุ่มการทดลองที่ 1 จะสูงกว่าในกลุ่มการทดลองที่ 2 เพราะหญ้าหมักเป็นอาหาร

หยาบมีที่ปริมาณของดินปนเปื้อนอยู่สูง เนื่องจากการเก็บเกี่ยวหญ้าโดยใช้รถตัดเพื่อนำมาทำการหมักนั้น จะมีการปลอมปนของดินติดมากับหญ้าด้วย

10.6.2 การกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป

การกินได้ของอาหารผสมสำเร็จรูป แสดงไว้ในตารางที่ 10.3 ประกอบไปด้วย การกินได้วัตถุแห้งของอาหารผสม การกินได้ของโปรตีน และการกินได้ของพลังงาน ซึ่งพบว่าการกินได้ของวัตถุแห้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ซึ่งมียูเรียเป็นส่วนประกอบ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้ในอาหารผสมสำเร็จรูปหมักมีกลิ่นแอมโมเนียสูง มีผลทำให้โคกินอาหารได้ลดลง อีกทั้งในการเตรียมอาหารผสมสำเร็จรูปหมักเพื่อจ่ายให้โค จะใส่ถุงอาหารไว้ ทำให้การระเหยของแอมโมเนียต่ำ Song and Kennelly (1989) ได้ทำการหมักบาร์เลย์ด้วย แอมโมเนีย พบว่าการกินได้ของโคลดลงเนื่องจากกลิ่นของแอมโมเนีย และวิธีการเตรียมอาหารหมักสำหรับจ่ายให้โค ซึ่งทำให้มีการระเหยของแอมโมเนียต่ำเช่นกัน ซึ่งผลของยูเรียสอดคล้องกับ Schmutz et al. (1969) ที่พบว่า เมื่อระดับของยูเรียในข้าวโพดหมักสูงขึ้น (0, 0.5 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์) มีผลทำให้การกินได้ของโคเท่ากับ 9.55, 9.48 และ 7.52 กิโลกรัมต่อวัน นอกจากนี้ Suksombat (1999b) ทำการทดลองอาหาร 3 สูตร ที่มีส่วนประกอบของข้าวโพดหมัก ฟางข้าว และชานอ้อย เป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่าในอาหารสูตรที่ 3 ไม่มีส่วนประกอบของข้าวโพดหมัก มีการกินได้ต่ำกว่าอาหารในสูตรที่ 1 และ 2 ทั้งนี้เนื่องจากข้าวโพดหมักมีการย่อยได้สูงกว่า ฟางข้าวและชานอ้อย ซึ่งโคสามารถย่อยได้ดีกว่า เร็วกว่า และส่งผ่านได้เร็ว เป็นผลให้การกินได้สูงขึ้น (Tamminga, 1979)

นอกจากนี้โปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (UDP) ก็มีผลต่อปริมาณการกินได้ ซึ่งพบว่าโคได้ที่รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงกว่าจะส่งผลให้ปริมาณการกินได้สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้น้อยในกระเพาะหมัก Claypool et al. (1980) พบว่าสาเหตุที่โปรตีนไปมีผลต่อปริมาณการกินได้เป็นเพราะว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่าจะทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักได้รับไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ซึ่งจะส่งผลให้การย่อยได้สูงขึ้น เมื่อการย่อยได้สูงขึ้น การไหลผ่านของอาหารจากกระเพาะหมักก็เพิ่มสูงขึ้นทำให้โคสามารถกินอาหารได้มากขึ้น ส่วนโปรตีนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักจะมีผลต่อสมดุลกรดอะมิโนในสัตว์ ซึ่งมีผลต่อการควบคุมกลไกการควบคุมการกินได้ (Egan and Moir, 1965) ถ้ากรดอะมิโนไม่สมดุลจะไปมีผลต่อวิถีเมตาโบไลต์ในสัตว์ ลดการใช้ประโยชน์ของสารตั้งต้น เนื่องจากการขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นจะมีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ในวิถีเมตาโบไลต์ ซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนย้ายสารอาหารในวัฏจักร ดังนั้นอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการกระตุ้นเคโมรีเซพเตอร์ ไปมีผลต่อสมองที่ควบคุมการกินได้ของสัตว์ (Forbes, 1986) Egan and Moir (1965) ได้ทดลองฉีดเคซีนในลำไส้เล็กส่วนต้น

ของแกะ พบว่าเพิ่มการกินได้ และ ทดลองฉีดเคซีนในกระเพาะรูเมน ซึ่งเพิ่มการกินได้น้อย แต่การย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงขึ้น

ส่วนการกินได้ของโปรตีนในกลุ่มการทดลองที่ 1 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการกินได้ของวัตถุแห้ง และอาหารของกลุ่มการทดลองที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าอาหารของกลุ่มการทดลองที่ 2 เล็กน้อย (Suksombat, 1996) และการกินได้ของพลังงานมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นผลมาจากการกินได้ของวัตถุแห้ง เช่นเดียวกับการกินได้ของโปรตีน แต่การกินได้ของพลังงานของทั้ง 2 กลุ่มการทดลองค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของ Suksombat (1998) และ Suksombat (1999a) ที่ศึกษาการใช้หญ้าสด และอาหารหยาบผสมที่ชานอ้อยและฟางข้าวเป็นส่วนประกอบ ใช้เป็นอาหารโคนม ซึ่งการกินได้ของพลังงานอยู่ในช่วง 140 – 157 MJME/ตัว/วัน

นอกจากนี้การทำอาหารหมักในระดับ Large scale ซึ่งต้องเตรียมอาหารในปริมาณมาก การควบคุมคุณภาพอาจทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งค่อนข้างสูง (64.35 เปอร์เซ็นต์) ทำให้มีความชื้นต่ำ โดยที่หญ้าหมักสามารถแบ่งตามความชื้นได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าหมักสด (ความชื้น 70 – 80 เปอร์เซ็นต์) หญ้าหมักกึ่งสดกึ่งแห้ง (ความชื้น 60 – 70 เปอร์เซ็นต์) และหญ้าหมักแห้ง (ความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์) (สายัณห์ ทัดศรี, 2542) แต่อาหารหมักผสมสำเร็จรูปมีความชื้นเพียง 36.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจจะมีผลทำให้กระบวนการหมักของอาหารไม่สมบูรณ์ และลดความน่ากินได้

10.6.3 ปริมาณน้ำนม และส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม

ปริมาณน้ำนมในโคกลุ่มการทดลองที่ 1 มากกว่าโคในกลุ่มการทดลองที่ 2 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการกินได้ของวัตถุแห้ง และพลังงาน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้โคได้รับพลังงานไม่เพียงพอต่อการให้ผลผลิตน้ำนม Gaynor et al. (1995) พบว่าโคที่ได้รับพลังงานสูงจะมีปริมาณผลผลิตน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโคที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานมากขึ้น จะเกิดการย่อยสลายพลังงานในกระเพาะหมักมากขึ้น ทำให้สามารถผลิตกรดไขมันได้มากขึ้น และส่งผลให้การผลิตน้ำนมได้เพิ่มขึ้น Suksombat (2000) ทำการทดลองอาหารหยาบผสม 3 สูตร เปรียบเทียบกับหญ้าสด พบว่าในอาหารหยาบผสมสูตรที่ 3 ที่มีชานอ้อยเป็นแล่งอาหารหยาบเพียงอย่างเดียว มีปริมาณน้ำนมลดลง ทั้งนี้เพราะชานอ้อยมีการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าหมักที่เป็นอาหารหยาบของกลุ่มการทดลองที่ 1

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 10.9 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อผลผลิต ในโคกลุ่มการทดลองที่ 1 สูงกว่าโคในกลุ่มการทดลองที่ 2 Suksombat (1999b) ได้ทำการทดลองอาหารผสมสำเร็จรูป 3 สูตร มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อผลผลิตเท่ากับ 0.41, 0.50 และ 0.52 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำนมลดลง (13.4, 14.1 และ 14.6 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับ

Suksombat (2000) ทดลองอาหารหยาบผสม 3 สูตร กับหญ้าสด พบว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อผลผลิตเท่ากับ 0.51, 0.46 และ 0.41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณน้ำนมลดลงเช่นกัน (13.2, 12.2 และ 10.9 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ)

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่าง 2 กลุ่มการทดลอง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 10.6 จะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมไม่แตกต่าง ซึ่งการหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมได้มาจาก เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมคูณกับปริมาณน้ำนม จึงส่งผลให้ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างไรก็ตามพบว่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันในน้ำนม (SNF) ในกลุ่มการทดลองที่ 2 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 เพราะโคที่ให้นมลดลง แต่คุณภาพของน้ำนมจะสูงขึ้น คือเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีนจะเปลี่ยนแปลงมาก เปอร์เซ็นต์แลคโตสค่อนข้างคงที่ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันในน้ำนมสูงขึ้น (ม.ร.ว. ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2534)

10.6.4 การได้รับโปรตีนจากอาหาร โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (UDP)

จากผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 10.8 การได้รับโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) จากอาหารในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการกินได้ของโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการทดลองที่ 1 ซึ่งส่งผลต่อการกินได้ของโปรตีน และ RDP ในขณะเดียวกันการกินได้ที่ลดลงของกลุ่มการทดลองที่ 2 เป็นผลทำให้โคนมได้รับ UDP ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 ส่วนอัตราส่วนของ RDP/ME พบว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 ต่ำกว่า กลุ่มการทดลองที่ 1 แต่อย่างไรก็ตามสัดส่วน RDP/ME ของทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง มีค่าสูงกว่าค่าที่ ARC (1984) แนะนำไว้ คือ 8.38 gRDP/MJME ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมีการเจริญเติบโตดีที่สุด

การได้รับโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) คำนวณจากสมการของ ARC (1980, 1984) แสดงไว้ในตารางที่ 10.10 พบว่าโคทั้ง 2 กลุ่มการทดลองได้รับ RDP และ UDP เพียงพอต่อความต้องการในการผลผลิตน้ำนม ปริมาณ RDP ที่สูงเกิดจากอาหารมียูเรียเป็นส่วนประกอบ ซึ่งยูเรียสามารถแตกตัวได้เร็วในกระเพาะหมัก RDP ที่ได้รับจะสนับสนุนการการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ ทำให้มีจำนวนมากไหลผ่านไปย่อยในลำไส้เล็กและถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ (Oldham, 1984) ซึ่งส่งผลให้ความต้องการ UDP เพียงพอต่อความต้องการเช่นกัน

10.6.5 การจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ

การกินได้ของพลังงานใช้ประโยชน์ ที่แสดงในตารางที่ 10.9 ของกลุ่มการทดลองที่ 2 ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากการกินได้วัตถุแห้งของกลุ่มการทดลองที่ 2 ลดลง นอกจากนี้ยังร่วมถึงพลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม พลังงานสุทธิสะสม Esmail (1999) พบว่าอาหารหมักที่เสริมด้วยยูเรีย หรือแอมโมเนียจะมีผลทำให้การกินได้ของพลังงานใช้ประโยชน์ และการใช้ประโยชน์ของพลังงานลดลง

10.7 สรุป

องค์ประกอบทางเคมีทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูหมักที่ใช้เลี้ยงโคนมระยะต้นของการให้นม กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มการทดลองที่ 2 อาหารผสมสำเร็จรูปหมัก โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์ไขมัน เถ้า เยื่อใย NDF และ ADF สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 เล็กน้อย ส่วนปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งในโคนมกลุ่มการทดลองที่ 2 ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมทั้งการกินได้ของโปรตีน และพลังงานใช้ประโยชน์ ส่วนการย่อยได้ของโภชนะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นการย่อยได้ของไขมัน ซึ่งกลุ่มการทดลองที่ 1 สามารถย่อยได้สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2

ในส่วนของปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม ในโคนมกลุ่มการทดลองที่ 2 มีปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบต่ำกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของน้ำนมไม่มีความแตกต่าง แต่เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันในกลุ่มการทดลองที่ 2 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการได้รับ RDP, UDP และการจำแนกพลังงานต่างๆ ในกลุ่มการทดลองที่ 2 จะต่ำกว่าในกลุ่มการทดลองที่ 1 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการกินได้ของวัตถุแห้งในโคนมกลุ่มการทดลองที่ 2 ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ

จากงานวิจัยครั้งนี้ การทำอาหารหมักในระดับ Large scale การควบคุมคุณภาพอาจทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งค่อนข้างสูง ทำให้มีความชื้นต่ำ ซึ่งอาจจะมีผลทำให้กระบวนการหมักของอาหารไม่สมบูรณ์ และลดความน่ากินได้

บทที่ 11
บทสรุป

จากที่ได้ศึกษาถึงการนำเอาผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก เพื่อใช้เป็นอาหารหยาบและอาหารผสมสำหรับเลี้ยงโคนมในฤดูแล้ง โดยได้ทำการศึกษาส่วนประกอบทางโภชนะของผลพลอยได้ทางการเกษตร วิธีการผลิตอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร ระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร และผลการตอบสนองการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียนโดยได้เปรียบเทียบกับหญ้าสด สามารถสรุปประเด็นสำคัญที่ได้จากงานวิจัยดังนี้

1. ผลพลอยได้ทางการเกษตรมีส่วนประกอบทางโภชนะแตกต่างกัน พบว่า ในส่วนของชานอ้อยนั้นมีส่วนประกอบประเภทเยื่อใยอยู่ในปริมาณสูง กากเบียร์และกากรำสกัดน้ำมันมีส่วนประกอบของโปรตีนหยาบสูง และนอกจากนี้พบว่า มีส่วนประกอบประเภทเยื่อใยในปริมาณที่สูง มันสำปะหลังตากแห้งและกากมันสำปะหลังมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตอยู่ในปริมาณสูง อย่างไรก็ตามในส่วนของกากเบียร์และกากมันสำปะหลังมีความชื้นสูงและเกิดการเน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารหยาบหมักเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถเก็บรักษาคุณค่าทางโภชนะได้

2. ในส่วนของกรรมวิธีการผลิตอาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร พบว่า การเสริมยูเรียเพียงอย่างเดียวจะทำให้มีการผลิตกรดแลคติคลดลง และปริมาณกรดอะซิติคเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระดับความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ทำให้มีการสูญเสียวัตถุแห้ง และโปรตีนในปริมาณที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารเสริม แต่การเสริม *Lactobacillus sp.* ร่วมกันกับการเสริมยูเรียมีแนวโน้มทำให้คุณอาหารหยาบหมักดีขึ้น การเสริมกากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวและเสริมร่วมกับการเสริมยูเรียจะทำให้ได้อาหารหยาบที่มีคุณภาพสูงเหมาะสำหรับให้เป็นอาหารเลี้ยงโคนม อย่างไรก็ตามในการผลิตอาหารหยาบหมักควรมีการเสริมคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำ เช่น กากน้ำตาล ซึ่งจะทำให้ได้อาหารหยาบหมักคุณภาพสูง และควรเสริมร่วมกับการเสริมยูเรียเพื่อลดต้นทุน

3. ในการเก็บรักษาอาหารหยาบหมักที่ระยะเวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 เดือน พบว่า ส่วนประกอบวัตถุแห้งของอาหารหยาบหมักไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเก็บรักษานานขึ้นเช่นเดียวกันกับระดับความเป็นกรด-ด่าง แต่ปริมาณของกรดแลคติคมีค่าลดลงและปริมาณของกรดอะซิติคมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของอาหารหยาบหมัก โดยทำให้คุณภาพของอาหารหยาบหมักลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาได้นานขึ้น อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาอาหารหยาบแม้จะทำให้คุณภาพของ

อาหารหยาบหมักลดลงแต่ก็ยังสามารถเก็บรักษาได้อย่างน้อย 6 เดือน โดยยังทำให้อาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีคุณภาพดีเหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงโคนม

4. จากการศึกษาการใช้อาหารหยาบหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรเลี้ยงโคนมเปรียบเทียบกับหญ้าสด พบว่า อาหารหยาบหมักมีความน่ากินสูงกว่าหญ้าสด ซึ่งจะทำให้โคนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักมีการกินได้สูงกว่าโคนมที่ได้รับหญ้าสด ทำให้โคนมได้รับโภชนะต่างๆ สูงตามไปด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าการย่อยได้โภชนะโปรตีนและไขมันสูงกว่าโคนมที่ได้รับหญ้าสด แต่โคนมที่ได้รับหญ้าสดมีแนวโน้มการย่อยได้เยื่อใยที่ละลายได้ในกรดสูงกว่า และยังพบว่าอาหารหยาบหมักมีโปรตีนที่ย่อยสลายและไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนในระดับสูงกว่าหญ้าสด ส่งผลทำให้โคนมที่ได้รับอาหารหยาบหมักได้รับสูงตามไปด้วย ในส่วนของการให้ผลผลิตน้ำนม การเพิ่มน้ำหนักตัว และส่วนประกอบต่างๆในน้ำนม ไม่แตกต่างกันกับโคนมที่ได้รับหญ้าสด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าอาหารหยาบหมักที่ผลิตจากผลพลอยได้ทางการเกษตรสามารถใช้เลี้ยงโคนมเป็นอย่างดี

5. การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักขึ้นอยู่กับการคำนวณสูตรอาหาร และสัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละชนิดในสูตร ความเป็นกรด-ด่างมีความผันแปรระหว่างสูตรตามปริมาณการใช้ยูเรีย ในสูตรที่ใช้ยูเรียมากขึ้นจะมีความเป็นด่างสูง การย่อยสลายของวัตถุแห้งในสูตรที่มีส่วนประกอบของมันสำปะหลังสูงจะมีการย่อยสลายได้ดี ส่วนการย่อยสลายโปรตีน ในสูตรที่มียูเรียเป็นส่วนประกอบอยู่สูงจะมีการย่อยสลายได้ดี ปริมาณ VFAs มีความผันแปรค่อนข้างมาก แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพโดยใช้คะแนนตัดสิน พบว่าทุกสูตรและระยะเวลาของการหมัก มีคะแนนอยู่ในระดับเดียวกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงการย่อยสลายวัตถุแห้ง พบว่าสูตรที่ 5 ที่ระยะเวลาการหมัก 14 วัน มีการย่อยสลายได้ดีที่สุด

6. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา 1-6 เดือน ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่าที่คำนวณไว้ ส่วน NDF และADF มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามทุกระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมักมีองค์ประกอบทางเคมีอยู่ในระดับที่แนะนำโดย NRC (1988) สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างจะสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เมื่อพิจารณาคะแนนคุณภาพของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจะสรุปได้ว่า อาหารผสมสำเร็จรูปหมักสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 6 เดือน

7. จากการศึกษาการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรเลี้ยงโคนมเปรียบเทียบกับอาหารสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นส่วนผสม พบว่า อาหารผสมสำเร็จรูปหมักนั้นโคกินวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานใช้ประโยชน์น้อยกว่าโคที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นส่วนผสม ซึ่งมีผลทำให้โคนมที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปหมักให้น้ำนมน้อยกว่าโคที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นส่วนผสม อย่างไรก็ตาม งานวิจัยครั้งนี้ยังไม่สามารถสรุปชัดเจนได้ว่าอาหารผสมสำเร็จรูปหมักไม่สามารถทดแทนอาหารสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นส่วนผสม ทั้งนี้เนื่องจาก ในขณะที่ทำการหมักอาหารผสมสำเร็จรูปในบ่อหมักขนาดใหญ่นั้นมีการสูญเสียความชื้นในระหว่างการหมักค่อนข้าง

มาก ทำให้คุณภาพของอาหารสำเร็จรูปหมักไม่ดีเท่าที่ควร จึงเป็นเหตุให้โคกินอาหารผสมสำเร็จรูปหมักน้อย ส่งผลให้โคนมให้ผลผลิตน้ำนมน้อยลงตามไปด้วย

8. จากการศึกษาวิจัยมาทั้งหมดนี้ พอสรุปได้ว่าสามารถผลิตอาหารหยาบหมักและอาหารสำเร็จรูปหมักเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับโคนมในช่วงฤดูแล้งได้ แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ในระหว่างการหมักควรป้องกันการสูญเสียความชื้นให้ได้มากที่สุด ทั้งนี้จะเห็นได้จากเมื่อทำการหมักในถุงขนาดเล็กนั้น อาหารหยาบหมักและอาหารผสมสำเร็จรูปหมักนั้นสามารถคงความมีคุณภาพได้ดี เมื่อนำมาทำการหมักในบ่อหมักขนาดใหญ่ ในกรณีของอาหารหยาบหมักยังคงมีคุณภาพดี แต่ในกรณีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักนั้นมีการสูญเสียความชื้นระหว่างการหมักมากเกินไป ทำให้คุณภาพไม่สู้ดีนัก หรืออีกแนวทางหนึ่งหากเกษตรกรประสงค์จะทำอาหารหยาบหมักหรืออาหารผสมสำเร็จรูปหมักก็อาจทำในถุงหรือในภาชนะพลาสติกมีฝาปิดได้ แต่ต้องทำจำนวนมากถึงจะเพียงพอสำหรับไว้ให้โคกิน ในกรณีที่ใช้ภาชนะพลาสติกนั้นสามารถนำภาชนะมาหมุนเวียนใช้ได้อีกหลายครั้ง

9. งานวิจัยในทำนองเดียวกันนี้น่าจะได้มีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเฉพาะภาชนะที่จะใช้หมักที่เหมาะสมกับเกษตรกรรายย่อย

บรรณานุกรม

กฤตพล สมมาตร์, นิโรจน์ ศรสูงเนิน และ เมธา วรรณพัฒน์. (2542). ผลของการเสริมเมล็ดฝ้ายทดแทนอาหารข้นในโครีดนม. วารสารวิจัย มข. 4: 37-44.

จุฑามาศ บุญแย้ม. (2539). ผลผลอยได้จากอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล. วารสารน้ำตาล. หน้า 1-12.

ฉลอง วชิราภากร. (2541). โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์.มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฉลอง วชิราภากร. (2542). ผลของระดับมันสำปะหลังในอาหารโคนมต่อการให้ผลผลิตนม. วารสารวิจัย มข. 4: 29-36.

ฉลอง วชิราภากร, เทอดศักดิ์ ปุระมงคล และ วุฒิชัย สีเผือก. (2540). อาหารทีเอ็มอาร์ (Total mixed ration, TMR) หรืออาหารสมบูรณ์ (complete ration, CR) สำหรับโคนม. วารสารโคนม. 5: 53.

เฉลิมชัย ศรีรัตนะศักดิ์. (2527). การให้กากเบียร์ผสมมันเส้นทดแทนรำในอาหารสุกรรุ่นและขุน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยข่อนแก่น.

ชวนิศนดากร วรวรรณ, ม.ร.ว.. (2500). หลักการให้อาหารสัตว์. หนังสือประกอบการบรรยาย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชวนิศนดากร วรวรรณ, ม.ร.ว.. (2534). การเลี้ยงโคนม. (จำนวน 3000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 4). สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

ทรงศักดิ์ จำปาวะดี. (2541). ผลของระดับโปรตีนและโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยข่อนแก่น.

พรชัย ล้อวิลัย, บุญฤา วิไลพล และ ยงยศ ไทรงาม. (2540). การศึกษาอิทธิพลของความยาวของชิ้นหญ้าหมัก. รายงานการวิจัย. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์.มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. (2539). หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 2 หลักโภชนะศาสตร์และการประยุกต์. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร.

ไพบูลย์ ใจเด็ด. (2537). อาหารผสมสำเร็จรูป. วารสารสัตวบาล. 22 (4): 18-25.

เพ็ญศรี ศรประสิทธิ์, พูลศรี ศุกระรุจิ และ ชบา จำปาทอง. (2538). อิทธิพลของระยะการเจริญเติบโตและสารช่วยหมักที่มีผลต่อคุณภาพของหญ้าไข่มุขหมัก. รายงานการวิจัยประจำปี 2537. กองอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). โภชนศาสตรสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เยาวมาลย์ ค้าเจริญ และสาโรช ค้าเจริญ. (2543). คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวโพดเทียบกับมันสำปะหลังและการผลิตข้าวโพดวิทยาศาสตรจากมันสำปะหลัง. สาส์นไก่และการเกษตร. 48(8): 44-51.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2538). เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการผลิตโคนม. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2539). เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาโภชนะศาสตรสัตว์เคี้ยวเอื้อง. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2540). ชานอ้อย : อาหารหยาบผสมสำหรับโคนม (1) การปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วยวิธีต่างๆ. วารสารโคนม. 16 (6) : 6-9.

วีระพล พูนพิพัฒน์, ไกรลาศ เขียวทอง และ กานดา นาคมณี. (2541). ระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของหญ้าเนเปียร์หมักในถุงพลาสติก. รายงานการวิจัยประจำปี 2541. กองอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมคิด พรหมมา, สมสุข พวงดี, บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, บุญเสริม ชีวะอิสระกุล, และ พิสัณห์ ผงทอง. (2542). การผลิตหญ้าหมักสำหรับเลี้ยงโคนม. วารสารสัตวบาล. 9: 17-25.

สมเจต ใจภักดี.(2530). การศึกษาวิธีการหมักมันสำปะหลัง และการนำมันสำปะหลังหมักมาใช้ในอาหารไก่กระทงและนกกา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สายชิม แสงโชติ, ทิพา บุณยะวิโรจ และ นวลฉวี กาญจนพิบูลย์. (2536). คุณค่าทางโภชนะของยอดอ้อยหมักผสมใบกระถินในอัตราต่างๆ กัน. รายงานการวิจัยประจำปี 2535. กองอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สายพิน มณีพันธ์, ศรัน วรรธนัจฉริยา, สมคิด ทักษิณาวิสุทธิ์, วารุณี วารัญญานนท์, บัณฑินี สูตรสุคนธ์ และ สุชาดา วิ.แลงเลย์. (2540). โครงการศึกษาและพัฒนาระบบข้อมูลถั่วเหลืองและพืชน้ำมันอื่น กรณีศึกษาวิจัยอุสาหกรรมถั่วเหลือง. รายงานผลการศึกษา. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สายัณห์ ทัดศรี. (2522). หลักการทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์. โรงพิมพ์อักษรสยาม. กรุงเทพมหานคร. 455 หน้า.

สายัณห์ ทัดศรี. (2540). พืชอาหารสัตว์เขตร้อน การผลิตและการจัดการ. ภาควิชาพืชไร่นา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายัณห์ ทัดศรี. (2542). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไซเลจ. ใน สุนีย์ นิธิสิรประเสริฐ (บรรณาธิการ). เทคนิคการทำต้นข้าวโพดหมักโดยใช้สารเร่งทางชีวภาพ. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สาโรช ค้าเจริญ. (2542). อาหารและการให้อาหารสัตว์เลี้ยง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เสาวนิต พลันสังเกตุ. (2520). คุณค่าทางอาหารและการย่อยได้ของผักตบชวา (Eichhornia spp.) หมักทั้งที่มีและไม่มีสารเสริม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชสันต์ สุทธิผลไพบูลย์. (2540). การใช้มันเส้นเลี้ยงสัตว์. วารสารเกษตรก้าวหน้า. 12: 53-64.

สุรชัย โค้วสุวรรณ, ฉลอง วชิราภากร และ เมธา วรรณพัฒน์. (2542). ผลของระดับการทดแทนอาหารข้นด้วยกากเบียร์แห้งต่อการให้ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมในโคนม. รายงานการประชุมสัมนาวิชาการ เกษตรภาคเหนือ ครั้งที่ 2 สาขาสัตวบาล สัตวศาสตร์ สัตวแพทย์ ณ สถาบันวิจัยสังคม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

/สุรพงษ์ เจริญรัก. (2525). อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 7 มันสำปะหลัง. งานทะเบียนและประมวลสถิติ. กองแผนงานและวิชาการ. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุรเดช พลเสน, พรชัย ล้อวิลัย, ยงยศ ไทรงาม และบุญฤา วิไลพล. (2540). การศึกษาผลของอายุของหญ้าที่มีต่อการทำหญ้าหมัก. รายงานการวิจัย. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2528). กรรมวิธีการผลิตน้ำตาล. ฝ่ายพัฒนาเทคโนโลยีน้ำตาล กองวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีน้ำตาล สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม: กรุงเทพมหา นคร.

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. (2541). เอกสารโครงการศึกษาวิจัยการผลิตน้ำตาล.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า101-131.

ศรัณยา วิทยานุภาพยืนยง, จิตราภรณ์ ธวัชพันธุ์ และ อิสระ กรีชาพล. (2536). การศึกษาคุณค่าอาหารและอนุกรมวิธานของหญ้าพืชอาหารสัตว์บางชนิด. รายงานการวิจัยประจำปี 2535. กองอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เอกสิทธิ์ สมคุณา, โชค มิเกล็ด และ เทอดชัย เวียรศิลป์. (2541). การใช้เทคนิคถุงไนล่อนเพื่อประเมินค่าการสลายตัวของอาหารหยาบและอาหารข้น ในกระเพาะหมักของโคนม. ผลงานวิจัย. การหาความต้องการโภชนะของโคนมไทย. 1:282-290.

/โอภาส พิมพา, กฤตพล สมมาตย์ และ เมธา วรรณพัฒน์. (2542). การนำใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. รายงานการวิจัย. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์.มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

AFRC. (1992). Energy and protein requirement of ruminants. AFRC Technical Committee on Response to Nutrients. Centre for Agriculture Bioscience International.

Agricultural Research Council. (1980). The Nutrient Requirement of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. (p.351). The Gresham Press, Surrey.

Agricultural Research Council. (1984). The Nutrient Requirement of Ruminant Livestock. (Supplement). Commonwealth Agricultural Bureaux. The Gresham Press, Surrey.

Allen, S. and Miller, E.L. (1976). Determination of nitrogen requirements for microbial growth from the effect of urea supplementation of a low N diet on abomasal N flow and N recycling in wethers and lambs. British Journal of Nutrition. 36:353-368.

Association of Official Analytical Chemists. (1990). Official Method of Analysis. Washington D. C. p. 1298.

Barker, R. A., Mowat, D. N. Stone, J. B., Stevenson, K. R. and Freeman, M. G. (1973). Formic acid or formic acid-formalin as a silage additive. Canadian Journal of Animal Science. 53: 465-470.

Blaxter, K.L. and Wainman, F.W. (1961). Environmental temperature and the energy metabolism and heat emission of steers. Journal of Agricultural Science, Cambridge. 56:81-90.

Bolsen, K. Ashbell, G. and Wilkinson, J. M. (1995). Silage additive. In Biotechnology in animal feeds and animal feeding. By Wallee, R. J. and Chesson, A. Weinheim:VCH, Verlagsgesellchaft mbH.

Bolsen, K., Ilg, H., Axe, D. and Smith, R. (1999a). Urea and limestone additives to forage sorghum silage[On-line]. Available: http://oznet.ksu.edu/pr_forage/silg.htm.

Bolsen, K., Laytimi, A., Nuzback, L. and Hart, R. (1999b). Effect of environmental temperature and inoculants on the fermentation of alfalfa and forage sorghum silage [On-line]. Available: http://oznet.ksu.edu/pr_forage/silg.htm.

Boniface, A.M., Marray, R.M. and Hogan, J.P. (1986). Optimum level of ammonia in the rumen liquor of cattle fed tropical pasture hay. Proceedings of the Australian Society of Animal Production. 16:151-154.

Boon Rawd Brewery Company Limited. (2000). Products and ingredients [On-line]. Available: http://WWW.boonrawd.co.th/thai/products_ingredients.htm.

Bothast, R. J., Black, L. T., Wilson, L. L. and Hatfield, E. E. (1978). Methylene-bis-propionate preservation of high moisture corn. Journal of Animal Science. 46: 484-489.

Breirem, K. and Ulvesli, O. (1960). Ensiling methods. Herbage Abstracts. Quoted in M. K. Woolford. (1984). The silage fermentation. New York Basel. Marcel Dekker.

Britt, D. G., Huber, J. T. and Rogers, A. L. (1975). Fungal growth and acid pro duction during fermentation and refermentation of organic acid treated corn silages. Journal of Dairy Science. 58: 532-539.

Cabello, A. B. (1994). Sugar cane by-products for animal feeding. Research and development Results at the Cuban Research Institute of Sugar Cane By-products for Animal Feeding. International Society of Sugar Cane Technologists.

Canale, A., Valente, M. E. and Ciotti, A. (1984). Determination of volatile carboxylic acid (C1-C5i) and lactic acid extracts of silage by high performance liquid chromatography. Journal of the Science of food and Agricultural. 35: 1178-1182.

Carpintero, M. C., Holding, A. J. and McDonald, P. (1969). Fermentation studies on Lucerne. Journal of the Science of food and Agricultural. 20: 676-681.

Catchpoole, V. R. (1962). The ensilage of sorghum at range of crop maturities. Aust. Journal Exp. Agric. Anim. Husb. 2: 101-105.

Chauhan, T. R. and Kakkar, V. K. (1981). Note on the feeding value of sugarcane-top silage. Indian Journal of Animal Science. 51 (2): 221-222.

Claypool, D. W., Pangborn, M. C. and Adams, H. P. (1980). Effect of dietary protein on high-producing dairy cows in early lactation. Journal of Dairy Science. 63: 833.

Colditz, P.J. and Kellaway, R.C. (1972). The effect of diet and heat stress on feed intake, growth and nitrogen metabolism in Friesian, F1 Brahman x Friesian and Brahman heifers. Australian Journal of Agricultural Research. 23:717-725.

Dash, S. K. and Voelker, H. H. (1971). Effects of dried whey on alfalfa-brome haylage preservation and feeding value. Journal of Dairy Science. 54: 804-805.

Davies, D. R., Merry, R. J., Williams, Bakewell, E. L., Leemans, D. K., and Tweed, J. K. S. (1998). Proteolysis during ensilage of forages varying in soluble sugar content. J. Dairy Sci. 81: 444-453.

Dhiman, T. R., Klrinmans, J., Tessmann, N. J., Radloff, H. D. and Satter, L. D. (1995). Digestion and energy balance in lactating dairy cows fed varying ratios of alfalfa silage and grain. Journal of Dairy Science. 78: 330.

Doyle, P. T., Devedra, C., and Pearce, G.R. (1986). Rice straw as a feed for ruminants. International Development Programe of Australian Universities and Colleges. Canberra. Australia.

Egan, A. R. and Moir, R. J. (1965). Nutritional status and intake regulation in sheep. I. Effects of duodenally infused single dose of casein, urea and propionate upon voluntary intake of low protein roughage by sheep. Australian Journal of Agricultural Research. 16: 437-449.

Ely, L. O., Sudweeks, E. M. and Moon, N. J. (1981). Inoculation with *Lactobacillus plantarum* of alfalfa, corn, sorghum and wheat silages. Journal of Dairy Science. 64: 2378-2387.

Esmail, S. H. M. (1999). Silage additives improve animal performance. Feed Mix. 7 (5): 31-33.

Ewing, W. R., (1951). Poultry nutrition. 4th Edt". W Ray Ewing Publisher South Pasadena: California.

Forbes, J. M. (1986). The voluntary food intake of farm animal. Butterworths. London.

Frame, J. (1994). Improve grassland management. Ferming Press Books. United kingdom.

Gaynor, P. J., Waldo, D. R., Capuca, A. V., Erdman, R. A. and Douglass, L. W. (1995). Effects of prepubertal growth rate and diet on lipid metabolism in lactating Holstein cows. Journal of Dairy Science. 78: 1534-1543.

Goering, H. K. and Van Soest P. J. (1970). Forage Fibre Analysis. A RS./USDA Agric. Handbook, Washington.

Goering, H. K., Waldo, D. R. Tyrrell, H. F. and Thomson, D. J. (1991). Composition of formaldehyde and formic acid treated alfalfa and orchardgrass silage harvested at two maturities and their effects on intake and growth by Holstein heifers. Journal of Animal Science. 69: 4634-4643.

Gordon, C. H., Derbyshire, J. C. and Humphrey, J. L. (1965). Inhibition of aerobic spoilage in low moisture silage. Journal of Dairy Science. 48: 811.

Graham, N.M., Wainman, F.W. , Blaxter, K.L. and Armstrong, D.G. (1959). Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep. I. Energy metabolism in closely clipped sheep. Journal of Agricultural Science, Cambridge. 52:13-24.

Grant, R. J., Colenbrander, V. F. and Mertens, D. R. (1990). Milk fat depression in dairy cows: Role of silage particle size. Journal of Dairy Science. 73: 1834-1842.

Hernandez-Urdaneta, A., Coppock, C. E., McDowell, R. E., Gianola, D. and Smith, N. E. (1976). Changes in forage: concentrate ratio of complete feeds for dairy cows. Journal of Dairy Science. 59: 695.

Hinds, M., Brethour, J., Bolsen, K. and Ilg, H. (1999). Inoculant and urea-molasses additives for forage sorghum silage [On-line]. Available: http://oznet.ksu.edu/pr_forage/silg.htm.

Holder, J. M., and McBarron, E. J. (1964). The production on of Kikuya (*Pennisatum clandestinum*) Silage and its palatability to dairy stock Pro. 5th Conf. Aust. Soc. Anim. Prod: Sydney. 1964.

Holmes, C.W. and Wilson, G.F. (1984). Milk Production from Pastures. Butterworths, Wellington, New Zealand.

Huber, J. T., Foldager, J. and Smith, N, E. (1979). Nitrogen distribution in corn silage treated with varying levels of ammonia. Journal of Animal Science. 48:1509-1515.

Hume, I.D., Moir, R.J. and Somers, M. (1970). Synthesis of microbial protein in the rumen. I. Influence of the level of nitrogen intake. Australian Journal of Agricultural Research. 21:283-296.

Ibrahim, M. N. M., and Pearce, G. R. (1983). Effects of chemical pre-treatments on the composition and in vitro digestibility of crop by-products. Agricultural Wastes. 5: 135-139.

Jackson, M. G. (1977). Review article: The alkali treatment of straws. Animal Feed Science and Technology. 2: 105-130.

Keady, T. W. J. (1998). The production of high feed value grass silage and the choice of compound feed type to maximise animal performance. In Biotechnology in the feed industry. Proceedings of Altech's 14th annual symposium. By Lyons, T. P. and Jacques, K. A.. Nottingham, UK: Nottingham University press.

Keady, T. W. J., and Steen, R. W. J., (1994). Effects of treating law dry matter grass with a bacterial inoculant on the intake and performance of beef cattle and studies on its mode of action. Grass and Forage Sci. 44: 438-446.

Keady, T. W. J., and Steen, R. W. J., (1995). The effects of treating low dry matter, Low digestibility grass with a bacterial inoculant on the intake and performance of beef cattle and studies on its mode of action. Grass and Forage Sci. 50: 217-225.

Krebs, G. and Leng, R.A. (1984). The effect of supplementation with molasses/urea blocks on ruminal digestion. Proceedungs of the Australian Society of Animal Production. 15:704. (Abstract).

Kung, L. JR., Robinson, J. R., Ranjit, N. K., Chen, J. H., Golt, C. M. and Pesek, J. D. (1998). The effects of preservatives based on propionic acid on the fermentation and aerobic stability of corn silage and total mixed ration. Journal of Dairy Science. 81: 1322-1330.

Langston, C. W., Conner, R M., Gordon, C. H. and Moore, L. A. (1961). The effect of zinc bacitracin on silage micro-organisms. Journal of Dairy Science. 44: 1204.

Leng, R. A. (1991). Feeding strategies for improving milk production of dairy animals managed by dairy cows in the tropis. A. Speedy and R. Sansoucy. FAO, Rome. 82- 104.

Levitt, M. S., and O'Bryan, M. S., (1965). Studies on grass silage form predominantly *Paspalum dilatatum* pastures in southeastern Queensland. 3 Influence of fertilization with nitrogen

and method of harvesting on silage with and without the additive of molasses. Qd. J. Agric. Anim. Sci. 22: 109-123.

Lindgren, S., Pettersson, K. and Kaspersson, A. (1985). Microbial dynamics during aerobic deterioration of silages. Journal of the Science of food and Agricultural. 36: 765.

Lippke, H. (1975). Digestibility and volatile fatty acids in steers and wethers at 21 and 32°C ambient temperature. Journal of Dairy Sci. 58:1860-1864.

Lopez, J., Jorgensen, N. A., Larsen, H. J. and Niedermeier, R. P. (1970). Effect of nitrogen source, stage of maturity, and fermentation time on pH and organic acid production in corn silage. Journal of Dairy Science. 53: 1225-1232.

MacLeod, G. K., Grieve, D. G. and McMillan, I. (1980). Forage:concentrate ratios for first lactation dairy cows. Journal of Dairy Science. 63(Suppl. 1): 126. (Abstr.)

MacLeod, G. K., Grieve, D. G. and McMillan, I. (1983). Performance of first lactation dairy cows fed complete rations of several ratios of forage to concentrate. Journal of Dairy Science. 66: 1668-1674.

MacLeod, G. K. and Wood, A. S. (1972). Influence of amount and degree of saturation of dietary fat on yield and quality of milk. Journal of Animal Science. 55: 439.

McDonald, P.(1981). The Biochemistry of Silage. John Wiley and Sons, Ltd. England.

McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D. and Mogran, C. A. (1995). Animal nutrition. Singapore:Longman Scientific & Technical.

McDonald, P., Henderson, A. R. and Heron, S. J. E. (1991). The Biochemistry of Silage. Marlow Chalcombe Publications. London.

McDowell, R.E., Moody, E.G., Van Soest, P.J., Lehmann, R.P. and Ford, G.L. (1969). Effect of heat stress on energy and water utilisation of lactating cows. Journal of Dairy Sci. 52:188-194.

Mehrez, A.Z., Ørskov, E. R. and McDonald, I. (1977). Rate of ruminal fermentation in relation to ammonia concentration. British Journal of Nutr. 38:437-443.

Ministry of Agriculture Fisheries and Forestry. (1975). Energy allowances and feeding systems for ruminant. Technical Bulletin No. 33. London. HMSO.

Ministry of Agriculture Fisheries and Forestry. (1984). Energy allowances and feeding systems for ruminant. Technical Bulletin No. 33. London. HMSO.

Milne, J. A., Maxwell, T. J. and Souter, W. (1981). Effect of supplementary feeding and herbage mass on the intake and performance of grazing ewes in early lactation. Animal Production. 32: 185-195.

Miller, W. J. and Dalton, H. L. (1961). Effect of the addition of citrolas to high moisture forage for silage on nutrient losses and animal response. Journal of Dairy Science. 44: 1915-1920.

National Research Council. (1988). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th Ed. National Academic Press. Washington D. C. 157 p.

Oldham, J. D. (1984). Protein-energy interrelationships in dairy cows. Journal of Dairy Science. 67: 1090-1114.

Ørskov, E. R. and McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science. 92: 499-503.

Ørskov, E. R., Deb Hovell, F. N., and Mould F. (1980). The use nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Trop. Anim. Prod. 5: 195-213.

Paengkoum, P., Liang, J. B., Basery, M. and Jelan, Z. A. (2001). Ruminal and intestinal digestibility of tropical protein foliages in cattle. KKU Annual Agricultural Seminar for Year 2001.

Pelhate, J. (1977). Protection of silage feed against fungal spoilage. Annales de Technologie Agricole. Quoted in M. K. Woolford. (1984). The silage fermentation. New York Basel. Marcel Dekker.

Perdok, H.B., Leng, R.A., Bird, S.H., Habib, G. and Van Houtert, M. (1988). Improving livestock production from straw-based diets. pp.81-91. In: Increasing Small Ruminant Productivity in Semi-arid Areas. Edited by E.F. Thomson and F.S. Thomson. Published by ICARDA, Syria.

Polan, C. E., Stieve, D. E. and Grrett, J. L. (1998). Protein preservation and ruminal degradation of ensiled forage treated with heat, formic acid, ammonia or microbial inoculants. Journal of Dairy Science. 81: 765-776.

Porter, R. M. and Conrad, H, R. (1975). Comparative nutritive value of wet and dried brewers grains for dairy cattle. Journal of Dairy Science. 58(Suppl. 1): 747. (Abstr.)

Prigge, E. and Owens, F. N. (1976). Rumensin on silage fermentation. Journal of Animal Science. 42: 258-259.

Rakes, A. H. (1969). Complete rations for dairy cattle. Journal of Dairy Science. 52: 870-875.

Rangnekar, D. V. (1988). Availability and intensive utilization of sugar cane by-product. Bhartiyaa Agro Industries Foundation. India. pp. 76-93.

Ranjit, N. K., and Kung, JR., (2000). The effect of *lactobacillus buchneri, Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. J. Dairy Sci. 44(3): 438-446.

Reddy, R. R. and Prasad, D. A. (1982). Studies on improving nutritive value of sugarcane tops with urea (1.5%) or dried poultry waste (30 or 40% on DMB) by ensiling techniques and development of complete rations for growing Nellore lambs. Indian Journal of Animal Science. 52 (7): 524-529.

Satter, L.D. and Slyter, L.L. (1974). Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production *in vitro*. British Journal Nutr. 32:199-208.

Schmutz, W. G., Brown, L. D. and Thomas. J. W. (1969). Nutritive value of corn silages treated with chemical additives for lactation. Journal of Dairy Science. 52:1408-1412.

Sebastian, S., Phillip, L. E., Fellner, V. and Idziak, E. S. (1996). Comparative assessment of bacterial inoculation and propionic acid treatment on aerobic stability and microbial populations of ensilage high – moisture ear corn. Journal of Animal Science. 74: 447-456.

Sheperd, A. C. and Kung, L, JR. (1996). An enzyme additive for corn silage : effects on silage composition and animal performance. Journal of Dairy Science. 79:1760-1766.

Sheperd, A. C., Maslanka, M., Quinn, D. and Kung, L, JR. (1995). Additives containing bacteria and emzymes for alfalfa silage. Journal of Dairy Science. 78: 565-572

Shirley, J. E., Brown, L. D., Toman, F. R. and Stroube, W. H. (1972). Influence of varying amounts of urea on the fermentation pattern and nutritive value of corn silage. Journal of Dairy Science. 55:805-810.

Smith, G. H. and Dodd, F.H. (1966). Effect of milking throughout pregnancy on milk yield in the succeeding lactation. Journal of Dairy Science. 46: 204.

Song, M. K. and Kennelly, J. J. (1989). Effect of ammoniated barley silage on ruminal fermentation, nitrogen supply to the small intestine, ruminal and whole tract digestion, and milk production of Holstein cows. Journal of Dairy Science. 72: 2981-2990.

Statistical Analysis System. (1985) SAS Users' Guide: Statistics. NC: SAS Institute.

Steel, R. G. D., and Torries, (1980). Principles and Procedures of Statistics: A Biometric Approach (2nd Ed). McGrow Hill: New York.

Stokes, M. R. and Chen, J. (1994). Effects of an enzymes – inoculant mixture on the course of fermentation of corn silage. Journal of Dairy Science. 77: 3401-3402.

Suksombat, W. (1996). The effect of feeding 4 different roughage-mixed on dairy cow performances In Late lactation. Suranaree Journal of Technology. 3(3): 139-145.

Suksombat, W. (1998). Effect of feeding fresh forage and 3 roughage-mixed on dairy cow performances in early lactation during rainy season. Suranaree Journal of Technology. 3(5):80-87.

Suksombat, W. (1999a). Effect of feeding fresh forage and 3 roughage-mixed rations on dairy cow performances in early lactation during dry season. Suranaree Journal of Technology. 5:150-157.

Suksombat, W. (1999b). Performances of lactating dairy cows in mid lactation fed three different total. In Proceeding of Quality control in animal production: Nutrition, management, health and product. Chiang Mai University.

Suksombat, W., Jullanand, K., Utaida, N. and Piasangka, S. (1999). Various chemical treatments of bagasse. In Proceeding of Quality control in animal production: Nutrition, management, health and product. Chiang Mai University.

Suksombat, W. (2000). Effect of feeding fresh forage and three pelleted roughage-mixed rations on dairy cow performances in mid lactation during the dry season. Suranaree Journal of Technology. 6:130-136.

Sunstol, F. (1984). Ammonia treatment of straw: methods for treatment and feeding experience in Norway. Animal Feed Science and Technology. 10: 173-187.

Tamminga, S. (1979). Protein degradation in the forestomach of ruminants. Journal of Animal Science. 49: 1615-1630.

Tessmann, N. J., Radloff, H. D., Kleinmans, J., Dhiman, T. R. and Satter, L. D. (1991). Milk production response to dietary forage:grain ratio. Journal of Dairy Science. 74:2696.

Tyrrell, H. F. and Reid, J. T. (1965). Prediction of the energy value of cow's milk. Journal of Dairy Science. 48: 1215-1223.

Vanderzant, C., and Splittstoesser, D. F. (1992). Compendium of methods for the microbiological examination of food 3rd edition. American Public Health Association (APHA), Washington, D.C.

Wanapat, M., Sunstol, F., and Garmo, T. H. (1985). Comparison of different alkali treatments applied on barley straw. In: The uitilisation of fibrous agricultural residues as animal feeds. In P. T. Doyle (ed.). Proceedings of the 4th annual workshop of the Australian-Asia fibrous agricultural residues research network (Pp. 103-109). Khonkean. Thailand. (Pp. 103-109).

Webster, J. (1993). Understanding the dairy cow. Blackwell Scientific publications. London.

Weiss, W. P. and Shockey, W. L. (1990). Effect of alfalfa or orchard grass silage fed at three forage :concentrate rations on cow performance. Journal of Dairy Science. 73 (Suppl. 1): 132. (Abstr.)

Weiss, W. P. and Shockey, W. L. (1991). Value of orchard grass and alfalfa silage fed with varying amounts of concentrates to dairy cows. Journal of Dairy Science. 74:1933.

Whittenbury, R. (1961). An investigation of the lactic acid bacteria. Ph.D. Thesis. University of Edinburgh. Quoted in M. K. Woolford. (1984). The silage fermentation. New York Basel. Marcel Dekker.

Wiseman, J. (1987). Feeding of non-ruminant livestock. Butterworth. London.

Woolford, M. K. (1975a). Microbiological screening of food preservatives, cold sterilants and specific antimicrobial agents as potential silage additives. Journal of the Science of Food and Agricultural. 26: 229-237.

Woolford, M. K. (1975b). Microbiological screening of the straight chain fatty acid (C1-C12) as potential silage additives. Journal of the Science of food and Agricultural. 26: 219-228.

Woolford, M. K. (1978). Antimicrobial effects of mineral acid, organic acid, salts and sterilizing agents in relation to their potential as silage additives. Journal of the British Grassland Society. Quoted in M. K. Woolford. (1984). The silage fermentation. New York Basel. Marcel Dekker.

Woolford, M. K. (1984). The silage fermentation. New York Basel. Marcel Dekker.

Woolford, J. A., Jorgenson, N. A. and Barrington, G. P. (1986). Impact of dietary fiber and physical form on performance of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 69: 1035-1047.

Woolford, M. K., Wilkins, R. J. and Wall, C. (1975). A note on the laboratory evaluation of 2-bromo-2 nitropropana –1, 3 diol as a potential silage additive. Journal of the Science of food and Agricultural. 26: 1699-1702.

Yimin, C., Benno, Y., Ogawa, M., and Kumal, S. (1999). Effect of applying lactic acid bacteria isolated from forage crop on fermentation characteristics and aerobic deterioration of silage. J. Dairy Sci. 82: 520-526.

Yokochi, K. (1977). Rice processing for the production of rice bran oil and characteristics and use of the oil and deoil bran. In proceeding of rice by-products utilization. International conference. Valencia, Spain. Vol.III. Rice bran utilization, edited by S. Barber and E. Tortosa. Valencia; Institute for Agriculture Chemistry and Food Technology.