การศึกษาการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก สำหรับเลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้งในประเทศไทย

นาย พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-533-019-1

Studies of Ensilage Complete Feed Production from Agricultural By-product for Dairy Cattle during Dry Season in Thailand

Mr. PIPAT LOUNGLAWAN

The Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Animal Production Technology
Suranaree University of Technology
Academic Year 2001

ISBN 974-533-019-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสำหรับเลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้งในประเทศไทย

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…………………………………
(รศ. ดร. พงษ์ชาญ ณ ลำปาง)
ประธานกรรมการ

………………………………….
(ผศ. ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ)
อาจารย์ที่ปรึกษา

…………………………………..
(รศ. ดร. กนก ผลารักษ์)
กรรมการ

……………………………………
(ผศ. น.สพ. ดร. บัญชร ลิขิตเดชาโรจน์)
กรรมการ

…………………………………..
(รศ. ดร. ทวิช จิตรสมบูรณ์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

……………………………………
(รศ. ดร. กนก ผลารักษ์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ : การศึกษาการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสำหรับเลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้งในประเทศไทย
(STUDIES OF ENSILAGE COMPLETE FEED PRODUCTION FROM AGRICULTURAL BY - PRODUCTS FOR DAIRY CATTLE DURING DRY SEASON IN THAILAND)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 129 หน้า. ISBN 974-533-019-1

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสำหรับใช้เป็นอาหารโคนม การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยการทดลอง 4 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายวัตถุแห้งในกระเพาะหมักของวัตถุดิบผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิด ที่จะนำมาประกอบสูตรอาหาร พบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับมีรายงานไว้โดยนักวิจัยท่านอื่นๆ การทดลองที่ 2 ศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก โดยจัดแผนการทดลองแบบ 5*3 Factorial arrangement in CRD โดยมีปัจจัย A เป็นสูตรอาหาร (5 สูตร) ปัจจัย B เป็นระยะเวลาการเก็บรักษา (14, 21 และ 28 วัน) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การย่อยสลายวัตถุแห้งในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามสูตรอาหารที่มีมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบเพิ่มขึ้น การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก และระดับความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้นตามสูตรอาหารที่มียูเรียเป็นส่วนประกอบเพิ่มขึ้น เมื่อนำปริมาณกรดไขมันระเหยได้มาคำนวณคะแนนตัดสินคุณภาพอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก พบว่ามีคะแนนอยู่ในระดับเดียวกัน จากงานวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่า อาหารสูตรที่ 5 ที่ระยะเวลาการหมัก 14 วัน ดีที่สุด เพราะการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีนในกระเพาะหมักดีที่สุด การทดลองที่ 3 ศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก (6 เดือน) โดยจัดแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยคัดเลือกสูตรอาหารจากการทดลองที่ 2 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ยกเว้น NDF ADF เพิ่มขึ้น ($P<0.05$, 0.01 ตามลำดับ) เมื่อคำนวณคะแนนตัดสินคุณภาพอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ไม่มีความแตกต่าง ($P>0.05$) ดังนั้นจากการวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่า อาหารผสมสำเร็จรูปหมักสามารถเก็บรักษาได้ไม่ต่ำกว่า 6 เดือน และการทดลองที่ 4 การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม โดยใช้โคนมลูกผสมโฮสไตส์ฟรีเซียน จำนวน 16 ตัว จัดการทดลองแบบ Group Comparison โดยจัดเป็น 2 กลุ่ม แบบ Stratified Random Balance Group ตามปริมาณน้ำนม ระยะการให้นม และน้ำหนักตัว (ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 14.5 ± 3.6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน วันคลอดเฉลี่ย 73 ± 28 วัน และน้ำหนักตัวก่อนการ

ทดลองเฉลี่ย 420 ± 52 กิโลกรัม) กลุ่มละ 8 ตัว โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปโดยมีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 1 มีการกินได้วัตถุแห้ง และพลังงานสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 ($P<0.05$, 0.01 ตามลำดับ) ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในโคกลุ่มการทดลองที่ 1 สูงกว่าโคกลุ่มการทดลองที่ 2 ($P<0.01$) จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า อาหารผสมสำเร็จรูปหมักยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากการกินได้ต่ำ มีผลทำให้ผลผลิตนมลดลง ควรมีการศึกษากรรมวิธีในการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก โดยเฉพาะในระดับ Large scale

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนักศึกษา____________________________
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา______________________
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม___________________
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม___________________

PIPAT LOUNGLAWAN : STUDIES OF ENSILAGE COMPLETE FEED PRODUCTION FROM AGRICULTURAL BY - PRODUCTS FOR DAIRY CATTLE DURING DRY SEASON IN THAILAND : ASSIST. PROF. WISITIPORN SUKSOMBAT, Ph.D. 129 PP. ISBN 974-533-019-1

The present thesis aimed to study the ensilage complete feed production from agricultural by-products for dairy cattle in Thailand. This study comprised 4 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.

The second experiment was conducted to investigate the chemical composition and degradability of various ensilage complete feeds with varying ensilage time. The experimental design was 5 x 3 factorial arrangement in CRD, which factor A was level of 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 ensilage complete feeds and times of ensilage. Therefore, it can be concluded, in this experiment, that the 5th ensilage complete feed is more appropriate since its DM and CP degradability were highest.

The third experiment was carried out to determine the quality of the 5th ensilage complete feeds (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 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 ($P>0.05$) difference among times of storage. In conclusion, this experiment showed that the ensilage complete feed can be stored for more then 6 months.

The final experiment was conducted to investigate the effect of ensilage complete feed on performances of dairy cow 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 each group). The first group was fed meal concentrate with grass silage while the second group was fed ensilage complete feed. The cows in the first group consumed more DM and ME than those cows in the second group. Milk yields and milk composition were also higher in group 1 than in group 2. It can be concluded in the present study that the ensilage 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 ensilage complete feed.

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนักศึกษา____________________________
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา______________________
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม___________________
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม___________________

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาแนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งทางด้านวิชาการและด้านการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำในการเขียน การตรวจแก้วิทยานิพนธ์ และสนับสนุนค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ชาญ ณ ลำปาง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. บัญชร ลิขิตเดชาโรจน์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ ตรวจแก้วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. กนก ผลารักษ์ อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ และผู้จัดการฟาร์มมหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์โคนมและสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณโรงงานน้ำตาลราชสีมา อ. แก้งสนามนาง จ. นครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ชานอ้อยจำนวน 10 ตัน ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณบริษัท แดรี่เทรดดิ้ง จำกัด อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์กากเบียร์จำนวน 4.5 ตัน ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ บุคลากรประจำอาคารอาคารเครื่องมือ 2 และ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีมาตลอด และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ ฉ
สารบัญตาราง ฎ

บทที่

1 **บทนำ** 1
  1.1 ความสำคัญของปัญหา 1
  1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
  1.3 สมมติฐานของการวิจัย 2
  1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 3
  1.5 ขอบเขตของการวิจัย 3
  1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3
2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
  2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร 4
    2.1.1 ชานอ้อย 4
    2.1.2 มันสำปะหลัง 6
    2.1.3 กากรำสกัดน้ำมัน 7
    2.1.4 กากเบียร์ 7
    2.1.5 กากถั่วเหลือง 8
    2.1.6 กากน้ำตาล 8
  2.2 การปรับปรุงผลพลอยได้ทางการเกษตรโดยวิธีการหมัก 9
    2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาหารหมัก 9
    2.2.2 จุลินทรีย์ของพืชอาหารหมัก 9
    2.2.3 กระบวนการหมักของอาหารหมัก 10
    2.2.4 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระยะการหมัก 12

สารบัญ (ต่อ)

2.2.5 การสูญเสียโภชนะในช่วงการหมัก 14

2.2.5.1 การสูญเสียในช่วงเก็บเกี่ยว 14

2.2.5.2 การสูญเสียเนื่องจากการหายใจ 14

2.2.5.3 การสูญเสียเนื่องจากการหมัก 14

2.2.5.4 การสูญเสียในส่วนของเหลวที่รั่วไหลออก 14

2.2.6 คุณค่าทางอาหารของอาหารหมัก 14

2.2.6.1 การกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง 15

2.2.6.2 การย่อยได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง 15

2.3 การผลิตอาหารหมักโดยใช้สารเสริม 15

2.3.1 ประเภทของสารเสริมในพืชอาหารหมัก 15

2.3.2 ผลของการใช้สารเสริมในพืชอาหารหมัก 17

2.3.2.1 กลุ่มที่ทำให้เกิดความเป็นกรดโดยตรงต่อพืชอาหารหมัก 17

2.3.2.2 กลุ่มที่สามารถยับยั้งกระบวนการหมัก 19

2.3.2.3 กลุ่มที่สามารถกระตุ้นกระบวนการหมัก 22

2.3.2.4 กลุ่มที่ยับยั้งจำเพาะจุลินทรีย์ 26

2.3.2.5 กลุ่มที่เพิ่มคุณค่าทางโภชนะในพืชอาหารหมัก 29

2.4 อาหารผสมสำเร็จรูป 30

2.4.1 แหล่งของอาหารหยาบและอาหารข้น 31

2.4.2 สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น 31

2.4.3 ขนาดของเยื่อใยในอาหารผสมสำเร็จรูป 32

2.4.4 ผลของอาหารผสมสำเร็จรูปต่อโคนม 32

2.5 การควบคุมการกินอาหารได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง 33

2.5.1 ระบบประสาทที่ควบคุมการกินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง 33

2.5.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง 33

2.5.2.1 Metabolic factor 33

2.5.2.2 Physical facter 35

2.6 ความต้องการพลังงานและโปรตีน 37

สารบัญ (ต่อ)

2.6.1 คำจำกัดความของหน่วยพลังงาน 37
2.6.1.1 Calorie System 37
2.6.1.2 ระบบพลังงาน 37
2.6.1.3 พลังงานของโภชนะย่อยได้ทั้งหมด 38
2.6.2 การแบ่งส่วนพลังงานในอาหาร 38
2.6.2.1 พลังงานรวม 38
2.6.2.2 พลังงานที่ย่อยได้ 39
2.6.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์ 39
2.6.2.4 พลังงานสุทธิ 39
2.7 ความต้องการพลังงานและโปรตีน 40
2.7.1 ความต้องการพลังงาน 40
2.7.2 ความต้องการโปรตีน 42
2.7.2.1 ความต้องการโปรตีนสุทธิ 42
2.7.2.2 ความต้องการ RDP 43
2.7.2.3 ความต้องการ UDP 44
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีในน้ำนม 44
2.8.1 ปัจจัยทางสรีรวิทยา 45
2.8.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม 45
3 **วิธีการดำเนินวิจัย** 47
3.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร 47
3.2 การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 47
3.3 การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 47
3.4 การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม 48
3.5 สถานที่ทำการทดลอง 48
3.6 ระยะเวลาทำการทดลอง 48
4 **การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร** 49
4.1 อุปกรณ์และวิธีการ 49
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล 51

สารบัญ (ต่อ)

4.3 สถานที่ทำการทดลอง 51

4.4 ระยะเวลาทำการทดลอง 51

4.5 ผลการทดลอง 51

  4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร 51

  4.5.2 การย่อยสลายวัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตร 52

4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง 53

4.7 สรุปผลการทดลอง 55

5 การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 56

5.1 อุปกรณ์และวิธีการ 56

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล 58

5.3 สถานที่ทำการทดลอง 58

5.4 ระยะเวลาทำการทดลอง 58

5.5 ผลการทดลอง 59

  5.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 59

  5.5.2 การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 60

  5.5.3 การย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 60

  5.5.4 ปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 61

  5.5.5 การคัดเลือกสูตรอาหาร 61

5.6 วิจารณ์ผลการทดลอง 62

5.7 สรุปผลการทดลอง 63

6 การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 69

6.1 อุปกรณ์และวิธีการ 69

6.2 การวิเคราะห์ข้อมูล 70

6.3 สถานที่ทำการทดลอง 71

6.4 ระยะเวลาทำการทดลอง 71

6.5 ผลการทดลอง 71

  6.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักตามระยะเวลาการเก็บรักษา 71

สารบัญ (ต่อ)

6.5.2 ระดับของความเป็นกรด-ด่างของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักตามระยะเวลาการเก็บรักษา 72
6.5.3 ปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักตามระยะเวลาการเก็บรักษา 72
6.6 วิจารณ์ผลการทดลอง 73
6.7 สรุปผลการทดลอง 75
7 การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนม ในโคนมระยะต้นของการให้นม 76
7.1 อุปกรณ์และวิธีการ 76
7.2 การวิเคราะห์ข้อมูล 80
7.3 สถานที่ทำการทดลอง 80
7.4 ระยะเวลาทำการทดลอง 80
7.5 ผลการทดลอง 80
7.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป 80
7.5.2 การกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป 81
7.5.3 การย่อยได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป 82
7.5.4 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม 83
7.5.5 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม 84
7.5.6 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง 85
7.5.7 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป 86
7.6 วิจารณ์ผลการทดลอง 88
7.7 สรุปผลการทดลอง 92
8 สรุปผลการวิจัย 93
รายการอ้างอิง 96
ภาคผนวก 107
ภาคผนวก ก 107
ภาคผนวก ข 114
ประวัติผู้เขียน 129

สารบัญตาราง

ตารางที่

2.1 แสดงชนิดของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกที่พบในอาหารหมัก 10

2.2 แสดงเส้นทางของกระบวนการหมักในการทำพืชอาหารสัตว์ 13

2.3 แสดงการจำแนกชนิดของสารเสริมในอาหารหมัก 16

2.4 แสดงผลของกากน้ำตาลต่อคุณภาพกระถินหมัก 23

4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร 52

4.2 แสดงการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตรในกระเพาะหมัก 52

5.1 แสดงสูตรอาหารที่ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการหมัก 57

5.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 65

5.3 แสดงการย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักในกระเพาะหมัก 66

5.4 แสดงการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักในกระเพาะหมัก 67

5.5 แสดงปริมาณ VFAs ในอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 68

6.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา 71

6.2 แสดงปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา 73

7.1 แสดงสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ในการเลี้ยงโคนม 77

7.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป 81

7.3 แสดงผลการกินได้ของอาหารผสมสำเร็จรูป 82

7.4 แสดงการย่อยได้ *in vivo* โดยวิธี Total collection method ของอาหารผสมสำเร็จรูป 83

7.5 แสดงปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม 84

7.6 แสดงผลเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม 85

7.7 แสดงผลน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง 85

7.8 แสดงการได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (UDP) ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป 86

สารบัญตารางต่อ

7.9 แสดงการจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ 87

7.10 แสดงความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (UDP)(กรัม/ตัว/วัน) ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป 88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมในเชิงการค้าได้เริ่มอย่างจริงจัง เมื่อประมาณ 30 กว่าปี จำนวนประชากรของโคนม เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกทั้งรัฐบาลยังได้มีการส่งเสริมให้การเลี้ยงโคนมเป็นโครงการที่ควรได้รับการพัฒนาตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 (2545 – 2549) ซึ่งได้มีการพิจารณาการเพิ่มจำนวนโคนมไว้ด้วย การเพิ่มจำนวนประชากรโคนมอย่างรวดเร็วนี้ ทำให้ต้องมีความต้องการพื้นที่ในการปลูกสร้างทุ่งหญ้ามากขึ้น ขณะเดียวกันในภาคธุรกิจอื่นๆ ก็มีความต้องการพื้นที่เช่นกัน จึงทำให้เกิดการแย่งใช้ประโยชน์จากพื้นที่ดิน ซึ่งเป็นสาเหตุให้การผลิตอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงสัตว์ไม่เพียงพอต่อการบริโภคสำหรับโคนมที่มีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นทุกวัน อีกทั้งปัญหาการขาดการชลประทานสำหรับปลูกสร้างทุ่งหญ้าให้เพียงพอกับความต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง (ธันวาคม – พฤษภาคม) การขาดแคลนอาหารหยาบสำหรับใช้เลี้ยงโคนมจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาใช้เป็นอาหารสำหรับใช้เลี้ยงโคนมจึงได้รับความสนใจมากเป็นอย่างยิ่ง ผลพลอยได้ทางการเกษตรส่วนใหญ่ที่เป็นแหล่งอาหารหยาบจะมีองค์ประกอบทางโภชนะและการใช้ประโยชน์ของสัตว์ค่อนข้างต่ำ การที่จะนำมาใช้ควรที่จะมีการปรับปรุงคุณภาพให้มีโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์สูงขึ้น จึงจะสามารถนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาใช้ทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบสำหรับโคนมในช่วงที่ขาดแคลน

ผลพลอยได้ทางการเกษตรที่เป็นแหล่งอาหารหยาบมีมากมายหลายชนิด เช่น ฟางข้าว ใบมันสำปะหลัง ยอดอ้อย และชานอ้อย เป็นต้น ผลพลอยได้ทางการเกษตรเหล่านี้มีองค์ประกอบทางโภชนะค่อนข้างต่ำ และการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ทางการเกษตรของสัตว์นั้นยังไม่ดีพอ ดังนั้นการที่จะนำมาเป็นอาหารสัตว์จึงต้องทำการปรับปรุงให้มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ให้ดีเสียก่อน เพื่อที่จะทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ทางการเกษตรได้ดีมากขึ้น การปรับปรุงคุณภาพนั้นมีมากมายหลายวิธี แต่ส่วนใหญ่เป็นการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวเป็นหลัก ส่วนการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้อื่นๆ นั้นมีน้อยมาก โดยเฉพาะชานอ้อยซึ่งจะมีรายงานเฉพาะในประเทศที่มีการปลูกอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจหลักเท่านั้น เช่น คิวบา อินเดีย เปอร์โตริโก และ ฟิลิปปินส์ ซึ่งส่วนใหญ่มุ่งเน้นการปรับปรุงคุณภาพเฉพาะทางด้านทางเคมี กายภาพ และ ชีวภาพ แต่การปรับปรุงผลพลอยได้ทางการเกษตรด้วยกรรมวิธีการหมักนั้นยังไม่มีการศึกษา ดังนั้นจึงต้องมีการนำผลพลอยได้

ทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ที่มีองค์ประกอบทางโภชนะที่สูงมาร่วมใช้ในการปรับปรุงร่วมด้วย เช่นแหล่งพลังงาน ได้แก่ มันสำปะหลังเส้น กากมันสำปะหลัง กากรำสกัดน้ำมัน กากน้ำตาล และแหล่งโปรตีน ได้แก่ กากเบียร์ กากถั่วเหลือง ซึ่งผลพลอยได้ทางการเกษตรเหล่านี้มีศักยภาพในการนำมาผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักทั้งในด้านมีปริมาณมาก และมีราคาถูก

อย่างไรก็ตามการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาทำเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสำหรับเป็นอาหารโคนมนั้นน่าจะเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ การทำการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมักเพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบทางโภชนะของผลพลอยได้ทางการเกษตร
2. เพื่อทำการคัดเลือกผลพลอยได้ทางการเกษตร ที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสำหรับใช้เลี้ยงโคนม
3. เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรให้มีองค์ประกอบทางโภชนะเหมาะสมสำหรับใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงโคนม
4. เพื่อศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ที่ผลิตจากผลพลอยได้ทางการเกษตร
5. เพื่อศึกษาผลของการให้ผลผลิตน้ำนมของโครีดนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยเปรียบเทียบกับโครีดนมที่ได้รับพืชอาหารสัตว์คุณภาพดีและอาหารข้นสำเร็จรูป
6. เพื่อใช้ผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งของโคนม

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. การนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์ได้
2. อาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานาน (6 เดือน)
3. อาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรสามารถใช้เป็นอาหารเลี้ยงโครีดนมได้ไม่แตกต่างจากพืชอาหารสัตว์และอาหารข้นสำเร็จรูปคุณภาพดี

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Bagasse, Dairy Cattle, Energy and Protein Requirement, Ensilage Complete feed

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรเพื่อใช้ทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้ง

2. การวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาเฉพาะผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพพอที่จะนำมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมักได้ในเชิงพานิชย์

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงองค์ประกอบทางโภชนะของผลพลอยได้ทางการเกษตร

2. สามารถคัดเลือกผลพลอยได้ทางการเกษตร ที่มีคุณค่าทางโภชนะ และศักยภาพในการนำมาผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสำหรับใช้เลี้ยงโคนม

3. ทราบถึงกรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก จากผลพลอยได้ทางการเกษตรให้มีองค์ประกอบทางโภชนะเหมาะสมสำหรับใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงโคนม

4. ทราบถึงระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ที่ผลิตจากผลพลอยได้ทางการเกษตร

5. ทราบถึงปัญหาของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร เพื่อใช้ทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้ง

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ส่วนประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร

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 30 เปอร์เซ็นต์ของอ้อยเข้าหีบทั้งหมด (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 และโปรตีนอยู่สูง เพื่อให้เกิด

สมดุลทางโภชนะ (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 โดยทั่วไปแล้วสัตว์ไม่สามารถย่อยสลายได้เองจำเป็นที่ต้องอาศัยเอ็นไซม์จากจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย 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 (เป็นผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังที่ไม่ใช่ผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ผลพลอยได้ทางการเกษตรให้พลังงานได้ไม่เพียงพอที่จะผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก) กากรำสกัดน้ำมัน กากน้ำตาล และแหล่งโปรตีน ได้แก่ กากเบียร์ กาก

ถั่วเหลือง ซึ่งผลพลอยได้ทางการเกษตรเหล่านี้มีศักยภาพในการนำมาผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักทั้งในด้านมีปริมาณมาก และมีราคาถูก

2.1.2. มันสำปะหลัง

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

การหั่นมันเส้นโดยเครื่องหั่นมันเส้น 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 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

2.1.3. 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 โปรตีน 14-15 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 9.5 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่สามารถย่อยได้ถึง 77 เปอร์เซ็นต์ (พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539)

2.1.4. กากเบียร์

กากเบียร์เป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเบียร์ เป็นส่วนของข้าวมอลท์ (malt) ได้มาจากข้าวบาร์เลย์ ซึ่งเป็นธัญพืชที่นิยมปลูกในประเทศที่มีภูมิอากาศเย็น จะมีการปลูกกันมากในประเทศทางทวีปยุโรป ส่วนในประเทศไทยมีการนำสายพันธุ์ข้าวบาร์เลย์เข้ามาปลูกในแถบภาคเหนือ ซึ่งมีภูมิอากาศที่เย็นและมีการส่งเสริมการปลูกข้าวบาร์เลย์ กรรมวิธีการผลิตเบียร์เริ่มจากการนำข้าวมอลท์มาบดให้แตก พร้อมใส่น้ำผสมลงไปในถังผสม เมื่อผสมข้าวมอลท์และน้ำลงไปในถังผสมแล้ว จึงให้ความร้อนในระดับที่เหมาะสม เพื่อให้เอนไซม์ที่มีอยู่ในข้าวมอลท์ทำปฏิกิริยาเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลมอลโทส (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 ทั้งนี้เป็นเพราะจะมีการสลายโภชนะในร่างกายมากลั่นสร้างน้ำนม โดยเฉพาะถ้าได้รับกากเบียร์สดในระดับสูง 30 – 40 เปอร์เซ็นต์

2.1.5. 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)

2.1.6. 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 นอกจากนี้กากน้ำตาลยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการหมักในอาหาร เพราะจุลินทรีย์สามารถนำกากน้ำตาลไปใช้ประโยชน์ได้ดี (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 ในขณะที่เราทำหญ้าหมักนั้นเซลล์ของพืชที่กำลังตายลงจะกลายเป็นสิ่งแวดล้อมที่เหมาะของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน 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 และมีกรดอะซิติคต่ำ ส่วนกรดบิวทีริคควรมีอยู่ต่ำที่สุด (สายัณห์ ทัดศรี, 2542)

2.2.2 จุลินทรีย์ของพืชอาหารหมัก (silage microbiology)

แบคทีเรียและเชื้อราพวกใช้ออกซิเจนมีติดอยู่ตามอาหารสดเป็นส่วนใหญ่ แต่ในสภาพปราศจากออกซิเจนในไซโลจุลินทรีย์พวกอื่นจะเจริญเติบโตมาแทน คือ สปีซีส์ *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 และเอทานอลชนิดต่างๆ ของแบคทีเรีย

หลังจากที่เริ่มมีการหมักแล้ว แบคทีเรียกลุ่มนี้จะมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว และจะหมักสลายพวกแป้งที่ละลายน้ำได้ (water soluble carbohydrate) จะได้กรดอินทรีย์ ส่วนใหญ่ คือ กรดแลคติค ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของอาหารหมักจะลดลงทันที pH นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในระดับความชื้นที่ไม่เหมาะสม pH จะแสดงความวิกฤตที่จุดๆ หนึ่ง โดยกรดอินทรีย์จะชะงักการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย pH 3.8-4.0 กิจกรรมของจุลินทรีย์จะหยุดทั้งหมด ทำให้ได้พืชอาหารหมักที่มีสภาพดีและลักษณะเหมาะสม ซึ่งสามารถเก็บไว้ได้นานถ้ายังคงสภาพปราศจากออกซิเจน ถ้า pH ไม่คงที่แบคทีเรียพวก saccharolytic clostridia ซึ่งติดมากับอาหารในรูปของสปอร์ตั้งแต่แรกจะทำการแบ่งตัว และใช้ประโยชน์จากกรดแลคติคและแป้ง ทำให้ pH สูงขึ้น นอกจากนั้นแบคทีเรียพวก less-acid-tolerant proteolytic clostridia จะเริ่มมีสมรรถภาพ พวก clostridia นี้จะสมรรถภาพสูงในสภาวะที่มีความชื้นสูง

ตารางที่ 2.1แสดงชนิดของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคที่พบในอาหารหมัก

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)

มาตรฐานของคุณภาพของหญ้าหมักอาศัยมาตรฐานจากยุโรป หญ้าหมักที่มีคุณภาพดีจะประกอบด้วย pH 4.2 กรดแลคติค (lactic acid) 1.5 –2.5 เปอร์เซ็นต์ กรดบิวทีริค (butyric acid) น้อยกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนียมไนโตเจน (NH_4-N) อยู่ระหว่าง 5 - 8 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนทั้งหมด กระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายหลังการปิดหลุมหมักว่า แบ่งได้ 2 กระบวนการใหญ่ คือ กระบวนการที่ต้องใช้ออกซิเจน (aerobic) และกระบวนการที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน (anaerobic) กระบวนการดังกล่าวนี้จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ การทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ปริมาณอากาศที่ยังหลง

เหลือภายหลังการนำพืชเข้าหลุมหมักแล้ว และองค์ประกอบต่างๆ ภายในพืชที่นำมาทำหญ้าหมัก เช่น ปริมาณน้ำตาล ความชื้น และแร่ธาตุอาหาร (สายัณห์ ทัดศรี, 2522)

เมื่อนำเอาพืชที่ยังสดอยู่เข้าไปหมักในหลุมหมักไซโล หลังจากอัดพืชให้แน่นดีแล้วปิดหลุมหมัก แต่อากาศบางส่วนยังหลงเหลืออยู่ภายในหลุมหมักในปริมาณจำกัด และเคลื่อนไหวได้น้อย ซึ่งเซลล์ของพืชที่มีชีวิตอยู่ และแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนภายในนั้นใช้ในกระบวนการหายใจอยู่ระยะหนึ่งจนกว่าอากาศจะหมดไป ซึ่งการหายใจของเซลล์พืชจะใช้คาร์โบไฮเดรตและถ่ายเทคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อนออกมาในต้นพืช 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 ซึ่งจะช่วยจำกัดจำนวนยีสต์ และราไม่ให้มีมากเกินไป 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

$$C_6H_{12}O_6 \text{ (Glucose)} \longrightarrow 2(C_3H_6O_3) \text{ (Lactic acid)}$$

นอกจากนั้นยังมีแบคทีเรียอีกพวกหนึ่ง ได้แก่ proteolytic bacteria ซึ่งพวกนี้จะเปลี่ยนโปรตีนไปเป็นแอมโมเนีย กรดอะมิโน amines และ amides ซึ่งสิ่งเหล่านี้เราไม่ต้องการเพราะฉะนั้นเพื่อป้องกันมิให้มีกระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นจึงต้องเพิ่มคาร์โบไฮเดรตให้มากขึ้น เพื่อระงับการใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงานทำให้หญ้าหมักที่ได้ยังมีโปรตีนเหลือที่จะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ได้ นอกจากการเพิ่ม

คาร์โบไฮเดรตแล้วการควบคุมการเป็นกรดของหญ้าหมักโดยการเสริมกรดบางชนิดลงไป เพื่อทำให้แบคทีเรียกลุ่ม proteolytic และเอนไซม์ของมันไม่ทำงาน อย่างไรก็ตามการเพิ่มพวกคาร์โบไฮเดรตนอกจากจะช่วยเป็นแหล่งพลังงานสำหรับแบคทีเรียแล้ว ยังควบคุมการเกิดกรดแลคติดและอะซิติดอีกด้วย เพราะฉะนั้นจะสังเกตได้ว่าหญ้าหมักที่มีคาร์โบไฮเดรตเพียงพอจะมีการผลิตกรดแลคติคเกิดขึ้นมาก

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 ยังมีค่าสูงอยู่ 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 หลังจากที่พืชถูกเก็บเกี่ยวแล้วน้ำย่อยโปรทีเอสในพืชจะถูกย่อยโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโนภายในระยะเวลา 12 – 24 ชม. ประมาณ 20 – 25 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (non - protein nitrogen, NPN) ซึ่งส่วนใหญ่คือ กรดอะมิโน แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคสามารถย่อยสลายกรดอะมิโนบางตัวได้ เช่น ย่อย serine ได้ acetoin และย่อย arginine ได้ ornithine แต่ถ้ามีพวก clostridia มาก จะมีการเมตาโบไลซ์กรดอะมิโนในอัตราสูง ทั้งนี้โดยอาศัยกระบวนการ 3 แบบคือ deamination, decarboxylation และ coupled oxidation/reduction ซึ่งจะทำให้เกิดพวก amines, NH_3, CO_2, keto acid และ fatty acid (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

ตารางที่ 2.2 แสดงเส้นทางของกระบวนการหมักในการทำพืชอาหารสัตว์

(A) Lactic acid bacteria

1 *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

2 *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)

2.2.5 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 clostridium 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)

2.2.6 คุณค่าทางอาหารของอาหารหมัก (feeding value)

คุณค่าทางอาหารของอาหารหมักขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาหมัก พืชอาหารสัตว์เขตร้อนโดยเฉพาะหญ้ามีคุณค่าทางอาหารไม่สูงเท่ากับหญ้าเขตหนาว เพราะฉะนั้นหญ้าหมักที่ทำจากหญ้าเขตร้อนจึงมีคุณภาพต่ำกว่าหญ้าหมักที่ได้มาจากพืชอาหารสัตว์ในเขตหนาว คุณค่าทางอาหารเราพิจารณา 2 ประการด้วยกันคือ

2.2.6.1. การกินของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (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. การย่อยได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (digestibility)

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

2.3 การผลิตอาหารหมักโดยใช้สารเสริม (additive)

2.3.1 ประเภทของสารเสริมในพืชอาหารหมัก (silage additive)

การแยกประเภทของสารเสริมในพืชอาหารหมัก สามารถแยกได้ตามผลที่เกิดขึ้นต่อกระบวนการหมักของพืชอาหารหมัก แต่สารเสริมบางกลุ่มก็สามารถแสดงผลได้หลายประเภท เช่นพวกแป้ง 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

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)

2.3.2 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

(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 ลิตรต่อตันน้ำหนักพืชสด จะสนับสนุนการผลิตกรดแลคติค และระงับการเจริญเติบโตของพวก clostridia ในกระบวนการหมัก และอัตราที่ 7 ลิตรต่อตันน้ำหนักพืชสด 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 กรัมต่อลิตร 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 จะสนับสนุนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทีผลิตกรดแลคติค นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับ formic acid ได้ผลดี โดยที่ formic acid จะสามารถป้องกันการสลายของโปรตีน การเติมกรด 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) อย่างไรก็ตามการทำพืชอาหารหมักให้มีคุณภาพดี 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 แต่อาจจะสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะ 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 กับกากน้ำตาล 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) และเกลือของเบนโซอิกเป็นประโยชน์ต่อการถนอมอาหารของพืชอาหารหมัก 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 การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์อย่างเดียวในพืชอาหารหมักให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร 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 จะยับยั้งแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติค 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 hexamine เป็นสารเสริมในพืชอาหารหมักเป็นการเพิ่มต้นทุนเมื่อเทียบกับการใช้สารเคมีตัวอื่นๆ 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 พบว่า

การเสริมกากน้ำตาลทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดีกว่า (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 และเพิ่มการกินได้ของสัตว์ (Keady, 1998) การใช้แป้ง และวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแป้งในพืชอาหารหมักเป็นการเพิ่มโภชนะมากกว่ากระตุ้นกระบวนการหมัก

3. หางนม (whey)

หางนมเป็นกากตะกอนนมเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารเสริมในพืชอาหารหมัก มี 2 ลักษณะคือ มีน้ำตาลแลคโตสเหลืออยู่เล็กน้อย และมีน้ำสูง อย่างไรก็ตามอาจมีส่วนประกอบของแลคโตบาซีรัส (lactobacilli) และแร่ธาตุ ซึ่งมีผลต่อกระบวนการหมัก และคุณค่าทางโภชนะของพืช การใช้กากตะกอนนมแห้ง 10 – 50 กิโลกรัมต่อตัน ในถั่วที่มีวัตถุแห้ง 25 เปอร์เซ็นต์ ระดับของกรดและการถนอมพืชอาหารหมักสูงกว่าการใช้กากน้ำตาลในอัตราเท่ากัน 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) พบว่าคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างจะมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องหลังการหมัก 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 (1996a)

ทำการศึกษาเสริมเอนไซม์ cellulase และ hemicellulase ในพืชอาหารหมัก พบว่าไม่มีผลต่อองค์ประกอบของเยื่อใยในพืชอาหารหมัก และไม่มีผลต่อผลผลิตในโคนม

2. Amylolytic enzyme

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

(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)

กรดโพรพิโอนิกมีคุณสมบัติเพิ่มความเสถียรภาพทางอากาศของพืชอาหารหมักและคุณสมบัติดังกล่าวเป็นปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้แบคทีเรียที่ผลิตกรดโพรพิโอนิกในพืชอาหารหมัก

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 นอกจากนี้ยังมีกลุ่มกึ่งสังเคราะห์คือ 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 อย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับกาก

น้ำตาลในกระบวนการหมักของ 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 กรัมต่อต้น) (Woolford, 1975a)

3. Rumensin

rumensin เป็นเกลือโซเดียมของ monensin สามารถต่อต้าน โปรโตซัว แบคทีเรีย และพวกเชื้อรา 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 เสริมลง

ในข้าวโพดหมักหลังการหมักจะลดการสูญเสียวัตถุแห้งในระหว่างที่พืชอาหารหมักถูกอากาศ (Woolford, 1984)

(2) กลุ่มที่สังเคราะห์ขึ้น (synthetic antibiotic)

1. Bronopol

สารประกอบ (2-bromo-2-nitropropane-1, 3-diol) เป็นสารต่อต้านแบคทีเรียใช้ในการผลิตยาออกฤทธิ์วงกว้างกับจุลินทรีย์ 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 ไม่มีผลต่อเชื้อราในข้าวโพดหมัก แต่ถ้าใช้สูงกว่า 25 กิโลกรัมต่อตันในพืชสดที่มีวัตถุแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และในพืชที่มีวัตถุแห้ง 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถให้ผลดี และไม่มีผลต่อสัตว์ แต่การกินได้ลดลงเล็กน้อย และที่สำคัญคือสัตว์จะกินน้ำเพิ่มขึ้นมาก

2. โซเดียมไนไตรท์ (sodium nitrite)

โซเดียมไนไตรท์ 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 และทำให้เกิดการหมักได้กรดแลคติคเร็ว 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 และอาจจะสูงกว่าแอมโมเนียทั้งในสภาพ 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 โปรตีนหยาบย่อยได้ดีขึ้น 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 ในกระเพาะหมักเปลี่ยนแปลงไปมาเช่นนี้จะส่งผลต่อประ

สิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมักได้ (ไพบูลย์ ใจเด็ด, 2537) ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะมีการจัดการโดยให้อาหารข้นและอาหารหยาบพร้อมๆ กันในรูปอาหารผสมสำเร็จรูป ซึ่งการให้อาหารผสมสำเร็จรูปนี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในกระเพาะหมักน้อยมาก อาหารผสมสำเร็จรูปเป็นการนำเอาวัตถุดิบอาหารสัตว์มาผสมกัน ในสัดส่วนที่เหมาะสมและมีโภชนะต่างครบตามความต้องการของสัตว์ ซึ่งจะอยู่ในรูปอัดเม็ด รูปแบบผงหรือรูปแบบหมักก็ได้ โดยสูตรอาหารจะคำนวณเป็นสูตรมาตราฐาน เพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ในระยะต่างๆ ของการให้ผลผลิต ซึ่งจะให้ตามความต้องการโภชนะ โดยพิจารณาตามน้ำหนักตัว ผลผลิตและช่วงของการให้นม สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปจะมีสูตรที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่หาได้ โดยคำนวณให้มีโภชนะครบตามความต้องการของโคนม ในส่วนของอาหารหยาบควรจะใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นเป็นหลัก เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาตลอดจนการขนส่ง

2.4.1 แหล่งของอาหารหยาบและอาหารข้น

ในการเลี้ยงโคนมเพื่อการผลิตน้ำนมให้ได้ผลผลิตตรงตามพันธุกรรมแล้ว โคนมต้องได้รับโภชนะครบตามความต้องการของร่างกาย ในการจัดการให้อาหารโคนม อาหารหยาบเป็นอาหารที่จำเป็นต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าไม่มีการให้อาหารหยาบแก่สัตว์เคี้ยวเอื้องเลย จะทำให้สภาวะในกระเพาะหมักสูญเสียไป เพราะในกระเพาะหมักสามารถนำโภชนะที่ได้จากกระบวนการหมักคือกรดไขมันระเหยได้ โดยเฉพาะกรดโปรพิโอนิคผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึม เพื่อให้ได้พลังงานออกมา ส่วนกรดอะซิติค และกรดบิวทิริคจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนม แหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือพืชอาหารสัตว์ และผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยที่คุณสมบัติของอาหารหยาบและอาหารข้นที่จะนำมาผสมกัน จะต้องมีสัมประสิทธิการย่อยได้ และมีความน่ากินสูง มีแหล่งของพลังงานที่ย่อยได้ง่าย แหล่งของพลังงานที่ไหลผ่านในระดับที่เหมาะสม และมีแหล่งของโปรตีนไหลผ่านสูง (ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด) (ฉลอง วชิราภากรและคณะ, 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 ด้วยเหตุนี้การที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับเยื่อใยที่มีขนาดเล็ก อัตราการไหลผ่านออกจากกระเพาะหมักที่เร็วจะทำให้ปริมาณของกรดอะซิติคที่ผลิตได้นั้นต่ำ และมีผลทำให้ไขมันลดลงด้วย

2.4.4 ผลของอาหารผสมสำเร็จรูปต่อโคนม

การใช้อาหารผสมสำเร็จรูป จากการศึกษาพบว่าทำให้กระเพาะหมักของโคนมใช้อาหารได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้การย่อยได้ของอาหารในกระเพาะดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ระดับของ pH ภายในกระเพาะหมักอยู่ในระดับที่เหมาะสม ทำให้ประชากรของจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นอันจะส่งผลให้มีโปรตีนจากจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ในส่วนของอาหารผสมสำเร็จรูปต่อสุขภาพโคนมมักจะเกิดปัญหาขึ้นเมื่อในสูตรอาหารนั้นมีอาหารข้นอยู่ในระดับสูง และอาหารหยาบในระดับต่ำ โดยมักจะทำให้สัตว์ท้องอืด (bloat), parakeratosis, การทำงานของตับผิดปกติไป ดังนั้นในการประกอบ

สูตรอาหารจำเป็นที่จะต้องมีระดับของเยื่อใยที่เพียงพอต่อความต้องการของโคนม Rakes (1969) แนะนำว่าระดับของเยื่อใย ADF ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถป้องกันท้องอืดได้ และเยื่อใย NDF ที่ระดับ 30-35 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้สัตว์มีสุขภาพดี

2.5 การควบคุมการกินอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.5.1 ระบบประสาทที่ควบคุมการกินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Nervous system regulation feed intake)

การกินได้อาหารของสัตว์นั้น จะถูกควบคุมด้วยระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system: CNS) โดยมีสมองส่วน hypothalamus เป็นศูนย์กลางการควบคุม สำหรับการควบคุมการกินเราสามารถแบ่งสมองส่วนนี้ออกเป็นสองส่วน (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2539) คือ

1. Ventral-media are (VMA)

มีหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมความอิ่ม (satiety) ถ้าหากได้รับการกระทบกระเทือนทำให้ผิดปกติจะส่งผลทำให้กินอาหารไม่หยุด (reating) อาการนี้เรียกว่า hyperphagia แต่สามารถแก้ไขได้โดยกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (electrical stimulation) ในส่วน VMA จะทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร (cessation of eating)

2. Lateral area

ส่วนนี้มีหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมความอยากกิน หรือความหิว (hunger, feeding, appetite area) ถ้าหากส่วนนี้ผิดปกติจะส่งผลต่อสัตว์ทำให้เกิดอาการ aphagia สัตว์ไม่กินอาหาร (lack of appetite) และเกิดอาการ adipsia คือไม่กระหาย (lack of thirsty) สามารถแก้ไขโดยการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าจะทำให้สัตว์เป็นปกติ

2.5.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Factors affecting the intake of ruminants)

ในการประกอบสูตรอาหาร ถึงแม้ว่าจะมีองค์ประกอบทางเคมีดีเท่าใดก็ตาม ถ้าสัตว์ไม่ชอบหรือไม่กินอาหาร อาหารชนิดนั้นก็ไม่มีประโยชน์ ดังนั้นการกินได้ของสัตว์จึงมีความสำคัญอย่างมาก การกินอาหารได้อย่างอิสระ (voluntary food intake: VFI) ของสัตว์เคี้ยวเอื้องสำหรับการเลี้ยงดูภายในคอกกัก (indoor feeding) จะถูกควบคุมโดยปัจจัยหลักๆ 2 ประการดังนี้

2.5.2.1. Metabolic factor

เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้องการโภชนะของสัตว์ และความสามารถของสัตว์ที่จะดูดซึมและนำไปในการประโยชน์จากโภชนะ สัตว์จะพยายามที่จะปรับให้ความสมดุลย์ของพลังงานภายในร่างกายมีความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อม สัตว์พยายามที่จะรักษาความสมดุลย์ของ

พลังงานภายในร่างกายโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกินอาหารในรูปพลังงาน เป็นสัดส่วนกับความต้องการพลังงานของสัตว์เอง รวมถึงสัตว์จะพยายามปรับปริมาณการกินอาหารให้เข้ากับสภาพทางสรีรวิทยาของสัตว์ในระยะนั้นๆ เช่น อายุ ขนาด น้ำหนัก การตั้งท้อง การให้ผลผลิตของสัตว์ และพยายามปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิของอากาศ

(1) ปัจจัยทางเคมี (chemostatic factor)

1. กรดไขมันที่ระเหยได้ volatile fatty acid (VFAs) โดยที่ volatile fatty acid บางตัวจะมีผลควบคุมการกินอาหาร โดยทั่วไปเมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไปแล้ว ความเข้มข้นของ volatile fatty acid จะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารสัตว์ที่กิน ส่วนใหญ่ end product ในการย่อยพลังงานของสัตว์เคี้ยวเอื้องคือ VFAs และ VFAs ตัวที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ propionate และ acetate ถ้าอาหารที่กินถูกย่อยได้ VFAs ทั้ง 2 ตัวนี้มาก จะทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร

2. สภาพความเป็นกรดเป็นด่างในกระเพาะ reticulo-rumen ก็มีส่วนในการส่งสัญญาณ การควบคุมการกินอาหารเช่นเดียวกับ VFAs ถ้า pH ใน reticulo-rumen ลดลงมีส่วนทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร แต่ระดับ pH ในกระเพาะจะเป็นตัวกำหนดการกินอาหารเฉพาะในระยะสั้นๆ เท่านั้น เพราะ ระดับ pH มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

(2) ปัจจัยทางอุณหภูมิ (thermostatic factor)

สัตว์สามารถปรับลักษณะการกินอาหารได้ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิต่ำหรืออากาศเย็นสัตว์จะกินอาหารได้มากขึ้น และในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิสูงสัตว์จะกินอาหารได้น้อยลง กลไกการควบคุมในปัจจุบันยังไม่ทราบแน่ชัด แต่เข้าใจว่าสัตว์จะพยายามปรับอุณหภูมิภายในร่างกายให้คงที่โดยจะลดหรือเพิ่มปริมาณการกินอาหาร

(3) ปัจจัยควบคุมการกินอาหารในระยะยาว

ปัจจัยควบคุมปริมาณไขมัน (lipostatic factor) ในโคที่โตเต็มวัย โคที่ผอมจะกินอาหารหยาบ และอาหารข้นได้มากกว่าโคที่อ้วน ซึ่งอาจจะมีเหตุผลเนื่องมาจาก

1. ในโคที่อ้วนมีปริมาณไขมันสะสมในช่องท้องมากกว่า อาจทำให้ metabolites ในเลือดสูง ซึ่งอาจไปมีผลในการควบคุมการกิน

2. ปริมาณไขมันสะสมของโคผอมอาจจะมีผลตอบสนองได้เร็วกว่า จึงสามารถลดปัจจัยที่มีผลต่อต้านการกินอาหาร ออกจากกระแสเลือดได้เร็ว

(4) Metabolites ในกระแสเลือด

Metabolites ต่างๆ ในกระแสเลือดอาจจะมีผลต่อการควบคุมการกินระยะยาว เช่น lipoprotein free fatty acid และ hormone ชนิดต่างๆ โดยเฉพาะพวกที่มีสูตรโครงสร้างเป็น steroid ได้แก่

1. Diethyl stilbestrol (DES) สามารถทำให้สัตว์กินอาหารเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะผลจากการเก็บกักไนโตเจน (nitrogen retention) และกระบวนการสร้าง anabolic activity ภายในร่างกายสัตว์เพิ่มขึ้น

2. Progesterone hormone มีความเข้มข้นสูงมาก ในช่วงที่สัตว์กำลังตั้งท้องพบว่าอาจมีผลต่อการเพิ่มการกินอาหารของสัตว์ เพราะสัตว์ที่ตั้งท้องมีแนวโน้มในการสะสมไขมัน

3. Estrogen hormone ทำให้การสะสมไขมันลดลงสัตว์ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากสัตว์มีกิจกรรมเพิ่มขึ้น และผลจากความเครียด (stress) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิด estrus

นอกจากนั้น พบว่า insulin hormone, growth hormone และ glucocorticoids สามารถทำให้สัตว์กินอาหารเพิ่มขึ้น ส่วน prostaglandins ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง

2.5.2.2. Physical factor

เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถของสัตว์ที่จะกินอาหาร ความจุกระเพาะอาหาร และความสามารถในการย่อยอาหาร ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบ voluntary food intake (VFI) จะถูกกำจัดการกินโดยความจุของกระเพาะ (rumen cavity) ปัจจัยทางกายภาพนี้จะเกี่ยวข้องกับ ความสามารถในการขยายตัว (distention) ของ reticulo-rumen และการไหลผ่านของ digesta ออกจาก reticulo-rumen

1. การขยายตัวของ Reticlo-rumen (distention of the reticulo-rumen)

สัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบ (roughage) เป็นอาหารหลัก จะกินอาหารได้ตามความจุของกระเพาะ หลังจากนั้นสัตว์จะหยุดกินอาหาร ซึ่งการขยายตัวของกระเพาะจะถูกกำหนดโดยความจุของช่องท้อง (abdominal cavity) อีกที่หนึ่ง นอกจากนี้ ถ้าแม่โคกำลังตั้งท้อง การเจริญเติบโตของตัวอ่อนจะทำให้เนื้อที่ภายในช่องท้องลดลง เป็นเหตุให้เกิดการจำกัดการกินของสัตว์ การควบคุมให้สัตว์หยุดกินอาหารเมื่อกระเพาะขยายเต็มที่ เกิดจากการที่ผนังกระเพาะมีประสาทรับความรู้สึกถึงการขยายตัวของกระเพาะรูเมน ทำให้ไปกระตุ้นให้เกิดการควบคุมให้สัตว์หยุดกินอาหาร

2. อัตราการไหลผ่านของ digesta จาก reticulo-rumen (rate of passage)

อัตราการไหลผ่านของ digesta จาก reticulo-rumen ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร อัตราการย่อยสลายทางกายภาพ (การเคี้ยวและการเคี้ยวเอื้อง) อัตราการย่อย

สลายทางเคมี ความสามารถในการบีบรัดของกล้ามเนื้อกระเพาะอาหาร และ ขนาดของ reticlo-omasal orifice

ถ้าส่วนประกอบทางเคมีของอาหารที่สัตว์กินเข้าไปย่อยได้ง่าย เช่น soluble carbohydrate ในปริมาณมาก digesta จะไหลผ่านได้เร็ว เพราะขนาดของอาหารมีขนาดลดลงเร็วขึ้น ทำให้มีความสามารถในการไหลผ่านจาก reticulo-rumen ได้เร็วขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าอาหารประกอบไปด้วย structural carbohydrate อาหารจะถูกย่อยได้ช้า digesta ก็จะไหลผ่าน reticulo-rumen ได้ช้า

การที่อาหารถูกเก็บใน reticulo-rumen เรียกว่า retention time ทำให้เกิดการหมักย่อยของจุลินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น โดยปกติ retention time จะขึ้นอยู่กับ ปริมาณอาหารที่กิน ลักษณะทางกายภาพของอาหารหยาบ สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของอนุภาคของอาหาร (feed particle) จาก reticulo-rumen ประกอบด้วย ขนาด และความหนาแน่นของ feed particle อัตราการลดขนาดของ feed particle ส่วนประกอบของ cells wall ในอาหาร hydration time, pH และความถี่ของการบีบตัวของ rumen และ abomasum

3. ปัจจัยทางพฤติกรรมการกินอาหารของ Grazing Cattle

grazing animal มีความอยากที่จะอธิบายถึงการควบคุมการกินอาหารมากกว่าสัตว์ที่เลี้ยงดูอยู่ในคอก เพราะต้องเดินหากิน (searching) ต้องจับดึงอาหารเข้าปาก (prehending) และต้องเก็บเกี่ยวอาหาร (harvesting) ดังนั้นความแตกต่าง grazing ruminants และ indoors feeding ruminants คือจะมีการเข้าถึงอาหาร (accessibility) ความสามารถในการกินอาหารคำใหญ่ๆ เพื่อที่จะกินอาหารให้เพียงพอกับความต้องการในเวลาที่จำกัด

ถ้าปริมาณหญ้ามีให้โคกินมากมาย คุณค่าทางอาหารของหญ้าจะเป็นตัวกำหนดการกินได้ โดยมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการแทะเล็ม สัตว์จะเลือกกินหญ้าที่มีคุณค่าทางอาหารสูง แต่ถ้าคุณค่าทางอาหารของหญ้าต่ำการกินได้จะถูกควบคุมโดย distention mechanism ถ้ามีหญ้าน้อยคุณค่าทางอาหารของหญ้าแทบจะไม่มีผลต่อการกินได้ แต่จะถูกควบคุมโดยพฤติกรรมการกิน

4. Animal factors

1) ขนาด น้ำหนักตัว อายุ และพันธุ์กรรมของสัตว์

ขนาดของตัวสัตว์เป็นตัวกำหนดปริมาณของช่องท้อง (abdominal cavity) จะมีส่วนสัมพันธ์กับความจุของกระเพาะ (rumen capacity) สัตว์ที่มีขนาดตัวใหญ่จะสามารถกินอาหารได้มากกว่าสัตว์ที่มีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้อายุของสัตว์ก็มีส่วนเกี่ยวข้องในการกิน คือการกินได้ของสัตว์จะมากขึ้นเมื่อสัตว์มีการเจริญเติบโตจากอายุน้อยไปอายุมากขึ้น พันธุกรรมของสัตว์ก็มีความเกี่ยวข้องกับการกิน โดยจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัตว์แต่ละพันธุ์ เช่นในพันธุ์สัตว์ที่มีขนาดเล็กจะกินอาหารได้น้อยกว่าสัตว์พันธุ์ที่มีขนาดใหญ่

2) การตั้งท้อง (pregnancy)

ในช่วงต้น และช่วงกลางของการตั้งท้อง สัตว์จะกินอาหารเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีอัตราการเกิด metabolism เพิ่มขึ้น และเพื่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และอาจเกิด progesterone hormone เพิ่มขึ้น ทำให้เหนี่ยวนำการกินอาหารเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยแล้วสัตว์จะกินอาหารลดลงในช่วงระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อนคลอด เพราะการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และการสะสมไขมันกินพื้นที่ในช่องท้อง และอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ hormone ในร่างกาย

3) การให้นมในโคนม

ในโคนมที่กำลังรีดนมจะกินอาหารมากกว่าโคที่ไม่ได้รีดนม ซึ่งโดยทั่วไป โคที่รีดนมจะกินอาหารมากกว่าโคที่ไม่รีดนมคิดเป็นร้อยละ 42 เนื่องจากโคต้องการพลังงาน และสารอาหารไปใช้ในการผลิตน้ำนมมากขึ้น

2.6. ความต้องการพลังงานและโปรตีน

2.6.1 คำจำกัดความของหน่วยพลังงาน

2.6.1.1 Calorie System

เป็นระบบที่ใช้วัดค่าพลังงานในอาหาร โดยอาศัยการวัดพลังงานความร้อนที่มีในอาหารใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Bomb calorimeter ซึ่ง 1 calorie จะเท่ากับพลังงานความร้อนที่สามารถทำให้น้ำหนัง 1 กรัมมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียสในสภาพที่มีออกซิเจนอยู่ 25 – 50 atmospheres (โดยทั่วไปอุณหภูมิจะให้ของน้ำจะเพิ่มจาก 14.5 องศาเซลเซียส เป็น 15.5 องศาเซลเซียส)

Kilocalorie (Kcal)	-1 Kcal	= 1,000 cal
Megacalorie (Mcal)	-1 Mcal	= 1,000 cal
Joules (J)	-1 J = 0.239 cal หรือ 1 cal	= 4.184 J

2.6.1.2 ระบบพลังงาน (energy system)

ระบบพลังงาน และการประเมินคุณค่าทางอาหารที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีหลายระบบ ได้แก่ระบบของ NRC ซึ่งใช้ในสหรัฐอเมริกานิยมใช้หน่วยวัดพลังงานคือ โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN) ในการคำนวณหาพลังงานจากอาหารที่สัตว์ได้รับ อย่างไรก็ตามการใช้ TDN เพื่อคำนวณหาพลังงานนั้นไม่ทำให้เกิดความแม่นยำในการหาพลังงานได้ จึงต้องใช้หน่วยของพลังงานเพื่อนำไปคำนวณหาพลังงานได้แก่ Digestible Energy, Metabolisable Energy และ Net Energy โดยใช้ค่า TDN ที่ได้นำไปคำนวณหาพลังงาน Digestible Energy และ Metabolisable Energy และ Net Energy ต่อไปตามสมการ ของ NRC (1988)

ระบบ ARC ใช้วิธีการหาพลังงานในอาหาร โดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Bomb Calorimeter โดยใช้ความร้อนกับอาหารที่ต้องการวิเคราะห์ โดยวัดได้จากการเผาผลาญอาหารภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ความร้อนที่ถูกเผาจะใช้คำนวณค่าอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น พลังงานที่คำนวณได้นี้ คือ พลังงานรวม (Gross energy, GE) ส่วนของ GE เพียงบางส่วนเท่านั้นที่สัตว์จะนำไปใช้ได้ เพราะในระหว่างกระบวนการย่อย (Digestion) ภายในร่างกายจะเกิดการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป พลังงานในอุจจาระ (Fecal Energy, FE) เป็นส่วนหนึ่งของ GE ในอาหารที่ไม่ถูกย่อย การวัดพลังงานในอุจจาระวัดได้โดยการวัดปริมาณของอุจจาระที่ขับออกมา และพลังงานในอุจจาระโดยใช้ Bomb Calorimeter ส่วนแตกต่างของพลังงานระหว่าง GE และFE คือพลังงานที่ย่อยได้ (Digestible Energy, DE) (AFRC, 1992)

2.6.1.3 พลังงานของโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total digestibility nutrition หรือ TDN)

TDN เป็นหน่วยมาตรฐานที่คิดค้นโดยนักวิทยาศาสตร์สหรัฐอเมริกา ซึ่งอาศัยข้อมูลจากการวิเคราะห์โภชนะต่างๆซึ่งมีโภชนะที่ให้พลังงานคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน แต่คาร์โบไฮเดรตนั้นประกอบด้วย แป้ง (NFE) และ เยื่อใย ส่วนไขมันก็จะให้พลังงานสูงกว่าโภชนะอื่นๆ 2.25 เท่า ดังนั้นจึงคำนวณค่า TDN ได้ดังสูตร

$$\%TDN = \%\text{digestible protein} + \%\ \text{digestible NFE} + \%\text{digestible crude fiber} + (2.25 \times \text{ether extract})$$

2.6.2 การแบ่งส่วนพลังงานในอาหาร (Partition of food Energy)

เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไปจะถูกย่อยในระบบทางเดินอาหาร และมีบางส่วนไม่ถูกย่อยซึ่งถูกขับถ่ายออกมาทางมูลและปัสสาวะ เมื่อประเมินคุณค่าทางโภชนาการที่อาหารสัตว์กินเข้าไปแล้ว เราสามารถวิเคราะห์พลังงานที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

2.6.2.1 พลังงานรวม (Gross energy, GE)

พลังงานทั้งหมดที่ได้จากการเผาไหม้ได้รับ โดยมักแสดงในรูปของพลังงานต่อเวลา (Mcal/day) ในการหาค่า GE นอกจากจะใช้อาหารบางครั้งเรียกว่าพลังงานการเผาไหม้ (Heat of combustion) ซึ่งเป็นพลังงานที่มีอยู่ในอาหารที่สัตว์เครื่อง Bomb calorimeter แล้วยังสามารถคำนวณได้จากสมการของ MAFF (1975, 1984) ดังนี้

$$GE\ (MJ/kgDM) = [0.0226(\%CP)] + [0.0407(\%\ EE)] + [0.0192(\%CF)] + [0.0177(\%NFE)]$$

หรือ Wiseman (1987)

$$GE\ (MJ/kgDM) = ((57.2CP + 95.0EE + 47.9CF + 41.7NFE)*100)*4.184$$

2.6.2.2 พลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy, DE)

เป็นพลังงานที่สัตว์สามารถย่อยได้จริงหลังจากที่หักพลังงานที่สูญเสียออกจากมูลแล้ว โดยเฉลี่ยพลังงานที่สูญเสียทางมูลในโคนมมีประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานทั้งหมด สมการสำหรับหาค่าของ DE มีดังนี้

DE = GE – FE หรือ DE (Kcal/kgDM) = 0.04409 x TDN (%) (NRC, 1988)

2.6.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolizable energy, ME)

คือพลังงานที่สัตว์ใช้ได้จริงหลังจากหักการสูญเสียทางมูล ปัสสาวะ และทางแก็สแล้ว ดังนี้

ME = DE – Urine and Gaseous energy

ในการหา ME ค่อนข้างยุ่งยากเพราะจะต้องมีการหาพลังงานในมูลและในแก็ส ในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะต้องมีการหาแก็สมีเทนจากการหายใจเพื่อมาวิเคราะห์หาพลังงานด้วย และการสูญเสียทางปัสสาวะ และในแก็ส (มีเทน) มีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการหาพลังงาน ME จึงนิยมใช้สูตรคำนวณดังนี้

ME (Kcal/kgDM) = 0.82 DE (Kcal/kgDM) (NRC, 1988) หรือ

ME (Kcal/kgDM) = -0.45 +1.01 DE (Kcal/kgDM) (NRC, 1988)

2.6.2.4 พลังงานสุทธิ (Net energy, NE)

เป็นพลังงานที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้จริงเพื่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิตต่างๆ ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากการหักส่วนที่สูญเสียในรูปแบบต่างๆทั้งหมดรวมถึงการสูญเสียในกระบวนการเผาผลาญในร่างกายในรูปความร้อน (Heat increment, HI) ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็นพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE for Maintenance) พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NE for Growth) พลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (NE for Lactation) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้ (NRC, 1988)

NE for Maintenance (Mcal/kgDM) = -1.12 + 1.37 ME

NE for Growth (Mcal/kgDM) = -1.65 + 1.42 ME

NE for Lactation (Mcal/kgDM) = 0.0245 x TDN (% of DM) –0.12

2.7 ความต้องการพลังงานและโปรตีน

2.7.1 ความต้องการพลังงาน

โคนมมีความต้องการพลังงานเช่นเดียวกับสัตว์ชนิดอื่นๆ เพื่อการดำรงชีพ (Requirement for Maintenance) เพื่อการเจริญเติบโต (Requirement for Growth) เพื่อการสร้างผลผลิต (Requirement for Production) และเพื่อการสืบพันธ์ (Requirement for Pregnancy) ซึ่งสามารถรวบรวมสมการต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณความต้องการ ME และ NE ทั้งหมดต่อวัน (MJ/day) ได้ดังนี้ (ARC, 1984)

$$ME_R = ME_m + ME_g + ME_l = NE_m/k_m + NE_g/k_g + NE_l/k_l$$

เมื่อ

ME_R = ความต้องการพลังงาน ME ทั้งหมด (Total metabolisability energy requirement) (MJ/day)

ME_m = ความต้องการพลังงาน ME เพื่อการดำรงชีพ (ME requirement for maintenance)

ME_g = ความต้องการพลังงาน ME เพื่อการเจริญเติบโต (ME requirement for growth)

ME_l = ความต้องการพลังงาน ME เพื่อการให้ผลผลิตน้ำนม (ME requirement for lactation)

NE_m = ความต้องการพลังงาน NE เพื่อการดำรงชีพ (NE requirement for maintenance)

NE_g = ความต้องการพลังงาน NE เพื่อการเจริญเติบโต (NE requirement for growth)

NE_l = ความต้องการพลังงาน NE เพื่อการให้ผลผลิตน้ำนม (NE requirement for lactation)

k_m = ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Efficiency for maintenance)

k_g = ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (Efficiency for growth)

k_l = ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการให้ผลผลิตน้ำนม (Efficiency for lactation)

และ

NE_m = Fasting metabolism (F) + Activity allowances (A)

NE_g = 19 MJ/kg Gain และ 16 MJ/kg Loss (AFRC, 1992)

NE_l = 0.0406 Fat (g/kg Milk) + 1.509 (Tyrrell and Reid, 1965)

$k_m = 0.35q + 0.503$ (AFRC, 1992)

$k_l = 0.35q + 0.42$ (AFRC, 1992)

k_g (Growth ruminants) = $0.78q + 0.006$ (AFRC, 1992)

k_g (Growth ruminants) = $0.95k_l$ (AFRC, 1992)

ค่า q ที่ใช้ในการคำนวณข้างต้นคือค่าของ metabolisability ซึ่งคือค่าสัดส่วนของ ME/GE ที่มีในอาหาร

Fasting metabolism คือ ความต้องการอาหารในขณะที่สัตว์อยู่เฉยๆ และไม่ได้กินอาหาร แต่ต้องการพลังงานส่วนหนึ่งเพื่อให้ร่างกายดำเนินกิจกรรมทาง Metabolism ได้เป็นปกติ เช่น การหายใจ การไหลเวียนโลหิต รวมทั้งการทำงานของอวัยวะต่างๆ Fasting metabolism สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$F = 0.53\ (LW/1.08)^{0.67}$$

โดยที่

LW = น้ำหนักมีชีวิตมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (Liveweight)

Factor 1.08 เป็น Factor ที่ใช้ปรับน้ำหนักมีชีวิตเป็นน้ำหนักเมื่ออดอาหาร (Fasting body weight)

Activity allowances (A) คือ ความต้องการพลังงานเพื่อการดำเนินชีวิตประจำวัน เช่น การเดิน การยืน การขยับร่างกาย ARC (1980) ได้ประมาณความต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ ไว้ดังนี้

Horizontal movement = 2.6 J/kg/metre

Vertical movement = 28 J/kg/metre

Standing for 4 hours = 10 J/kgLW/day

Body position change = 260/kgLW

AFRC (1992) ได้กำหนดความต้องการเพื่อการดำเนินกิจกรรมของโคนม (Active allowances) ไว้ว่าวันหนึ่งๆโคจะเดินเฉลี่ยระยะทาง 500 เมตร ยืน 14 ชั่วโมง และเปลี่ยนตำแหน่ง 9 ครั้ง ดังนั้น

$$A\ (KJ/day) = (1.30 + 5.83 + 62.34)\ LW = 0.0095\ LW$$

ในโคที่ไม่ให้นมรวมถึงโคตั้งท้อง และโคเนื้อมีความต้องการพลังงานเพื่อ Activity allowances = 0.0071LW (MJ/day) โดยกำหนดไว้ว่าวันหนึ่งๆโคจะเดินเฉลี่ยระยะทาง 200 เมตร ยืน 12 ชั่วโมง และเปลี่ยนตำแหน่ง 6 ครั้ง

จากสมการข้างต้นสามารถคำนวณหาค่า ME_m ได้ดังนี้

$$ME_m = NE_m/k_m = (F + A)/k_m$$

ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (NE_l) คำนวณได้จากพลังงานสุทธิที่มีอยู่ในน้ำนม เรียกว่า Energy value of milk [EV_l] AFRC (1992) แนะนำให้ใช้สมการของ Tyrell and Reid (1965) ซึ่งจะให้ค่า [EV] ค่อนข้างแม่นยำ

EV_l (MJ/kg milk) = 0.0384 (F) + 0.0223 (P) + 0.0199(L) –0.108

EV_l (MJ/kg milk) = 0.0376 (F) + 0.0209(P) + 0.948

EV_l (MJ/kg milk) = 0.0406 (F) + 1.509

เมื่อ

F = ไขมันในน้ำนม (g/kg)

P = โปรตีนในน้ำนม (g/kg)

L = น้ำตาลแลคโตสในน้ำนม (g/kg)

เมื่อทราบค่า EV_l หรือ NE_l แล้วก็สามารถคำนวณค่าความต้องการพลังงานใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำนมได้ดังนี้

$$ME_l = NE_l / k_l$$

การคำนวณหาความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต หรือการเพิ่ม/ลดน้ำหนักตัว (NE_g) เพราะพลังงานส่วนเกินจากการดำรงชีพและการให้นมจะถูกสะสมเป็นไขมันในร่างกาย เมื่อโคได้รับพลังงานจากอาหารไม่เพียงพอจะมีการเคลื่อนย้ายพลังงานที่สะสมไว้นี้ออกมาใช้ (Mobilization) การสะสมหรือเคลื่อนย้ายพลังงานนี้จะทำให้โคมีการเพิ่ม/ลดน้ำหนักตัว ซึ่งการคำนวณความต้องการพลังงานในการเพิ่ม/ลดน้ำหนักตัวนี้ประมาณค่าโดยทั่วไปได้ดังนี้ (AFRC, 1992)

NE_g = 19 MJ/kg Gain และ 16 MJ/kg Loss

เมื่อทราบค่า NE_g หรือ Energy value of milk [EV_g] ก็สามารถคำนวณหาค่า ME_g ได้ดังนี้

$$ME_g = NE_g/k_g = 19/k_g \text{ (MJ/kg gain)} = 16/k_g \text{ (MJ/kg Loss)}$$

2.7.2 ความต้องการโปรตีน (Requirement for protein)

2.7.2.1 ความต้องการโปรตีนสุทธิ (Net Tissue Protein Requirement)

โคนมมีความต้องการโปรตีนเพื่อเสริมสร้างส่วนต่างๆ ของร่างกาย และเพื่อการเจริญเติบโตการให้ผลผลิตต่างๆ ซึ่งความต้องการโปรตีนนี้จะคล้ายกับความต้องการพลังงาน คือ มีความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต และความต้องการโปรตีนเพื่อการให้นม ซึ่งสามารถรวบรวมสมการความต้องการโปรตีนเพื่อการต่างๆ ได้ดังนี้ (AFRC, 1992)

$$NP_R = NP_m + NP_l + NP_g$$

เมื่อ

NP_R = ความต้องการโปรตีนสุทธิทั้งหมด (Total net tissue protein requirement) (g/day)

NP_m= ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ (NP requirement for maintenance)

NP_l= ความต้องการโปรตีนเพื่อการให้ผลผลิตน้ำนม (NP requirement for lactation)

NP_g= ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต (NP requirement for weight change)

NP (Net Tissue protein) หรือบางที่อาจเรียกว่า Tissue protein (TP) ส่วน NP_R Net tissue protein retention หรือ Net tissue protein retained in animal products ได้รวมถึง NP ที่เป็นส่วนประกอบในน้ำนมและ ในเนื้อเยื่อต่างๆ และสำหรับการดำรงชีพ AFRC (1992) ให้สมการที่ใช้คำนวณ Net tissue protein ดังนี้

$$NP_m \text{ (g/kg)} = NP_b + NP_d$$

เมื่อ

NP_b = Basal endogenous protein = 6.25 x Basal endogenous nitrogen (BEN)

โดยที่ BEN หรือ TEN (Tissue endogenous nitrogen) สามารถคำนวณได้ดังนี้ (ARC, 1984)

$BEN \text{ (gN/day)} = 0.35\ LW^{0.75}$

ดังนั้น

$NP_b = 6.25 \times 0.35\ LW^{0.75} = 2.1875\ LW^{0.75}$

NP_d = allowance for dermal losses as scurf and hair = $6.25 \times 0.018\ LW^{0.7} = 0.1125\ LW^{0.75}$

$NP_m \text{ (g/day)} = NP_b + NP_d = 2.1875\ LW^{0.75} + 0.1125\ LW^{0.75} = 2.3\ LW^{0.75}$

สำหรับการประมาณค่าความต้องการสมการ Net tissue protein ที่มีอยู่ในน้ำนมสามทารถทำได้โดยสมการ

NP_l = Milk yield (kg/day) x Milk protein content (g/kg Milk)

ส่วนการหาค่า Net tissue protein สำหรับการเพิ่ม/ลดน้ำหนักตัว นั้น ARC (1984) ได้กำหนดไว้ว่า Net protein content of live weight gain = 150 g/kg gain และ Net protein content of live weight loss = 112 g/kg Loss

2.7.2.2 ความต้องการ Rumen degradable protein (RDP)

Rumen degradable protein (RDP) หรือโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก คือโภชนะที่ถูกใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก จุลินทรีย์มีความต้องการโภชนะส่วนหนึ่งเพื่อการสังเคราะห์ธาตุอาหารในเซลล์ โดยเฉพาะโปรตีนและพลังงาน ปกติแล้วสัตว์เคี้ยวเอื้องจะอาศัยจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพอยู่ในกระเพาะหมัก จุลินทรีย์มีความสามารถที่จะใช้อาหารที่มีคุณภาพต่ำเพื่อสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ ในเซลล์จุลินทรีย์จะประกอบด้วยคุณค่าทางอาหารต่างๆ โดยเฉพาะโปรตีน ความต้องการโปรตีนที่ใช้ในการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ จะขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักย่อย Dietary organic matter ในกระเพาะหมัก จากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ใน 1 MJ ของ Dietary ME ที่สัตว์กินเข้าไป จุลินทรีย์จะสามารถสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุด เมื่อ

Rumen degradable nitrogen (RDN) = 1.34 g ร่วมกับพลังงาน ME (ARC, 1984) ดังนั้นความต้องการ RDP เพื่อการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ = (1.34 x 6.25)ME หรือ

Dietary RDP requirement (g/day) = 8.38MEintake (MJ/day) (ARC, 1984)

2.7.2.3 ความต้องการ Rumen undegradable protein (UDP)

ความต้องการ UDP สามารถคำนวณได้จากความแตกต่างระหว่าง Net tissue protein requirement (NP_R) กับ Microbial crude protein (MCP) จาก RDP requirement (g/day) = 8.38MEintake (MJ/day) ที่ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ Microbial crude protein สูงสุด หรือจุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์จาก RDP ร่วมกับพลังงานที่ได้จากการหมักย่อยในกระเพาะหมักได้ทั้งหมด ฉะนั้น ปริมาณ Microbial crude protein ที่สังเคราะห์ได้จะเท่ากับปริมาณความต้องการ RDP คือ

MCP = RDP requirement (g/day) = 8.38MEintake (MJ/day) (ARC, 1984)

MCP ที่สังเคราะห์ได้จะมีส่วนประกอบของ กรดอะมิโนที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้เพียง 80 เปอร์เซ็นต์ และจาก 80 เปอร์เซ็นต์ของกรดอะมิโน สัตว์สามารถย่อยได้จริงในลำไส้เล็ก 85 เปอร์เซ็นต์ และกรดอะมิโนที่ถูกย่อยในลำไส้เล็กจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง 80 เปอร์เซ็นต์ MCP ที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ต่างสามารถคำนวณได้จากสมการนี้

Supply of net tissue protein from microbail protein (TP_{mp})

= 8.38MEintake x 0.80 x 0.85 x 0.80 (ARC, 1984)

ดังนั้น UDP requirement = (NP_R - TP_{mp})

ส่วนความต้องการ UDP จากอาหารจะต้องนำค่าการย่อยได้ UDP ที่ลำไส้เล็ก และการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.70 และ 0.75 ตามลำดับ

ดังนั้น UDP จากอาหาร = (NP_R - TP_{mp})/(0.70 x 0.75) (ARC, 1984)

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

การให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมหลังคลอด ในช่วงแรกโคจะให้ผลผลิตน้ำนมไม่สูง และจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่สูงสุด (peak of lactation) ซึ่งจะมีระยะเวลาประมาณ 3 – 6 สัปดาห์ แต่โคที่ให้นมมากจะมีระดับสูงสุดนานกว่านี้ จากนั้นปริมาณน้ำนมจะลดลงอย่างช้าๆ อัตราการลดลงของน้ำนมจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการให้นมทน (persistency) ของโคแต่ละตัว (ม.ร.ว. ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2534) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพันธุกรรม และการเลี้ยงดูการให้อาหารด้วย โดยปกติระยะเวลาการให้นมของโคประมาณ 305 วัน และมีระยะเวลาการพักการให้นม (dry period) ประมาณ 60 วัน องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม จะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการให้นม ในทางตรง

กันข้ามกับปริมาณน้ำนม คือ โคที่ให้น้ำนมลดลง แต่คุณภาพน้ำนมจะสูงขึ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์ไขมันจะเปลี่ยนแปลงมาก เปอร์เซ็นต์โปรตีนจะเปลี่ยนแปลงตามไขมัน เปอร์เซ็นต์แลคโตสในน้ำนมค่อนข้างคงที่ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่

2.8.1 ปัจจัยทางสรีรวิทยา

เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำนม ซึ่งมีทั้งที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม และไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม

1. ลักษณะทางพันธุกรรม โดยที่โคที่มีพันธุกรรมต่างกันจะมีผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมต่างกัน เช่น โคนมพันธุ์โฮสไตส์ฟรีเซี่ยน จะให้ปริมาณน้ำนมสูงกว่า โคนมพันธุ์เจอซี่ ประมาณ 40 – 60 เปอร์เซ็นต์ แต่จะมีองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมต่ำกว่า
2. อายุ โคสาวจะสามารถเริ่มให้น้ำนมได้เมื่ออายุประมาณ 2 – 3 ปี ซึ่งร่างกายยังไม่โตเต็มที่ ทั้งนี้รวมไปถึงอวัยวะอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างน้ำนมด้วย ดังนั้นปริมาณน้ำนมที่โคสาวให้จะต่ำกว่าโคที่เจริญเติบโตมากกว่า เมื่อโคให้นมครั้งต่อไป ขนาดของโคใหญ่ขึ้น อวัยวะต่างๆ เจริญขึ้น โคจะให้นมมากขึ้นตามลำดับ จนกว่าจะโตเต็มที่เมื่ออายุประมาณ 6 ปี การให้นมของโคจะสูงสุดเมื่อมีอายุประมาณ 6 – 7 ปี จากนั้นปริมาณน้ำนมจะลดลงเรื่อยๆ ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมัน และของแข็งพร่องไขมัน (SNF) ในน้ำนมลดลง
3. วงรอบของการเป็นสัด และการตั้งท้อง ในขณะที่โคแสดงการเป็นสัด จะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมลดลง เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมน และปริมาณการกินได้ของโคลดลง หลังจากนั้นผลผลิตน้ำนมจะคืนสู่สภาพปกติ ในโคที่ท้องจะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำนม โคที่ตั้งท้องในระยะแรกๆ ไม่ต้องการใช้อาหารในการตั้งท้องมาก แต่เมื่อการตั้งท้องอยู่ในระยะปลายใกล้คลอดจะมีเอมไซม์ ออกซีโทซิเนส (oxytocinase) มากขึ้น และจะไปทำลายฮอร์โมนออกซีโทซิน โดยเป็นตัวกระตุ้นการปล่อยฮอร์โมนโปรแลคติน จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2538) โดยเฉพาะก่อนคลอดประมาณ 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นผลให้โคลดปริมาณน้ำนม

2.8.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม

1. อุณหภูมิและความชื้น มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตน้ำนมมาก อากาศร้อนจะทำให้โคให้นมลดลงเพราะโคกินอาหารได้ลดลง อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงโคคือ 4.4 – 23.9 องศาเซลเซียส ถ้ามีอุณหภูมิต่ำกว่า 4.4 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนม แต่โคมีความต้องการอาหารเพิ่มขึ้น และถ้ามีอุณหภูมิต่ำกว่า –15 องศาเซลเซียส จะมีผลให้ปริมาณน้ำนมลดลง แต่องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจะสูงขึ้น และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 23.9 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณน้ำ

นมลดลงมาก แต่การลดลงของปริมาณน้ำนมมีผลทำให้ไขมันในน้ำนมสูงขึ้น ส่วนการกินน้ำ อุณหภูมิของร่างกาย และอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้น

2. ฤดูกาล มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม โดยปกติโคจะกินอาหารได้มากเมื่อมีอากาศหนาวเย็น และจะให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น ฤดูฝนเป็นเวลาที่โคจะให้ผลผลิตนมมากกว่าฤดูกาลอื่นๆ เพราะโคจะได้รับอาหารที่อุดมสมบูรณ์ ซึ่งเป็นผลทางอ้อมในการให้นม และมีอากาศเย็น ส่วนในฤดูร้อนโคจะให้นมน้อยลง

3. ระยะพักการให้นม (dry period) จะทำให้สภาพของโคเมื่อคลอดลูกสมบูรณ์ และทำให้ปริมาณน้ำนมที่โคผลิตได้สูงสุด โดยโคจะใช้อาหารที่สะสมไว้ในร่างกายมาสร้างเป็นองค์ประกอบของน้ำนม โคควรมีระยะพักการให้นมไม่เกิน 60 วัน ถ้าโคนมมีระยะพักนานเกินไป จะมีผลให้ผลผลิตน้ำนมทั้งหมดลดลง แต่ถ้ามีระยะพักการให้นมน้อยเกินไป ก็ทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงเช่นกัน Smith and Dodd (1966) พบว่า โคที่ไม่ได้มีระยะพักการให้นมจะทำให้ผลผลิตน้ำนมต่ำกว่าโคที่มีระยะพักการให้นม 56 – 62 เปอร์เซ็นต์

4. การรีดนม ปกติการรีดนมมักจะทำกันวันละ 2 ครั้ง เช้า และเย็น และระยะห่างไม่ค่อยเท่ากันคือไม่ทุก 12 ชั่วโมง โดยที่ระยะช่วงเย็นถึงเช้าจะนานกว่าระยะช่วงเช้าถึงเย็น ช่วงระยะเวลาที่ยาวกว่าจะได้ปริมาณน้ำนมสูงกว่า แต่องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจะต่ำกว่า คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันจะต่ำกว่าในช่วงระยะเวลาที่สั้นกว่า นอกจากนี้จำนวนครั้งของการรีดนมก็มีผลต่อปริมาณน้ำนม เช่น การรีดนม 3 ครั้งต่อวัน จะได้ปริมาณน้ำนมสูงกว่าการรีด 2 ครั้งต่อวัน การรีดนมไม่หมดเต้ามีผลทำให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง เนื่องจากน้ำนมที่ค้างอยู่ในเต้าเป็นน้ำนมที่มีไขมันสูง การที่น้ำนมค้างเต้าเป็นระยะเวลาหลายวัน จะทำให้ผลผลิตของน้ำนมลดลง และเปอร์เซ็นต์ไขมันเพิ่มขึ้น

5. อาหารและการให้อาหาร มีผลต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ทั้งทางตรงและทางอ้อม ปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้เป็นผลมาจากระดับของโภชนะที่สัตว์ได้รับ ถ้าได้รับโภชนะต่ำกว่าปกติจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนม และน้ำตาลแลคโตส ในน้ำนมลดลง แต่ถ้าได้รับโภชนะสูงกว่าปกติจะไม่มีผลทำให้ปริมาณน้ำนม และน้ำตาลแลคโตส ในน้ำนมสูงขึ้นมากนัก การขาดอาหารหยาบ จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่าปกติ Dhiman et al. (1995) ศึกษาสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น พบว่า เมื่ออาหารหยาบสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของโคลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับ MacLeod and Wood (1972)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยการทดลองย่อย 4 การทดลอง กล่าวคือ การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก และการศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม (Early lactation) ซึ่งในแต่ละการทดลองมีวิธีการดำเนินการวิจัยผันแปรตามจุดประสงค์ของแต่ละการทดลอง โดยรายละเอียดวิธีการดำเนินการวิจัยจะระบุไว้ในแต่ละการทดลองตามขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร

3.1.1. ทำการคัดเลือกผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

3.1.2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตรที่คัดเลือก

3.1.3. ศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก

3.2 การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

3.2.1. นำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาประกอบสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

3.2.2. ทำการหมักอาหารผสมสำเร็จรูปตามข้อ 3.2.1 ในระยะเวลาต่างๆ กัน

3.2.3. เมื่อทำการหมักครบตามอายุตามข้อ 3.2.1 สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารผสมสำเร็จรูปหมักมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก

3.3 การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

3.3.1. ทำการหมักอาหารผสมสำเร็จรูปที่คัดเลือกจากข้อ 3.2 ในระยะเวลาต่างๆ กัน

3.3.2. เมื่อทำการหมักครบตามอายุตามข้อ 3.3.1 สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารผสมสำเร็จรูปหมักมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3.4 การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม (early lactation)

3.4.1. คัดเลือกอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากข้อ 3.2 จากนั้นทำการหมักอาหารตามสูตรดังกล่าว โดยทำการหมักภายในหลุมหมักขนาดใหญ่ให้มีปริมาณเพียงพอ เพื่อใช้เลี้ยงโครีดนม

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

3.5 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารเครื่องมือ 2 อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.6 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2543 ถึง 30 มีนาคม พ.ศ. 2544

บทที่ 4

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของผลพลอยได้ทางการเกษตร

คำนำ

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

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของผลพลอยได้ทางการเกษตรก่อนปรับปรุงคุณภาพ

4.1 อุปกรณ์และวิธีการ

4.1.1. ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการย่อยสลายได้ของผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ ดังนี้

แหล่งเยื่อใย

- ชานอ้อย จากโรงงานน้ำตาลราชสีมา อ. แก้งสนามนาง จ. นครราชสีมา

แหล่งพลังงาน

- มันสำปะหลัง จากโรงงานอาหารสัตว์ ฟาร์มมหาวิทยาลัย
- กากรำสกัดน้ำมัน จากโรงงานอาหารสัตว์ ฟาร์มมหาวิทยาลัย
- กากน้ำตาล จากโรงงานอาหารสัตว์ ฟาร์มมหาวิทยาลัย

แหล่งโปรตีน

- กากเบียร์ จากบริษัท แดรี่เทรดดิ้ง จำกัด อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา
- กากถั่วเหลืองจากโรงงานอาหารสัตว์ ฟาร์มมหาวิทยาลัย

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

4.1.3. นำตัวอย่างผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิดที่ผ่านการอบ มาทำการบดด้วยเครื่องบด ผ่านตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร แล้วนำตัวอย่างที่ได้เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักต่อไป

4.1.4. 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)

4.1.5. นำตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งที่ได้เก็บไว้ในข้อ 4.1.2. มาศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักโดยใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ (↓rskov, et al., 1980)

โดยนำตัวอย่างชนิดต่างๆ ที่บดไว้ และถุงไนล่อนที่มีรูพรุนของถุง 47 ∝m 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 ให้อาหารที่มีชานอ้อยเป็นแหล่งอาหารหยาบ 12 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และอาหารข้นสำเร็จรูป 6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

เมื่อแช่ถุงไนล่อนในกระเพาะหมักของโคได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะหมัก นำมาล้างเพื่อเอาเศษอาหารที่ติดจากกระเพาะหมักออก แล้วนำไปแช่แข็งเพื่อหยุดการ

ทำงานของจุลินทรีย์ เมื่อได้ตัวอย่างครบตามเวลาแล้ว นำถุงไนล่อนมาล้างในเครื่องซักผ้าเป็นเวลา 15 นาที 3 ครั้ง แล้วปั่นให้แห้ง หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนทั้งหมดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และนำไปชั่งเพื่อวิเคราะห์วัตถุแห้ง จากนั้นนำค่าสัดส่วนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ ของวัตถุแห้ง มาคำนวณหาอัตราการย่อยสลายได้ของผลพลอยได้ทางการเกษตรต่อไป

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำตัวอย่างผลพลอยได้ทางการเกษตรและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิด มาหาค่าเฉลี่ยและนำเสนอในรูป Mean ± SD

4.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารเครื่องมือ 2 อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2543 ถึง 30 มีนาคม พ.ศ. 2544

4.5 ผลการทดลอง

4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร

จากการศึกษาองค์ประกอบของผลพลอยได้ทางการเกษตร แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่า ชานอ้อยมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำมากเช่นเดียวกันกับมันสำปะหลัง แต่ชานอ้อยมีองค์ประกอบพวก เปอร์เซ็นต์เยื่อใย NDFและ ADF ในปริมาณที่สูง ในกากถั่วเหลืองมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูง (47.5%) เช่นเดียวกับกากเบียร์ แต่กากเบียร์จะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่า (28.4%) อย่างไรก็ตามพบว่ากากเบียร์มีเปอร์เซ็นต์ไขมัน (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
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	5.7±0.09
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

องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิด

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้จากการเกษตรแต่ละชนิดพบว่า ชานอ้อยมีองค์ประกอบทางเคมีพวก 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 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ซึ่งจะเห็นได้ว่าชานอ้อยมีองค์ประกอบที่เป็นเยื่อใยสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพืชที่มีอายุมากจะมีผนังเซลล์หนาและย่อยได้ยาก และส่วนของลำต้นจะมีองค์ประกอบที่เป็นลิกนินสูง ซึ่งย่อยไม่ได้ ดังนั้นพืชที่มีอายุมากคุณค่าทางอาหารจะลดลง (ม.ร.ว. ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2534) และชานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากการปลูกอ้อย ซึ่งอ้อยเป็นพืชที่มีอายุมากเพราะใช้เวลานานในการปลูกก่อนเก็บเกี่ยวมากกว่า 10 เดือน ทำให้มีการสะสมของเยื่อใยสูง

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

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)

การย่อยสลายวัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตร

จากการศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้งของผลพลอยได้ทางการเกษตรแต่ละชนิด พบว่า ชานอ้อยมีการย่อยสลายวัตถุแห้งในกระเพาะหมักต่ำมาก 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 หญ้าเนเปียร์ 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) ในกากเบียร์มีการย่อยสลายวัตถุแห้งไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับกากรำสกัดน้ำมัน และกากถั่วเหลือง ทั้งนี้เนื่องจาก กากเบียร์ประกอบด้วยเยื่อใยในปริมาณสูง 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 สรุป

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

การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

คำนำ

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

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษากรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตร วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของผลพลอยได้ทางการเกษตรหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการหมัก

5.1 อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักเพื่อให้ได้อาหารผสมสำเร็จรูปที่มีคุณภาพดี ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ต่อไปนี้

5.1.1. ทำการคัดเลือกผลพลอยได้ทางการเกษตรจากบทที่ 4. เพื่อนำมาประกอบสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปหมักเพื่อให้ได้คุณค่าทางโภชนะที่เหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน โดยจัดแผนการทดลองแบบ 5*3 Factorial arrangement in CRD ซึ่งมีการจัด Treatment ดังนี้

- มีปัจจัย A สูตรอาหาร 5 สูตร 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 5.1 โดยการบรรจุอาหารแต่ละสูตรที่ผสมแล้วใส่ถุงพลาสติกสีดำขนาด 25x36 นิ้ว และซ้อนด้วยถุงโพลีอีกหนึ่งชั้น ซึ่งจะบรรจุถุงละประมาณ 10 กิโลกรัม บีบไล่อากาศออกให้หมด อัดให้แน่น แล้วปิดถุงให้สนิทนำไปเก็บไว้ในที่ร่ม

ตารางที่ 5.1 แสดงสูตรอาหารที่ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการหมัก

วัตถุดิบอาหาร	อัตราส่วน (กิโลกรัมสด)				
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
ชานอ้อย	28.0	28.0	30.0	31.0	33.0
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

5.1.2. 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)

5.1.3. 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

5.1.4. 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) การศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักโดยใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ (∅rskov, et al., 1980)

วิธีการศึกษาเหมือนกับข้อที่ 4.1.5 โคเจาะกระเพาะเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮสไตส์ฟรีเซียน (Holstein Friesian) สายเลือดประมาณ 87.5 เปอร์เซ็นต์ อายุเฉลี่ยประมาณ 80±26 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ย 468±49 กิโลกรัม เลี้ยงแบบผูกยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา ให้อาหารที่มีชานอ้อยเป็นแหล่งอาหารหยาบ 12 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และอาหารข้นสำเร็จรูป 6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

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

5.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารเครื่องมือ 2 อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2543 ถึง 30 มีนาคม พ.ศ. 2544

5.5 ผลการทดลอง

5.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามสูตรอาหาร (สูตร 1, สูตร 2, สูตร 3, สูตร 4 และ สูตร 5 ตามลำดับ) และระยะเวลาการหมัก (14, 21 และ 28 วัน) แสดงไว้ดังตารางที่ 5.2 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) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสูตรอาหาร (P<0.01) แต่ค่าดังกล่าวค่อนข้างแปรปรวน ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาการหมัก และสูตรอาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (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) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสูตรอาหาร และมีอิทธิพลร่วมระหว่าง 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 มีค่าสูงขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการ

หมักนานขึ้น (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)

5.5.2 การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

ผลการย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามสูตรอาหาร (สูตร 1, สูตร 2, สูตร 3, สูตร 4 และ สูตร 5 ตามลำดับ) และระยะเวลาการหมัก (14, 21 และ 28 วัน) แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 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) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสูตรอาหาร (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

5.5.3 การย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

ผลการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามสูตรอาหาร (สูตร 1, สูตร 2, สูตร 3, สูตร 4 และ สูตร 5 ตามลำดับ) และระยะเวลาการหมัก (14, 21 และ 28 วัน) ดังตารางที่ 5.4 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 แต่ในระยะเวลาการหมักพบว่าเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายโปรตีนมีค่าลดลง เมื่อมีระยะเวลาการหมักนาน 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)

5.5.4 ปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

ปริมาณ VFAs ในอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก แสดงไว้ดังตารางที่ 5.5 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)

5.5.5 การคัดเลือกสูตรอาหารที่ดีที่สุดในการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตร เพื่อนำไปศึกษาต่อในระดับ large scale ต่อไป

จากการศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมักเพื่อนำไปศึกษาต่อในระดับ large scale โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้ องค์ประกอบทางเคมี การย่อยสลายของวัตถุแห้ง และโปรตีนในกระเพาะหมัก และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก ซึ่งพบว่าองค์ประกอบทางเคมีมีค่าค่อนข้างแปรปรวน แต่อยู่ในระดับที่ NRC (1988) แนะนำ ส่วนปริมาณของระดับกรดไขมันระเหยได้ มีค่าค่อนข้างแปรปรวน เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าที่ระยะเวลาการหมัก 28 วัน มีคะแนนต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อใช้คะแนนตัดสินคุณภาพของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักโดยวิธีการของ Flieg อ้างโดย Woolford (1984) ซึ่งพบว่าทุกสูตรอาหารมีคะแนนอยู่ในระดับเดียวกัน ดังนั้นจึงคัดเลือกจากการย่อย

สลายได้ของวัตถุแห้งและโปรตีนในกระเพาะหมัก ซึ่งพบว่าอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสูตรที่ 5 ที่ระยะเวลาการหมัก 14 วัน มีการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งและโปรตีนในกระเพาะหมักได้ดีที่สุด

5.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป (ตารางที่ 5.2) พบว่า ระยะเวลาการหมักไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง แต่สูตรอาหารมีผลต่อเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า ในสูตรอาหารที่ 1 – 5 มีสัดส่วนของมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบของสูตรอาหารสูงขึ้นตามสูตรอาหาร ซึ่งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งสูง ในขณะที่กากเบียร์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งต่ำ มีสัดส่วนลดลงตามลำดับ (สูตร 1 – สูตร 5) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งเพิ่มขึ้นตามสูตรอาหาร ส่วนเปอร์เซ็นต์โปรตีน พบว่า เปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลงตามสูตรอาหาร โดยที่สูตรอาหารแต่ละสูตรจะมีระดับยูเรียแตกต่างกัน (0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ซึ่งอาจเกิดจากการสลายตัวของยูเรียโดยเอนไซม์ urease เป็นแอมโมเนียและเกิดการสูญเสีย สอดคล้องกับรายงานของ Catchpooled (1962) ที่พบว่าหญ้าซิกแนล เมื่อนำไปหมัก มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าซิกแนลก่อนหมัก สาเหตุอาจเป็นเพราะมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้โปรตีนสลายตัวทำให้มีการปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาในปริมาณมาก สอดคล้องกับรายงานของ McDonald (1981) ส่วนไขมัน เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่ากากเบียร์เป็นวัตถุดิบที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงที่สุด และสูตรอาหารเรียงตามลำดับสูตรที่ 1 ถึงสูตรที่ 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 สูงขึ้นตามระยะ

เวลา 14, 21 และ 28 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสลายตัวของยูเรียปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาตามระยะเวลาการหมัก ซึ่งแอมโมเนียมีคุณสมบัติเป็นด่างเช่นเดียวกับยูเรีย

การย่อยสลายวัตถุแห้งและโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักในกระเพาะหมัก

จากการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งในกระเพาะหมัก แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าการย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารเพิ่มขึ้นเรียงตามลำดับ (สูตรที่ 1 - 5) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.1 พบว่ามีสัดส่วนของมันสำปะหลังสูงขึ้น ตามสูตรอาหาร (สูตรที่ 1 - 5) และจากตารางที่ 4.2 มันสำปะหลังมีการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งสูงมาก ดังนั้นในสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของมันสำปะหลังสูงจะมีการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า ซึ่งพบว่าในอาหารสูตรที่ 5 ที่ระยะเวลาการหมัก 14 วัน มีค่า effective degradability of DM สูงที่สุด และจากตารางที่ 5.4 การย่อยสลายได้ของโปรตีน พบว่า ในอาหารสูตรที่ 5 มีการย่อยสลายโปรตีนได้ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากในอาหารสูตรที่ 5 มีระดับของยูเรียเป็นส่วนประกอบในอัตราสูง (2 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งยูเรียจะสามารถสลายตัวได้ดีในกระเพาะหมัก

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 อย่างไรก็ตามปริมาณ butyrate ที่พบอาจเกิดจากการฉีกขาดของภาชนะที่บรรจุ ซึ่งมีผลทำให้อากาศเข้าไปในอาหารซึ่งทำให้แบคทีเรียที่ผลิต butyrate ทำงาน

5.7 สรุป

จากการศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปมาจากการคำนวณสูตรอาหาร และสัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละชนิด ซึ่งไม่เท่ากันในแต่ละสูตร ในส่วนของระดับความเป็นกรด – ด่าง ก็แปรผันตามระดับยูเรียที่สูงขึ้น ซึ่งยูเรียมีคุณสมบัติเป็นด่างทำให้ระดับความเป็นกรด – ด่าง สูงขึ้น ส่วนการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้ง ในสูตรที่มีส่วนประกอบของมันสำปะหลังสูง จะสามารถย่อยสลายได้ดี และการย่อยสลายได้ของโปรตีน ในสูตรที่มีส่วนประกอบ

ของยูเรียสูง 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
$dg^{1/}$	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
$dg^{2/}$	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 6

การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

คำนำ

ในช่วงฤดูแล้งเกษตรกรที่เลี้ยงโคนมจะประสบปัญหาการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ โดยเฉพาะพืชอาหารสัตว์คุณภาพดี การทำอาหารหมักเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถเก็บถนอมอาหารสัตว์ที่มีอยู่ เพื่อเก็บสำรองสำหรับใช้ในช่วงที่ขาดแคลน แต่การเก็บสำรองอาหารหมักไว้ใช้ในระยะเวลาที่ยาวนานอาจส่งผลให้คุณภาพของอาหารหมักเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารหมักที่ระยะเวลาต่างๆ เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารหมักจากชานอ้อย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของระยะเวลาเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการหมัก

6.1 อุปกรณ์และวิธีการ

6.1.1. 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 5 โดยมุ่งเน้นถึงความเหมาะสมสำหรับนำมาเป็นอาหารโคนม และศักยภาพในการผลิตเชิงพาณิชย์
- ทำการหมักอาหาร (สูตรอาหารที่ได้จากการคัดเลือก) โดยการแบ่งอาหารแต่ละสูตรใส่ถุงพลาสติกและซ้อนด้วยถุงโพลีอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งจะบรรจุถุงละ 10 กิโลกรัม บีบไล่อากาศออกให้หมดแล้วปิดถุงให้สนิทนำไปเก็บไว้ในที่ร่ม

6.1.2. 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)

6.1.3. 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

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

1) การเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างจากข้อ 6.1.1 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) เตรียมสารละลายมาตราฐานของ 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

6.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

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

6.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารเครื่องมือ 2 อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2543 ถึง 30 มีนาคม พ.ศ. 2544

6.5 ผลการทดลอง

6.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ที่ใช้ในการศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน แสดงไว้ดังตารางที่ 6.1 จากการเก็บตัวอย่างของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กัน มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง เปอร์เซ็นต์โปรตีน เปอร์เซ็นต์ไขมัน เปอร์เซ็นต์เถ้า และเปอร์เซ็นต์เยื่อใย ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ในส่วนของเปอร์เซ็นต์เถ้าพบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

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

ตารางที่ 6.1 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 > F	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

6.5.2 ระดับของความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ระดับของความเป็นกรด – ด่าง ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือนตามตารางที่ 6.1 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

6.5.3 ปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 6 เดือน แสดงไว้ในตารางที่ 6.2 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 lactateโดยที่เดือนที่ 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 6.2 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 > F	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.)

6.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

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 เพื่อการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ มีผลทำให้ปริมาณวัตถุแห้งลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Frame (1994) ที่พบว่ากระบวนการหมักที่ดี และเกิดขึ้นเร็วนั้นจะมีการใช้วัตถุแห้งไป 3 – 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหารผสมสำเร็จรูปหมักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ผลที่ได้มีระดับของเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่าที่คำนวณไว้ก่อนทำการทดลอง ทั้งนี้อาจเกิดจากการทดลองนี้มียูเรียเป็นส่วนประกอบอยู่ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ และเอนไซม์ urease จะทำให้ urea แตกตัวเป็นแอมโมเนีย และอาจเกิดการสูญเสียไนโตรเจนจากการระเหยของแอมโมเนียในขณะอบตัวอย่างเพื่อหาเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ซึ่ง

แอมโมเนียจะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้น แต่จะไม่มีความแตกต่างทางสถิติ หลังจากระยะเวลาการหมักนานกว่า 3 สัปดาห์ขึ้นไป (McDonald et al, 1991) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 2 ในบทที่ 5 และได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 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 สายขิม 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

ระดับของความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ระดับความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในที่เดือนที่ 1 – 3 และเดือนที่ 4 – 6 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวีรพล 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 ทำให้เกิดการชลอการผลิตกรดของจุลินทรีย์ อีกทั้งอาจเป็นผลมาจากยูเรียที่มีอยู่ในอาหารหมัก นอกจากนี้อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมอาจมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ Bolsen et al. (WWW, 1999b) ได้ทำการทดลองหมัก alfalfa ที่อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮด์ และ 90 องศาฟาเรนไฮด์ พบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 90 องศาฟาเรนไฮด์ มีระดับ pH ต่ำกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮด์ และจากการทดลองในบทที่ 6 นี้ เริ่มดำเนินการในช่วงเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2543 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2544 ซึ่งในช่วงระยะเวลา

การหมักเดือนที่ 4 – 6 จะอยู่ในช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย ซึ่งอุณหภูมิจะมีผลต่อการทำงาน และเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรด

ปริมาณ VFAs ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

จากการทดลองพบว่าปริมาณ lactate และ acetate มีปริมาณสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก สอดคล้องกับการทดลองของ Sheperd et al. (1995) ทำการทดลองหมัก alfalfa จนมีอายุ 177 วัน พบว่า ระดับของ lactate สูงขึ้นตามระยะเวลา แต่จากผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 6.2 พบว่าที่ระยะเวลาการการหมักเดือนที่ 6 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 ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณยีสต์ในข้าวโพดหมักสูงขึ้น 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 6.2 พบว่าในเดือนที่ 4 มีปริมาณ butyrate สูงที่สุด เนื่องจากภาชนะที่บรรจุอาหารหมักเกิดการฉีกขาด ทำให้มีอากาศเข้าไป มีผลทำให้แบคทีเรียที่ผลิต butyrate ทำการผลิต butyrate สูงขึ้น

6.7 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 7

การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม (Early lactation)

คำนำ

ผลพลอยได้ทางการเกษตรที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในการเลี้ยงสัตว์นั้น ต้องมีปริมาณมากพอที่จะสามารถส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเพียงพอ ชานอ้อยก็เป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดนี้ มีคุณค่าทางโภชนะที่ต่ำ อีกทั้งมีเฉพาะในช่วงฤดูกาลหีบอ้อย ดังนั้นการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะให้สูงขึ้นร่วมกับการถนอมอาหารให้สามารถเก็บไว้ใช้ได้ในระยะเวลาที่นานตลอดช่วงฤดูแล้งจึงมีความสำคัญ จากการศึกษาการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของชานอ้อยโดยการเสริมวัตถุดิบที่มีความเข้มข้นทางโภชนะสูง ทั้งทางด้านพลังงานและโปรตีน และนำมาถนอมอาหารโดยวิธีการหมัก พบว่าสูตรอาหารที่มีระดับยูเรีย 2 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาการหมักที่ 14 วัน สามารถย่อยสลายได้สูงสุด อีกทั้งยังมีราคาที่ต่ำกว่าอาหารสูตรอื่นๆ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งที่จะขยายการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของชานอ้อยดังกล่าวในระดับ Large scale เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้ง สำหรับโคนมในระยะต้นของการให้นม

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการใช้ชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะแล้ว เป็นอาหารสำหรับโคนมเพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้ง สำหรับโคนมในระยะต้นของการให้นม

7.1 อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของการนำอาหารผสมสำเร็จรูปหมักใช้เลี้ยงโครีดนม ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน (Holstein Friesian)

7.1.1. การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของชานอ้อย

คัดเลือกอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากบทที่ 5 โดยมุ่งเน้นถึงความเหมาะสมสำหรับนำมาเป็นอาหารโคนม และศักยภาพในการผลิตเชิงพาณิชย์ โดยทำการหมักภายในหลุมหมักขนาดใหญ่เพื่อใช้เลี้ยงโครีดนม ทำการหาน้ำหนักวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิด (อบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน

12 ชั่วโมง) เพื่อคำนวณน้ำหนักของวัตถุดิบชนิดต่างในการหมัก แสดงไว้ในตารางที่ 7.1 โดยจะชั่งวัตถุดิบต่างๆ ตามสัดส่วนที่คำนวณได้ มาผสมร่วมกัน แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันดี จนได้ปริมาณที่ต้องการ หลังจากนั้นทำการอัดให้แน่น และคุมด้วยพลาสติกอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันอากาศเข้า ใช้ระยะเวลาการหมักนาน 14 วัน หลังจากครบกำหนดเวลาการหมัก นำไปศึกษาการกินได้และการย่อยได้ต่อไป

ตารางที่ 7.1 แสดงสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ในการเลี้ยงโคนม

วัตถุดิบ	กลุ่มการทดลองที่ 1 น้ำหนักสด (กิโลกรัม)	กลุ่มการทดลองที่ 2 น้ำหนักสด (กิโลกรัม)
หญ้าหมัก	72.7	-
ชานอ้อย	-	33.0
มันสำปะหลัง	-	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 ถั่วแขก สารกันรา เกลือ กากน้ำตาล ยูเรีย และแร่ธาตุ

7.1.2. 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 ± 3.6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน วันคลอดเฉลี่ย 73 ± 28 วัน และน้ำหนักตัวก่อนการทดลองเฉลี่ย 420 ± 52 กิโลกรัม โดยแต่ละตัวจะถูกเลี้ยงแบบผูกยืนโรงเป็นรายตัว ได้รับอาหารข้น 7.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และหญ้าหมักให้กินเต็มที่ ทำการบันทึกปริมาณน้ำนมติดต่อกัน 3 วัน และ

เก็บตัวอย่างน้ำนม 1 วัน โดยแบ่งเป็น 2 ครั้ง (เย็นและเช้า) เพื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนมก่อนการทดลอง นำผลที่ได้มาทำการจัดกลุ่มการทดลองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง ดังต่อไปนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 โคนมจะได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป โดยมีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ จำนวน 8 ตัว

กลุ่มการทดลองที่ 2 โคนมจะได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก จำนวน 8 ตัว

7.1.3. วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

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

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

7.1.4. การศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักของอาหารผสมสำเร็จรูปทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง

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 ± 7 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ย 333 ± 51 กิโลกรัม เลี้ยงแบบผูกยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา การให้อาหาร กลุ่มที่ 1 โคนมจะได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป โดยมีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ จำนวน 3 ตัว และกลุ่มที่ 2 โคนมจะได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก จำนวน 3 ตัว

เมื่อแช่ถุงไนล่อนในกระเพาะหมักได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะหมัก นำมาล้างเพื่อเอาเศษอาหารที่ติดจากกระเพาะหมักออก จากนั้นนำไปแช่แข็งเพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ 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)

7.1.5. ศึกษาการย่อยได้ของอาหารผสมสำเร็จรูปในระบบ in vivo โดยวิธีการชั่งน้ำหนักทั้งหมด (Total collection method)

การศึกษาการย่อยได้แบบ Total collection method จะใช้โคเจาะกระเพาะเพศเมียจำนวน 8 ตัว โดยแบ่งโคออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 มีน้ำหนักเฉลี่ย 333 ± 68 กิโลกรัม อายุเฉลี่ย 35 ± 9 เดือน และกลุ่มที่ 2 มีน้ำหนักเฉลี่ย 333 ± 37 กิโลกรัม อายุเฉลี่ย 41 ± 3 เดือน ตามลำดับ โคทั้งสองกลุ่มจะถูกเลี้ยง

ในโรงเรือนแบบผูกยืนโรง 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 จะนำตัวอย่างที่ได้ในแต่ละวันมารวมกันและทำการสุ่ม 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปอบหาเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งต่อไป

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

7.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ปริมาณการกินได้ ปริมาณน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนม น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ความต้องการพลังงานและโปรตีน ซึ่ง N = 8 วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี t-test โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (Statistical analysis system) (1985)

7.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารเครื่องมือ 2 อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

7.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2543 ถึง 30 มีนาคม พ.ศ. 2544

7.5 ผลการทดลอง

7.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงไว้ดังตารางที่ 7.2 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

ตารางที่ 7.2 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

7.5.2 การกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป

การกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงไว้ในตารางที่ 7.3 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 7.3 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

7.5.3 การย่อยได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป

การย่อยได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคเจาะกระเพาะ ซึ่งศึกษาการย่อยได้ *in vivo* โดยวิธี Total collection method แสดงไว้ดังตารางที่ 7.4 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) โดยที่กลุ่มการทดลองที่ 1 มีการย่อยได้ของไขมันสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 (87.89 และ 65.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และความสมดุลไนโตรเจนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 (109.31 และ 76.36 กรัม/วัน ตามลำดับ)

ตารางที่ 7.4 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
ความสมดุลของไนโตรเจน (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

7.5.4 ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ปริมาณน้ำนม และส่วนประกอบของน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงไว้ในตารางที่ 7.5 ผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำนม (13.0, 9.2 กิโลกรัม/วัน) ปริมาณไขมันนม (454, 347 กรัม/วัน) ปริมาณโปรตีนนม (356, 273 กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (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 7.5 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

7.5.5 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงไว้ดังตารางที่ 7.6 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 แต่จากตารางจะเห็นได้ว่า ในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของน้ำนมดังกล่าว สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 เล็กน้อย

ตารางที่ 7.6 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
เปอร์เซ็นต์แล็คโต๊ส	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

7.5.6 น้ำหนักตัว และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัวของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงไว้ในตารางที่ 7.7 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 7.7 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

7.5.7 การประมาณค่าโปรตีน และพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป

ผลของโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป ที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงในตารางที่ 7.8 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 7.9 พบว่าพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ ของทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกัน (57 และ 55 MJ) แต่ในกลุ่มการทดลองที่ 1 ใช้พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม และพลังงานสุทธิสะสมสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$ และ $P<0.05$ ตามลำดับ) ส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อผลผลิตของกลุ่มการทดลองที่ 1 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 (0.54 และ 0.43) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การกินได้ของโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการของ ARC (1980, 1984) และ AFRC (1992) แสดงไว้ดังตารางที่ 7.10 พบว่าทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง ได้รับ RDP และ UDP เพียงพอต่อความต้องการ

ตารางที่ 7.8 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 5.9 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 7.10 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_r)[5/]	572±102.36	429±128.77	0.0280	23.25
ความต้องการ 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/] $= UDP_R /(0.70*0.75)$

7.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

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 และเปอร์เซ็นต์เถ้าใน

กลุ่มการทดลองที่ 1 จะสูงกว่าในกลุ่มการทดลองที่ 2 เพราะหญ้าหมักเป็นอาหารหยาบมีที่ปริมาณของดินปนเปื้อนอยู่สูง เนื่องจากการเก็บเกี่ยวหญ้าโดยใช้รถตัดเพื่อนำมาทำการหมักนั้น จะมีการปลอมปนของดินติดมากับหญ้าด้วย

การกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป

การกินได้ของอาหารผสมสำเร็จรูป แสดงไว้ในตารางที่ 7.3 ประกอบไปด้วย การกินได้วัตถุแห้งของอาหารผสม การกินได้ของโปรตีน และการกินได้ของพลังงาน ซึ่งพบว่าการกินได้ของวัตถุแห้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ซึ่งมียูเรียเป็นส่วนประกอบ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้ในอาหารผสมสำเร็จรูปหมักมีกลิ่นแอมโมเนียสูง มีผลทำให้โคกินอาหารได้ลดลง อีกทั้งในการเตรียมอาหารผสมสำเร็จรูปหมักเพื่อจ่ายให้โค จะใส่ถุงอาหารไว้ทำให้การระเหยของแอมโมเนียต่ำ 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) ได้ทดลองฉีดเคซีนในลำไส้เล็กส่วนต้นของแกะ พบว่าเพิ่มการกินได้ และทดลองฉีดเคซีนในกระเพาะรูเมน 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 และอาหารหยาบผสมที่มีชานอ้อยและฟางข้าวเป็นส่วนประกอบ ใช้เป็นอาหารโคนม ซึ่งการกินได้ของพลังงานอยู่ในช่วง 140 – 157 MJME/ตัว/วัน

นอกจากนี้การทำอาหารหมักในระดับ Large scale ซึ่งต้องเตรียมอาหารในปริมาณมาก การควบคุมคุณภาพอาจทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักมีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งค่อนข้างสูง (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

ปริมาณน้ำนม และส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม

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

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 7.9 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อผลผลิตในโคกลุ่มการทดลองที่ 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 7.6 จะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมไม่แตกต่าง ซึ่งการหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมได้มาจาก เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมคูณกับปริมาณน้ำนม จึงส่งผลให้ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างไรก็ตามพบว่าเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของน้ำนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 เพราะโคที่ให้นมลดลง แต่คุณภาพของน้ำนมจะสูงขึ้น คือเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีนจะเปลี่ยนแปลงมาก เปอร์เซ็นต์แลคโตสค่อนข้างคงที่ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันในน้ำนมสูงขึ้น (ม.ร.ว. ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2534)

การได้รับโปรตีนจากอาหาร โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (UDP)

จากผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 7.8 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 7.10 พบว่าโคทั้ง 2 กลุ่มการทดลองได้รับ RDP และ UDP เพียงพอต่อความต้องการในการผลผลิตน้ำนม ปริมาณ RDP ที่สูง เกิดจากอาหารมียูเรียเป็นส่วนประกอบ ซึ่งยูเรียสามารถแตกตัวได้เร็วในกระเพาะหมัก RDP ที่ได้รับจะสนับสนุนการการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ ทำให้มีจำนวนมากไหลผ่านไปย่อยในลำไส้เล็ก และถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ (Oldham, 1984) ซึ่งส่งผลให้ความต้องการ UDP เพียงพอต่อความต้องการเช่นกัน

การจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ

การกินได้ของพลังงานใช้ประโยชน์ ที่แสดงในตารางที่ 7.9 ของกลุ่มการทดลองที่ 2 ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากการกินได้วัตถุแห้งของกลุ่มการทดลองที่ 2 ลดลง นอกจากนี้ยังร่วมถึงพลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม พลังงานสุทธิสะสม Esmail (1999) พบว่าอาหารหมักที่เสริมด้วยยูเรีย หรือแอมโมเนียจะมีผลทำให้การกินได้ของพลังงานใช้ประโยชน์ และการใช้ประโยชน์ของพลังงานลดลง

7.7 สรุป

องค์ประกอบทางเคมีทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักที่ใช้เลี้ยงโคนมระยะต้นของการให้นม 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 ส่วนการได้รับ RDP, UDP และการจำแนกพลังงานต่างๆ ในกลุ่มการทดลองที่ 2 จะต่ำกว่าในกลุ่มการทดลองที่ 1 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการกินได้ของวัตถุแห้งในโคนมกลุ่มการทดลองที่ 2 ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ

จากงานวิจัยครั้งนี้ การทำอาหารหมักในระดับ Large scale การควบคุมคุณภาพอาจทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งค่อนข้างสูง ทำให้มีความชื้นต่ำ ซึ่งอาจจะมีผลทำให้กระบวนการหมักของอาหารไม่สมบูรณ์ และลดความน่ากินได้

บทที่ 8

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการนำเอาผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้งในประเทศไทย โดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้ทางการเกษตร และการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก ศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก และศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม (Early lactation) ซึ่งพบว่า

1. องค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้แต่ละชนิด มีค่าใกล้เคียงกับที่ได้มีรายงานไว้โดยผู้วิจัย และสถาบันต่างๆ ชานอ้อยสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบ แต่มีองค์ประกอบทางเคมีพวกโปรตีน ไขมัน และการย่อยสลายวัตถุแห้งค่อนข้างต่ำ วัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงานได้แก่ มันสำปะหลัง กากรำสกัดน้ำมัน และกากน้ำตาล เนื่องจากมันสำปะหลังสามารถย่อยสลายได้ดีในกระเพาะหมัก และวัตถุดิบที่เหมาะสมเป็นแหล่งโปรตีนได้แก่ กากเบียร์ และกากถั่วเหลือง โดยที่กากเบียร์ พบว่ามีปริมาณเยื่อใยค่อนข้างสูง

2. การศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก 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

3. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักตามระยะเวลา 1 – 6 เดือน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่เปอร์เซ็นต์โปรตีนมีเปอร์เซ็นต์ต่ำกว่าที่ได้คำนวณไว้ก่อนการทดลอง ส่วน NDF

และ ADF มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวอยู่ในระดับที่เหมาะสมตาม NRC (1988) แนะนำ แต่ระดับความเป็นกรด – ด่าง มีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนปริมาณกรดไขมันระเหยได้มีปริมาณค่อนข้างแปรปรวนในแต่ระยะเวลาการหมัก เมื่อพิจารณาการให้คะแนนตัดสินคุณภาพอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ซึ่งมีคะแนนอยู่ในระดับเดียวกันทั้ง 6 เดือน ดังนั้นการเก็บรักษาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก สามารถเก็บไว้ได้นาน ไม่น้อยกว่า 6 เดือน

4. องค์ประกอบทางเคมีทางเคมีของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักที่ใช้เลี้ยงโคนมระยะต้นของการให้นม กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มการทดลองที่ 2 อาหารผสมสำเร็จรูปหมัก โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์ไขมัน เถ้า เยื่อใย NDF และ ADF สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 เล็กน้อย

4.1 ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งในโคนมกลุ่มการทดลองที่ 2 ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมทั้งการกินได้ของโปรตีน และพลังงานใช้ประโยชน์ ส่วนการย่อยได้ของโภชนะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นการย่อยได้ของไขมัน ซึ่งกลุ่มการทดลองที่ 1 สามารถย่อยได้สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2

4.2 ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม ในโคนมกลุ่มการทดลองที่ 2 มีปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบต่ำกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมไม่มีความแตกต่าง ส่วนการได้รับ RDP, UDP และการจำแนกพลังงานต่างๆ ในกลุ่มการทดลองที่ 2 จะต่ำกว่าในกลุ่มการทดลองที่ 1 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการกินได้ของวัตถุแห้งในโคนมกลุ่มการทดลองที่ 2 ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ

โคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ใช้เลี้ยงโคนมให้ผลผลิตน้ำนมได้น้อยกว่าโคนมที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ ดังนั้นอาหารผสมสำเร็จรูปหมักจากผลพลอยได้ทางการเกษตรจึงยังไม่สามารถที่จะทดแทนอาหารหยาบคุณภาพดีได้ เนื่องจากการกินได้ของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่ำ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการนำเอาผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้งในประเทศไทย การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารผสมสำเร็จรูปหมักต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม (Early lactation) เนื่องจากการทำอาหารหมักในระดับ Large scale ซึ่งต้องเตรียมอาหารผสมสำเร็จรูปในปริมาณมาก การควบคุมคุณภาพอาจทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งของอาหารผสมสำเร็จรูปหมักในระดับ Large scale มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งค่อนข้างสูง ทำให้มีความชื้นต่ำ โดยที่หญ้าหมักสามารถแบ่งตามความชื้นได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าหมักสด (ความชื้น 70 – 80 เปอร์เซ็นต์) หญ้าหมักกึ่งสดกึ่งแห้ง (ความชื้น 60 – 70 เปอร์เซ็นต์) และหญ้าหมักแห้ง (ความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์) แต่อาหารหมักผสมสำเร็จรูปมีความชื้นเพียง 36.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจจะมีผลทำให้กระบวนการหมักของอาหารไม่สมบูรณ์ และลดความน่ากินได้ ดังนั้นในการผลิตอาหารหมักหรือพืชหมักในปริมาณมากๆ จึงควรควบคุมคุณภาพในทุกๆ ด้านให้ดีที่สุด

รายการอ้างอิง

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

จุฑามาศ บุญแย้ม. (2539). ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล. **วารสารน้ำตาล.** หน้า 1-12.

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

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.

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 2540**. กองอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สายขิม 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 วี.แลงเลย์. (2540). โครงการศึกษาและพัฒนาระบบข้อมูลถั่วเหลืองและพืชน้ำมันอื่น กรณีศึกษาวิจัยอุตสาหกรรมถั่วเหลือง. **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.

สุขสันต์ 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.

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

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

ศรันยา วิทยานุภาพยืนยง, จิตราภรณ์ ธวัชพันธุ์ และ อิสระ กรีธาพล. (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.

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.

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 sorrghum silage** [On-line]. Available: http://oznet.ksu.edu/pr_forage/silg.htm.

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.

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.

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.

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 hostein cows. **Journal of Dairy Science**. 78: 1534-1543.

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

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

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.

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.

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.

Ibrahim, M. N. M., and Pearce, G. R. (1983). Effects of chemical pretreaments on the composition and in vitro digestibility of crop by-products. **Agricutural 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. **Processding of Altech's 14th annual symposium**. By Lyons, T. P. and Jacques, K. A.. Nottingham, UK: Nottingham University press.

Kung, L. JR., Sheperd, A. C., Smagala, A. M., Endres, K. M., Bessett, C. A., Ranjit, N. K. and Glancey, J. L. (1998). The effects of preservatives based on propipnic 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.

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.

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 biochemimistry 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 biochemimistry of silage**. Marlow Chalcombe Publications. London.

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.

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

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.

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.

Polan, C. E., Stieve, D. E. and Grrett, J. L. (1998). Protein preservation and ruminal degradation of ensiled forage treated with heat, formic acid, amonia 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 suger cane by-product**. Bhartiyaa Agro Industries Foundation. India. pp. 76-93.

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.

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 assessmwnt 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 user' gude: Statistics. **NC: SAS Institute.**

Stokes, M. R. and Chen, J. (1994). Effects of an enzymes – inocculant 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.

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

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.

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 treaments 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 agricaltural residues research network** (Pp. 103-109). Khonkean. Thailand. (Pp. 103-109).

Weiss, W. P. and Shockey, W. L. (1990). Effect of alfalfa or orchardgrass 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 orchardgrass 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 presevatives, 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.

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. **Internationnal conference. Valencia, Spain. Vol.III. Rice bran utilization**, edited by S. Barber and E. Tortosa. Valencia; Institute for Agriculture Chemistry and Food Technology.

ภาคผนวก ก

การคำนวณการได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (UDP) ของอาหารผสมสำเร็จรูป

เราสามารถคำนวณหาค่า RDP และ UDP ได้จากสมการดังต่อไปนี้

RDP = CP * dg และ

CP = RDP + UDP หรือ UDP = CP – RDP

ดังนั้นการคำนวณหาค่า RDP และ UDP เราต้องทราบค่า dg ของอาหารก่อน

กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ ได้ค่าต่างๆ ดังนี้

โคนมกลุ่มการทดลองที่ 1 กินอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ วันละ 11.9 กิโลกรัมวัตถุแห้ง ในอาหารมีอาหารข้นโปรตีน 21.1 เปอร์เซ็นต์ มีค่า dg = 0.69 หญ้าหมักโปรตีน 5.8 เปอร์เซ็นต์ มีค่า dg = 0.63

ในอาหารผสมสำเร็จรูป 11.9 กิโลกรัมวัตถุแห้ง มีอาหารข้น = 6.94 กิโลกรัมมีโปรตีน = 1464 กรัม หญ้าหมัก 4.75 กิโลกรัม มีโปรตีน = 275 กรัม

จากสมการ RDP (อาหารข้น) = 1464 * 0.69 = 1010 กรัม/วัน

RDP (หญ้าหมัก) = 275 * 0.63 = 173 กรัม/วัน

RDP (รวม) = 1010 + 173 ≈ 1184 กรัม/วัน

และ UDP = (1464 + 275) – 1184 ≈ 556

กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ได้ค่าต่างๆ ดังนี้

โคนมกลุ่มการทดลองที่ 2 กินอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก วันละ 10.03 กิโลกรัมวัตถุแห้ง ในอาหารมีโปรตีน 13.02 เปอร์เซ็นต์ มีค่า dg = 0.75

ในอาหาร 1 กิโลกรัมวัตถุแห้ง มีโปรตีน = 130.2 กรัม ดังนั้นในอาหาร 10.03 กิโลกรัมวัตถุแห้ง มีโปรตีน = 1305.9 กรัม

จากสมการ RDP = 1305.9 * 0.75 = 979 กรัม/วัน

และ UDP = 1305.6 – 979 = 326 กรัม/วัน

2. ความต้องการพลังงานและโปรตีน (จากตารางที่ 7.9 และ 7.10)

สามารรถคำนวณได้จากสมการต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณความต้องการ ME_m NE_l NE_g NEretention และประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อผลผลิต (% Efficiency) ทั้งหมดต่อวัน (MJ/day) ได้ดังนี้

$ME_m = 0.60LW^{0.75}$(ARC, 1980)

NE_l = 0.0406 Fat (g/kg Milk) + 1.509 (Tyrrell and Reid, 1965)

NE_g = 19 MJ/kg Gain และ 16 MJ/kg Loss (AFRC, 1992)

NEretention = $NE_l + NE_g$

$NP_R = NP_m + NP_l + NP_g$

เมื่อ

NP_m (g/day) = $2.3\ LW^{0.75}$

NP_l = Milk yield (kg/day) x Milk protein content (g/kg Milk)

NP_g = 150 g/kg gain or 112 g/kg Loss

RDP requirement (g/day) = 8.38MEintake (MJ/day)

TP_{mp} = 8.38MEintake x 0.80 x 0.85 x 0.80

UDP requirement = $NP_R - TP_{mp}$

UDP จากอาหาร = $(NP_R - TP_{mp})/(0.70 \times 0.75)$

ความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคกลุ่มที่ 1 ที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

โคนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 431 กิโลกรัม ให้น้ำนมเฉลี่ย 13 กิโลกรัม น้ำนมมีไขมันนมเฉลี่ย 3.54 เปอร์เซ็นต์ โคนมมีน้ำหนักลดลงวันละ 89 กรัมต่อวัน มีการกินได้พลังงาน (MEintake) = 124 MJ/day

จากสมการ

$ME_m = 0.60LW^{0.75}$

$= 0.60 * 431^{0.75} = 57$ MJ/day

$NE_l = 0.0406$ Fat (g/kg Milk) + 1.509

$= [(0.0406*35.4) + 1.509]*13$

$= 38$ MJ/day

$NE_g = 16$ MJ/kg Loss

$NEretention = NE_l + NE_g$

$= 38 + (-0.9) = 37$ MJ/day

จากสมการ

$NP_R = NP_m + NP_l + NP_g$

NP_m (g/day) $= 2.3\ LW^{0.75}$

$= 2.3*431^{0.75} = 217$ g/day

NP_l = Milk yield (kg/day) x Milk protein content (g/kg Milk)

$= 13*27.7 \approx 357$ g/day

$NP_g = 112$ g/kg Loss

ดังนั้น $NP_R = 217 + 357 + (-2.71) \approx 572$ g/day

RDP requirement (g/day) = 8.38MEintake (MJ/day)

$= 8.38*124 \approx 1042$ g/day

$TP_{mp} = 8.38MEintake \times 0.80 \times 0.85 \times 0.80$

$= 1042 \times 0.80 \times 0.85 \times 0.80 = 567$ g/day

UDP requirement = $NP_R - TP_{mp}$

$= 572 – 567 = 5$ g/day

UDP จากอาหาร = $(NP_R - TP_{mp})/(0.70 \times 0.75)$

$= 5 / (0.70 \times 0.75) = 9$ g/day

ความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคกลุ่มที่ 2 ที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

โคนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 409 กิโลกรัม ให้น้ำนมเฉลี่ย 9.2 กิโลกรัม น้ำนมมีไขมันนมเฉลี่ย 3.83 เปอร์เซ็นต์ โคนมมีน้ำหนักลดลงวันละ 478 กรัมต่อวัน มีการกินได้พลังงาน (MEintake) = 100 MJ/day

จากสมการ

$ME_m = 0.60LW^{0.75}$

$= 0.60*409^{0.75} = 55$ MJ/day

$NE_l = 0.0406$ Fat (g/kg Milk) + 1.509

$= [(0.0406*38.3) + 1.509]*9.2$

$= 28$ MJ/day

$NE_g = 16$ MJ/kg Loss

$NEretention = NE_l + NE_g$

$= 28 + (-7.6) = 20$ MJ/day

จากสมการ

$NP_R = NP_m + NP_l + NP_g$

NP_m (g/day) = $2.3\ LW^{0.75}$

$= 2.3*409^{0.75} = 209$ g/day

NP_l = Milk yield (kg/day) x Milk protein content (g/kg Milk)

$= 9.2 * 29.9 \approx 273$ g/day

$NP_g = 112$ g/kg Loss

ดังนั้น $NP_R = 209 + 273 + (-53) \approx 429$ g/day

RDP requirement (g/day) = 8.38MEintake (MJ/day)

$= 8.38*100 \approx 839$ g/day

TP_{mp} = 8.38MEintake x 0.80 x 0.85 x 0.80

= 839 x 0.80 x 0.85 x0.80 = 456 g/day

UDP requirement = $NP_R - TP_{mp}$

= 429 – 456 = -27 g/day

UDP จากอาหาร = $(NP_R - TP_{mp})/(0.70 \times 0.75)$

= -27 / (0.70 x 0.75) = -52 g/day

ตารางที่ 1 แสดงคะแนนตัดสินคุณภาพของอาหารหมักโดยความสัมพันธ์ของกรดไขมันระเหยได้

Lactate (%)	Flieg point	Acetate (%)	Flieg point	Butyrate (%)	Flieg point
0.0-20.0	0.0	0.0-20.0	25.0	0.0-1.5	50.0-45.0
20.1-25.0	2.5	20.1-24.0	23.0	1.6-3.0	38.0
25.1-30.0	5.0	24.1-28.0	21.0	3.1-4.0	37.0
30.1-34.0	7.0	28.1-32.0	19.0	4.1-6.0	34.0
34.1-38.0	9.0	32.1-36.0	17.0	6.1-8.0	32.0
38.1-42.0	11.0	36.1-40.0	15.0	8.1-10.0	30.0
42.1-46.0	13.0	40.1-45.0	12.5	10.1-12.0	28.0
46.1-50.0	15.0	45.1-50.0	10.0	12.1-14.0	26.0
50.1-54.0	17.0	50.1-55.0	7.5	14.1-16.0	24.0
54.1-58.0	19.0	55.1-60.0	5.0	16.1-18.0	22.0
58.1-62.0	21.0			18.1-20.0	20.0
62.1-70.0	23.0			20.1-25.0	15.0
> 75.0	25.0			25.1-30.0	10.0
				30.1-40.0	5.0
				> 40.0	0.0

ตารางที่ 2 ต้นทุนอาหารผสมสำเร็จรูปหมักตามสูตรต่าง

วัตถุดิบ	ราคา/ก.ก. สด (บาท)	ราคาอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก/ 100 กิโลกรัมสด				
		สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
ชานอ้อย	0.30	8.40	8.40	9.00	9.30	9.90
มันสำปะหลัง	2.70	27.00	39.15	56.70	72.90	89.10
กากถั่วเหลือง	9.70	77.60	48.50	38.80	24.25	9.70
กากเบียร์	1.33	53.00	50.35	42.40	34.45	25.18
กากรำสกัดน้ำมัน	5.10	45.90	45.90	35.70	35.70	35.70
กากน้ำตาล	2.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
ยูเรีย	6.00	-	3.00	6.00	9.00	12.00
รวม		224.40	207.80	201.10	198.10	194.08
ราคา/ก.ก. สด		2.24	2.08	2.01	1.98	1.94

ภาคผนวก ข

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely random design, CRD)

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ ค่าสังเกตแต่ละค่า
μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร
α_i คือ ผลของทรีทเมนต์ที่ 1
ε_{ij} คือ ค่าความคาดเคลื่อนของค่าสังเกตที่ j ในทรีตเมนต์ i
i คือ 1, 2, 3,…,k (ให้ k เป็นจำนวนทรีตเมนต์)
j คือ 1, 2, 3,…,n (ให้ n เป็นจำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีตเมนต์)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial experiment)

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ ค่าสังเกตแต่ละค่า
μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร
α, β คือ อิทธิพลหลักของแฟกเตอร์ A และ B ตามลำดับ
$\alpha\beta$ คือ ปฏิกิริยาระหว่างอิทธิพลหลัก
ε คือ ค่าความคาดเคลื่อนในการทดลอง
i คือ จำนวนระดับของแฟกเตอร์ A
j คือ จำนวนระดับของแฟกเตอร์ B
k คือ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีทเมนต์

การทดลองแบบรวมกลุ่ม (Group Comparison)

ในการทดลองเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 2 กลุ่ม ทำโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่ม คือ $X_1 - X_2$ ซึ่งมีการประมาณความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร คือ ระหว่าง $\mu_1 - \mu_2$ การตรวจสอบทำได้โดย T- TEST

$$t = \frac{(X_1 - X_2)\sqrt{n}}{s\sqrt{2}}$$

ในการคำนวณ t นี้กำหนดว่าทั้ง 2 ตัวแทนมีวาเรียนซ์เท่ากันคือ s^2 และ $df = 2(n-1)$

ตารางวิเคราะห์วาเรียนซ์

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์องค์ประกอบทางเคมีของการทดลองที่ 2 (บทที่ 5)

Source	**df**	**SS**	**MS**	**F value**	**Pr > F**
Dry matter					
Treatment	14	733.33	52.38	33.98	0.0001
Age (A)	2	5.45	2.73	1.77	0.1818
Formula (F)	4	669.52	167.38	108.59	0.0001
A x F	8	58.35	7.29	4.73	0.0003
Error	45	69.36	1.54		
Total	59	802.69			
R^2 = 0.91		C.V. = 2.5			
Protein					
Treatment	14	47.26	3.38	2.55	0.0089
Age (A)	2	7.67	3.83	2.89	0.0657
Formula (F)	4	24.41	6.10	4.60	0.0033
A x F	8	15.18	1.89	1.43	0.2098
Error	45	59.64	1.33		
Total	59	106.90			
R^2 = 0.44		C.V. = 7.61			
Fat					
Treatment	14	18.56	1.32	3.94	0.0002
Age (A)	2	2.92	1.46	4.34	0.0189
Formula (F)	4	12.31	3.08	9.15	0.0001
A x F	8	3.33	0.42	1.24	0.3002
Error	45	15.14			
Total	59	33.70			
R^2 = 0.55		C.V. = 15.4			

Source	**df**	**SS**	**MS**	**F value**	**Pr > F**
Ash					
Treatment	14	9.64	0.69	5.06	0.0001
Age (A)	2	0.33	0.16	1.21	0.3070
Formula (F)	4	5.75	1.44	10.56	0.0001
A x F	8	3.56	0.44	3.27	0.0051
Error	45	6.12	0.14		
Total	59	15.76			
R^2 = 0.61		C.V. = 6.21			
CF					
Treatment	14	171.33	12.24	5.90	0.0001
Age (A)	2	55.67	27.84	13.43	0.0001
Formula (F)	4	75.92	18.98	9.16	0.0001
A x F	8	39.733	4.96	2.40	0.0303
Error	45	93.29	2.07		
Total	59	264.61			
R^2 = 0.65		C.V. = 9.37			
NDF					
Treatment	14	143.57	10.26	1.63	0.1086
Age (A)	2	0.88	0.44	0.07	0.9329
Formula (F)	4	104.49	26.12	4.14	0.0061
A x F	8	38.21	4.78	0.76	0.6412
Error	45	283.73	6.31		
Total	59	427.30			
R^2 = 0.34		C.V. = 7.09			

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
ADF					
Treatment	14	17.08	1.22	0.42	0.9613
Age (A)	2	1.29	0.64	0.22	0.8032
Formula (F)	4	3.73	0.93	0.32	0.8641
A x F	8	12.06	1.51	0.52	0.8385
Error	45	131.63	2.93		
Total	59	148.72			
R^2 = 0.11		C.V. = 9.60			
pH					
Treatment	14	1.38	0.098	12.72	0.0001
Age (A)	2	0.17	0.086	11.22	0.0001
Formula (F)	4	1.16	0.290	37.51	0.0001
A x F	8	0.04	0.005	0.7	0.6938
Error	45	0.34	0.008		
Total	59	1.72			
R^2 = 0.80		C.V. = 2.11			

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ย่อยสลายวัตถุแห้งของการทดลองที่ 2 (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
ชั่วโมงที่ 0					
Treatment	14	2465.43	176.10	36.06	0.0001
Age (A)	2	522.19	261.09	53.47	0.0001
Formula (F)	4	1430.95	357.74	73.26	0.0001
A x F	8	512.30	64.04	13.11	0.0001
Error	30	146.50	4.88		
Total	44	2611.94			
R^2 = 0.94		C.V. = 5.07			
ชั่วโมงที่ 6					
Treatment	14	1285.78	91.84	5.09	0.0001
Age (A)	2	32.74	16.37	0.91	0.4146
Formula (F)	4	1079.22	269.81	14.94	0.0001
A x F	8	173.82	21.73	1.20	0.3304
Error	30	541.73	18.06		
Total	44	1827.52			
R^2 = 0.70		C.V. = 8.0			
ชั่วโมงที่ 12					
Treatment	14	1225.95	87.57	4.43	0.0003
Age (A)	2	15.68	7.84	0.40	0.6762
Formula (F)	4	1048.18	262.04	13.25	0.0001
A x F	8	162.09	20.26	1.02	0.4394
Error	30	593.17	19.77		
Total	44	1819.12			
R^2 = 0.67		C.V. = 8.04			

Source	**df**	**SS**	**MS**	**F value**	**Pr > F**
ชั่วโมงที่ 24					
Treatment	14	825.47	58.96	4.20	0.0005
Age (A)	2	135.52	67.76	4.83	0.0152
Formula (F)	4	501.73	125.43	8.94	0.0001
A x F	8	188.21	23.53	1.68	0.1454
Error	30	420.99	14.03		
Total	44	1246.45			
R^2 = 0.66		C.V. = 6.26			
ชั่วโมงที่ 48					
Treatment	14	329.71	23.55	2.01	0.0539
Age (A)	2	75.45	37.72	3.21	0.0544
Formula (F)	4	149.01	37.25	3.17	0.0275
A x F	8	105.25	13.15	1.12	0.3782
Error	30	352.32	11.74		
Total	44	682.03			
R^2 = 0.48		C.V. = 5.22			
ชั่วโมงที่ 72					
Treatment	14	317.04	22.65	1.42	0.2042
Age (A)	2	133.57	66.79	4.19	0.0249
Formula (F)	4	63.74	15.93	1.00	0.4235
A x F	8	119.74	14.97	0.94	0.5004
Error	30	478.53	15.95		
Total	44	795.57			
R^2 = 0.40		C.V. = 5.77			

Source	**df**	**SS**	**MS**	**F value**	**Pr > F**
ชั่วโมงที่ 96					
Treatment	14	338.34	24.17	1.84	0.0796
Age (A)	2	139.25	69.62	5.29	0.0108
Formula (F)	4	56.68	14.17	1.08	0.3855
A x F	8	142.41	17.80	1.35	0.2570
Error	30	394.86	13.16		
Total	44	733.21			
$R^2 = 0.46$		C.V. = 5.03			

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ย่อยสลายโปรตีนของการทดลองที่ 2 (บทที่ 5)

Source	**df**	**SS**	**MS**	**F value**	**Pr > F**
ชั่วโมงที่ 0					
Treatment	14	7729.27	552.09	180.99	0.0001
Age (A)	2	78.45	39.22	12.86	0.0001
Formula (F)	4	7195.65	1798.91	589.73	0.0001
A x F	8	455.16	56.89	18.65	0.0001
Error	30	91.51	3.05		
Total	44	7820.78			
R^2 = 0.98		C.V. = 3.57			
ชั่วโมงที่ 6					
Treatment	14	5901.02	421.50	25.77	0.0001
Age (A)	2	37.38	18.69	1.14	0.3324
Formula (F)	4	5658.80	1414.70	86.49	0.0001
A x F	8	204.83	25.60	1.57	0.1773
Error	30	490.73	16.35		
Total	44	6391.73			
R^2 = 0.92		C.V. = 6.86			
ชั่วโมงที่ 12					
Treatment	14	4667.41	333.38	21.49	0.0001
Age (A)	2	53.86	26.93	1.74	0.1935
Formula (F)	4	4451.32	1112.83	71.73	0.0001
A x F	8	162.23	20.28	1.31	0.2776
Error	30	465.42	15.51		
Total	44	5132.83			
R^2 = 0.91		C.V. = 6.36			

Source	**df**	**SS**	**MS**	**F value**	**Pr > F**
ชั่วโมงที่ 24					
Treatment	14	3616.11	258.29	26.86	0.0001
Age (A)	2	246.99	123.50	12.84	0.0001
Formula (F)	4	3153.25	788.31	81.99	0.0001
A x F	8	215.86	26.98	2.81	0.0190
Error	30	288.44	9.61		
Total	44	3904.54			
R^2 = 0.92		C.V. = 4.64			
ชั่วโมงที่ 48					
Treatment	14	1141.63	81.54	12.41	0.0001
Age (A)	2	92.35	46.18	7.03	0.0031
Formula (F)	4	849.01	212.25	32.29	0.0001
A x F	8	200.26	25.03	3.81	0.0034
Error	30	197.19	6.57		
Total	44	1338.81			
R^2 = 0.85		C.V. = 3.42			
ชั่วโมงที่ 72					
Treatment	14	761.31	54.38	7.53	0.0001
Age (A)	2	286.01	143.05	19.80	0.0001
Formula (F)	4	185.56	46.39	6.42	0.0007
A x F	8	289.64	36.21	5.01	0.0005
Error	30	216.71	7.22		
Total	44	978.02			
R^2 = 0.78		C.V. = 3.35			

Source	**df**	**SS**	**MS**	**F value**	**Pr > F**
ชั่วโมงที่ 96					
Treatment	14	464.49	33.18	6.29	0.0001
Age (A)	2	114.92	57.46	10.9	0.0003
Formula (F)	4	161.84	40.46	7.67	0.0002
A x F	8	187.73	23.47	4.45	0.0012
Error	30	158.17	5.27		
Total	44	622.65			
R^2 = 0.75		C.V. = 2.73			

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของการทดลองที่ 2 (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
Lactate					
Treatment	14	2785.85	198.98	4.19	0.0001
Age (A)	2	827.27	413.63	8.70	0.0006
Formula (F)	4	1160.06	290.02	6.10	0.0005
A x F	8	798.51	99.81	2.10	0.0557
Error	45	2139.32	47.54		
Total	59	4925.17			
R^2 = 0.57		C.V. = 20.1			
Acetate					
Treatment	14	247.42	17.67	4.26	0.0001
Age (A)	2	68.29	34.15	8.24	0.0009
Formula (F)	4	42.52	10.63	2.56	0.0510
A x F	8	136.60	17.08	4.12	0.0009
Error	45	186.58	4.15		
Total	59	434.01			
R^2 = 0.57		C.V. = 23.8			
Flieg point					
Treatment	14	1649.95	117.85	3.87	0.0003
Age (A)	2	655.91	327.95	10.78	0.0001
Formula (F)	4	125.42	31.35	1.03	0.4020
A x F	8	868.63	108.58	3.57	0.0028
Error	45	1369.19	30.42		
Total	59	3019.15			
R^2 = 0.54		C.V. = 5.85			

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์องค์ประกอบทางเคมีของการทดลองที่ 3 (บทที่ 6)

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
Dry matter					
Model	5	39.02	7.80	1.07	0.4100
Error	18	131.44	7.30		
Total	23	170.45			
$R^2 = 0.23$		C.V. = 5.33			
Protein					
Model	5	0.83	0.16	0.32	0.8916
Error	18	9.17	0.51		
Total	23	9.99			
$R^2 = 0.08$		C.V. = 5.67			
Fat					
Model	5	0.23	0.05	0.60	0.7015
Error	18	1.41	0.08		
Total	23	1.64			
$R^2 = 0.14$		C.V. = 13.73			
Ash					
Model	5	13.19	2.64	1.92	0.1409
Error	18	24.75	1.37		
Total	23	37.95			
$R^2 = 0.35$		C.V. = 13.58			
CF					
Model	5	12.04	2.41	1.41	0.2694
Error	18	30.85	1.71		
Total	23	42.89			
$R^2 = 0.28$		C.V. = 9.90			

Source	**df**	**SS**	**MS**	**F value**	**Pr > F**
NDF					
Model	5	141.49	28.29	3.90	0.0143
Error	18	130.66	7.26		
Total	23	272.16			
R^2 = 0.52		C.V. = 7.70			
ADF					
Model	5	140.40	28.08	11.54	0.0001
Error	18	43.78	2.43		
Total	23	184.18			
R^2 = 0.76		C.V. = 7.44			
pH					
Model	5	2.27	0.45	7.93	0.0004
Error	18	1.03	0.05		
Total	23	3.29			
R^2 = 0.68		C.V. =4.96			

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์กรดไขมันระเหยได้ของการทดลองที่ 3 (บทที่ 6)

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
Lactate					
Model	5	1131.22	226.24	5.02	0.0047
Error	18	810.48	45.03		
Total	23	1941.71			
R^2 = 0.58		C.V. = 25.7			
Acetate					
Model	5	192.98	38.60	4.22	0.0103
Error	18	164.74	9.15		
Total	23	357.72			
R^2 = 0.53		C.V. = 21.78			
Butyrate					
Model	5	22.41	4.48	3.32	0.0269
Error	18	24.32	1.35		
Total	23	46.73			
R^2 = 0.48		C.V. = 40.2			
Flieg point					
Model	5	397.21	79.44	1.40	0.2718
Error	18	1022.75	56.82		
Total	23	1419.96			
R^2 = 0.28		C.V. = 10.65			

ประวัติผู้เขียน

นายพิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ เกิดเมื่อวันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดนครราชสีมา ศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2541 และได้ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2542