การปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมี เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งของโคนมในประเทศไทย

นางสาวคู่ขวัญ จุลละนันทน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-7359-76-6

CHEMICAL TREATMENT OF BAGASSE TO COMPENSATE ROUGHAGE SHORTAGE DURING DRY SEASON FOR DAIRY CATTLE IN THAILAND

Miss. Kukwan Chullanandana

A 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 2000

ISBN 974-7359-76-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมี เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งของโคนมในประเทศไทย

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……..……..……...…...

(รศ.ดร. พงษ์ชาญ ณ ลำปาง)

ประธานกรรมการ

……..……..……...

(ผศ.ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

……..……..……...

(อ.นสพ.ดร. บัญชร ลิขิตเดชาโรจน์)

กรรมการ

……..……..……...

(รศ.ดร. กนก ผลารักษ์)

กรรมการ

……

(รศ.ดร. เกษม ปราบริปุตลุง)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

……..……...

(รศ.ดร. กนก ผลารักษ์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

คู่ขวัญ จุลละนันทน์ : การปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมี เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งของโคนมในประเทศไทย
(CHEMICAL TREATMENT OF BAGASSE TO COMPENSATE ROUGHAGE SHORTAGE DURING DRY SEASON FOR DAIRY CATTLE IN THAILAND)
อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 112 หน้า. ISBN 974-7359-76-6.

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมี เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งของโคนม แบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยใช้ถุงไนล่อนของชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพ พบว่าชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันค่อนข้างต่ำ แต่มีองค์ประกอบพวก CF, NDF และ ADF สูง ส่วนการย่อยสลายในกระเพาะหมักค่อนข้างต่ำ

การทดลองที่ 2 ศึกษาองค์ประกอบและการย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยใช้ถุงไนล่อนของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการต่างๆ ทางเคมี โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) 9 กลุ่มทดลองคือ ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ และ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 3% โซเดียมไฮดรอกไซด์; 6% โซเดียมไฮดรอกไซด์; 3% ยูเรีย; 6% ยูเรีย; 3% โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมด้วย 3% ยูเรีย; 3% โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมด้วย 6% ยูเรีย; 6% โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมด้วย 3% ยูเรีย; 6% โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมด้วย 6% ยูเรีย ตามลำดับ พบว่าโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้น ในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรีย ส่วนเปอร์เซ็นต์เถ้าในกลุ่มชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สูง ระดับของเถ้าที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ตกค้างในชานอ้อย และส่วนประกอบพวก CF, NDF และ ADF ต่ำในกลุ่มชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักนี้สามารถสรุปได้ว่า วิธีการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ การปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีการย่อยสลายในกระเพาะหมักสูงที่สุด

การทดลองที่ 3 ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพและอาหารหยาบสดต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม ใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซี่ยน ในช่วงต้นระยะให้นม จำนวน 18 ตัว จัดการทดลองแบบ Group comparison ตามผลผลิตน้ำนม ระยะการให้นม(ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ย 16.2±0.7 กิโลกรัมต่อวัน ระยะให้นม 42±6 วัน) จัดเป็น 2 กลุ่มทดลอง กลุ่มละ 9 ตัว กลุ่มทดลองที่ 1 ได้รับอาหารต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่ม

ทดลองที่ 2 ได้รับชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ ให้อาหารโคนมในรูปอาหารผสม TMR คำนวณตามส่วนประกอบของอาหารและองค์ประกอบทางโภชนะตามความต้องการของโคนมในการทดลอง เผื่อ 5 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาทดลอง 7 สัปดาห์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างโคทั้งสองกลุ่มทดลองในลักษณะต่างๆ ที่ทำการศึกษา ยกเว้นปริมาณไขมันนม น้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็งรวมในนม ที่กลุ่มทดลองชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลตอบแทนทางด้านการเงิน พบว่าโคนมทั้งสองกลุ่มทดลองให้ผลตอบแทนด้านการเงินใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามอาหารผสม TMR ที่มีชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ สามารถใช้เลี้ยงโคนมในช่วงต้นระยะการให้นมได้ดีเท่าๆ กับโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR ที่มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ ดังนั้นชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีประโยชน์ และเป็นแนวทางเลือกสำหรับกลุ่มผู้เลี้ยงโคนมในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งที่ขาดแคลนพืชอาหารสัตว์สด ของทุกๆ ปี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

KUKHUAN CHULLANANDANA : CHEMICAL TREATMENT OF BAGASSE TO COMPENSATE ROUGHAGE SHORTAGE DURING DRY SEASON FOR DAIRY CATTLE IN THAILAND. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF WISITIPORN SUKSOMBAT, Ph.D. 112 P. ISBN 974-7359-76-6.

This thesis studies chemical composition of untreated bagasse and chemical treatment of bagasse to compensate roughage shortage during dry season for dairy cattle. The first experiment was conducted to determine chemical composition and nylon bag degradability of untreated bagasse. The results showed that crude protein (CP) and ether extract (EE) concentration in bagasse were low, on the other hand, the crude fibre (CF), neutral detergent fibre (NDF) and acid detergent fibre (ADF) contents were high. All degradability values of bagasse was low.

The second experiment was conducted to investigate the effect of different chemical treatments on change in chemical composition and on degradability of treated bagasse in a completely randomized design (CRD). The 9 treatments included: untreated control; 3% NaOH; 6% NaOH; 3% Urea; 6% Urea; 3% NaOH&3% Urea; 3% NaOH&6% Urea; 6% NaOH&3% Urea; 6% NaOH&3% Urea respectively. The CP contents were increased by treatment with urea. Ash contents were all high by sodium hydroxide treatments. The high ash levels may have been affected by the residual sodium hydroxide. CF, NDF and ADF contents were low in sodium hydroxide treatments. From the degradability studies, it can be concluded that the most efficient treatments were that treatment with 6% sodium hydroxide because the degradability value was highest. However, before the conclusion will be drawn, the cost of treatment, the practical implication the acceptance by farmers and the harmful effect to environmental condition should be taken in to account.

The final trial was conducted to determine the effect of treated bagasse or fresh forage on milk production of dairy cow in early lactation. Eighteen Holstein Friesian crossbred cows in early lactation, with a mean milk yield of 16.2±0.7 kg/day and 42±6 days in milk, were assigned in two groups (Group comparison). Each group consisted of nine dairy cows. The first group received fresh cut maize as a basal diet while another group received 6% NaOH treated bagasse

as a basal diet. Each group of cows was fed as total mixed ration (TMR). Ground maize and soybean meal mixed to each ration to balance for energy and protein requirement respectively. All performances measured were not statistically significantly different between the two groups. However, milk fat yield , 4% fat corrected milk (FCM 4%) and total solid (TS) yield were higher ($P<0.05$) for cows fed treated bagasse group than those fed fresh cut maize group. Furthermore, when an economic assessment was made, no difference between the two groups was observed. However, total mixed ration containing 6% NaOH treated bagasse can be used as good as total mixed ration fresh cut maize in early lactation dairy cows. The present study has suggested that 6% NaOH treated bagasse can be used as fibre or roughage sources in total mixed ration and it gives a good choice for the farmers to solve the problem during the roughage shortage particularly during the dry season.

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา_____
ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ที่ได้กรุณาสละเวลามาให้คำปรึกษา แนะนำ แนวคิดในการดำเนินการวิจัย การแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ ทั้งใน ด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัย อีกทั้งให้กำลังใจและดูแลอย่างใกล้ชิด

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ชาญ ณ ลำปาง และอาจารย์นายสัตวแพทย์ ดร. บัญชร ลิขิตเดชาโรจน์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. กนก ผลารักษ์ อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และผู้จัดการฟาร์มมหาวิยาลัย ที่ให้คำแนะนำต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณ ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และโคนมในการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ข้าวโพดบดจำนวน 4.5 ตัน เพื่อเป็นอาหารสำหรับโคนมในการวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ บุคลากรประจำอาคารเครื่องมือต่างๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีมาตลอด จนทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา และขอขอบคุณ พี่ น้อง และเพื่อนๆ ทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจอย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

คู่ขวัญ จุลละนันทน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)……ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)……ค

กิตติกรรมประกาศ……จ

สารบัญ……..ฉ

สารบัญตาราง……....ฎ

สารบัญภาพ……...ฐ

บทที่

1 บทนำ……..……..1

1.1 วัตถุประสงค์ สมมุติฐาน และขอบเขตการวิจัย……..……2

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……..……..3

2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..…….. 4

1.1 ส่วนประกอบทางเคมีของชานอ้อยหรือผลพลอยได้จากอ้อย……...……...……4

1.2 ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล……...……7

1.3 วิธีการปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของอาหารหยาบ…...……8

2.3.1 วิธีการปรับปรุงทางกายภาพ……..…8

2.3.2 วิธีการปรับปรุงทางเคมี……..……...8

2.3.3 วิธีการปรับปรุงร่วมระหว่างวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี……....…10

2.2.4 วิธีการปรับปรุงทางชีววิทยา……..……11

1.4 การปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรโดยวิธีการทางเคมี.....……...13

1.4.1 กลไกการเพิ่มการย่อยได้ด้วยการปรับปรุงคุณภาพ โดยวิธีการทางเคมี……...13

1.1.2 ปริมาณที่เหมาะสมของสารเคมีต่อการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ ทางการเกษตร……..…13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3 ผลกระทบของการปรับปรุงคุณภาพผลพลอยได้ทางการเกษตร
โดยวิธีทางเคมีต่อสุขภาพของสัตว์……..…14
2.4.4 การปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมี……..…15
2.5 น้ำนมโค……16
2.5.1 องค์ประกอบของน้ำนม……...……...16
2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม…….....18
2.6 ความต้องการโภชนะของโคนม……..…20
2.6.1 พลังงาน……..…..20
2.6.2 โปรตีน…….....21
2.6.3 แร่ธาตุ……..…22
2.6.4 วิตามิน……24
2.6.5 น้ำ……25
2.7 หลักการทางพลังงาน……..……..……26
2.6.1 หน่วยพลังงาน……26
2.6.2 ระบบพลังงาน……27
2.6.3 การจำแนกประเภทพลังงาน……28
2.8 ความต้องการพลังงานและโปรตีน……30
2.8.1 ความต้องการพลังงาน……30
2.8.2 ความต้องการโปรตีน……...33
2.9 ผลตอบสนองด้านการให้ผลผลิตน้ำนมและส่วนประกอบน้ำนม
ต่อระดับการให้อาหาร……35
2.9.1 ผลตอบสนองด้านการให้ผลผลิตน้ำนมและส่วนประกอบน้ำนม
ต่อระดับการให้พลังงาน……..35
2.9.2 ผลตอบสนองด้านการให้ผลผลิตน้ำนมและส่วนประกอบน้ำนม
ต่อระดับการให้โปรตีน……...36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10 การควบคุมการกินอาหาร……..37

2.10.1 Metabolic Factors……...37

2.10.2 Physical Factors……..38

2.11 การย่อยได้ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก……..40

2.11.1 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมภายใจกระเพาะหมักของจุลินทรีย์……40

2.11.2 การกระจายตัวของจุลินทรีย์……41

2.11.3 การย่อยสลายของสารประกอบเยื่อใย……..42

2.11.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้ในกระเพาะหมัก……42

3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายของชานอ้อย…..……...……..44

3.1 อุปกรณ์และวิธีการ……...……...……44

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล……...……....46

3.3 สถานที่ทำการทดลอง……...……46

3.4 ระยะเวลาทำการทดลอง……...……46

3.5 ผลการทดลอง……...……46

3.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย……...46

3.5.2 การย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพ……47

3.5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง……..49

3.5.4 สรุป……51

4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพ

โดยวิธีการทางเคมีต่างๆ……..……...……..52

4.1 อุปกรณ์และวิธีการ……..……...……...……...…53

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล……...……....54

3.3 สถานที่ทำการทดลอง……...……..54

3.4 ระยะเวลาทำการทดลอง……...……...54

3.5 ผลการทดลอง……...……...……..54

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพ
โดยวิธีการทางเคมีต่างๆ……...…...54

3.3.2 การย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพ
โดยวิธีการทางเคมี…….55

3.3.3 คัดเลือกวิธีที่ดีที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยจากที่ได้ทำ
การปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ……60

3.3.4 วิจารณ์ผลการทดลอง……..60

3.3.5 สรุป…….62

5 การศึกษาผลของการใช้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพและอาหารหยาบสดต่อ
ผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นการให้นม……..……..……..63

5.1 อุปกรณ์และวิธีการ……..……..……...……64

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล……..……..68

5.3 สถานที่ทำการทดลอง……..……..69

5.4 ระยะเวลาทำการทดลอง……...……..……...69

3.5 ผลการทดลอง……..……..69

3.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสม TMR..……...…...69

3.3.2 การกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR……..……..70

3.3.3 การย่อยได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR…..……..71

3.3.4 ปริมาณน้ำนมและปริมาณส่วนประกอบของน้ำนม..……..74

3.3.5 เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของน้ำนม น้ำหนักตัว และ
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง……...74

3.3.6 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับ
อาหารผสม TMR……....……..77

3.3.7 วิจารณ์ผลการทดลอง……..80

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.8 สรุป……82
6 สรุปผลการวิจัย…….……..…… 84
รายการอ้างอิง…….. 87
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก……94
ภาคผนวก ข……...……104
ประวัติผู้เขียน……112

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยที่ได้มีรายงานไว้……5
2.2 ปริมาณขององค์ประกอบหลักของน้ำนมดิบ……..16
3.1 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยก่อนการปรับปรุงคุณภาพ……47
3.2 การย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยวิธี Nylon bag technique ของชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพ……48
4.1 สารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อย……56
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพ โดยวิธีการทางเคมีต่างๆ……57
4.3 การย่อยสลายวัตถุแห้งในกระเพาะหมักโดยวิธี Nylon bag technique ของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ……..58
4.4 การย่อยสลาย CF, NDF และ ADF ในนกระเพาะหมักโดยวิธี Nylon bag technique ของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ……..59
5.1 สูตรอาหารผสม TMR ที่ใช้เลี้ยงโคนมทดลอง……...66
5.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสม TMR…… 70
5.3 แสดงผลปริมาณการกินได้อาหารของอาหารผสม TMR……...71
5.4 แสดงการย่อยได้ *in vivo* แบบ Total collection ของอาหารผสม TMR……..72
5.5 การย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยวิธี Nylon bag technique ของอาหารผสม TMR……....73
5.6 แสดงผลปริมาณน้ำนม และปริมาณส่วนประกอบน้ำนม……..75
5.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของน้ำนม……76
5.8 แสดงผลน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงง……..77
5.9 แสดงการได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) (กรัมต่อตัวต่อวัน) ของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR……..78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

5.10 การจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ (MJ/วัน)……79
5.11 แสดงความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP) และ
โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) (กรัมต่อตัวต่อวัน)
ของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR……..79
5.12 ผลตอบแทนทางการเงิน……80

สารบัญภาพ

แผนภาพที่ **หน้า**

1.1 กรรมวิธีในการผลิตน้ำตาลทรายและผลพลอยได้จากอ้อย……...……7
1.2 วิธีการปรับปรุงคุณภาพผลพลอยได้ทางการเกษตร……...…..……..12
1.3 ขั้นตอนการสูญเสียพลังงานและพลังงานประเภทต่างๆ……...……28

บทที่ 1
บทนำ

ในประเทศไทยได้มีการปลูกอ้อยตามภาคต่างๆ จำนวนมาก โดยนำมาใช้ในอุตสาห-กรรมการผลิตน้ำตาลทราย สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2541) ได้รายงานว่า ในปีการผลิต 2540/41 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมดประมาณ 5.74 ล้านไร่ ให้ผลผลิตอ้อยโดยรวม 42.20 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 7.35 ตันต่อไร่ มีพื้นที่เพาะปลูกในเขตภาคกลาง 2.11 ล้านไร่ เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1.90 ล้านไร่ เขตภาคเหนือ 1.31 ล้านไร่และพื้นที่ปลูกในเขตภาคตะวันออก 0.42 ล้านไร่ ตามลำดับ จากผลผลิตอ้อยทั้งหมด เมื่อเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาล จะให้ผลพลอยได้ในรูปกากน้ำตาลและชานอ้อย คิดเป็นจำนวน 1.69 และ 9.27 ล้านตัน ตามลำดับ (ใช้อัตราส่วนต้นอ้อยต่อกากน้ำตาล เท่ากับ 25 ต่อ 1 และต้นอ้อยต่อชานอ้อย เท่ากับ 4.55 ต่อ 1 ตามลำดับ Devendra, 1981)

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยได้มีการพัฒนาและได้รับการส่งเสริมจากทั้งภาครัฐบาลและภาคเอกชน เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำนมดิบภายในประเทศให้เพียงพอต่อความต้องการ และเพื่อทดแทนการนำเข้าผลิตภัณฑ์นมจากต่างประเทศ จึงได้มีการเลี้ยงโคนมกันอย่างแพร่หลาย การเพิ่มขึ้นของประชากรโคนมในหลายๆ พื้นที่ เริ่มส่งผลกระทบต่อความต้องการอาหารโดยรวม ซึ่งอาหารนับเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในกระบวนการการผลิตโคนม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งปริมาณผลผลิตและคุณภาพน้ำนม โดยโคจำเป็นจะต้องได้รับอาหารอย่างถูกต้อง ทั้งอาหารหยาบและอาหารเสริมให้ตรงกับความต้องการและศักยภาพการผลิตของโคนม อย่างไรก็ตามอาหารโคนม นับวันจะมีปัญหาและจะทวีความรุนแรงมากขึ้น หากไม่ได้รับการแก้ไขให้เหมาะสมย่อมส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตทั้งระยะสั้นและระยะยาวโดยเฉพาะการขาดแคลนอาหารหยาบ ซึ่งจัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการเลี้ยงโคนม ปัจจุบันหญ้าและอาหารหยาบอื่นๆ เริ่มที่จะไม่เพียงพอต่อความต้องการเนื่องจากในช่วงที่ผ่านมาพื้นที่ทางการเกษตรที่เคยเป็นแหล่งพืชอาหารสัตว์ได้ถูกปรับเปลี่ยนให้เป็นพื้นที่เพื่อการอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ทำให้เกิดปัญหาปริมาณของอาหารหยาบไม่เพียงพอต่อความต้องการสำหรับเลี้ยงโคนม โดยเฉพาะในฤดูแล้งอาหารหยาบจะขาดแคลนและมีคุณภาพไม่ดี รวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนะต่ำด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นการช่วยลดปัญหาดังกล่าว จะเห็นว่างานวิจัยเรื่องนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งซึ่งจะเป็นทางเลือกของเกษตรกรกลุ่มผู้เลี้ยงโคนม โดยได้ทำการนำเสนอแหล่งของอาหารหยาบอื่นๆ มาทดแทน

ซึ่งได้แก่ ผลพลอยได้ทางการเกษตร และ ชานอ้อย ก็เป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ ถึงแม้ว่าจะมีคุณค่าทางอาหารต่ำ แต่ก็มีปริมาณมากในประเทศ โดยเฉพาะในฤดูแล้งซึ่งเป็นฤดูหีบดังนั้นการที่จะนำชานอ้อยมาใช้ทดแทนอาหารหยาบ จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพก่อนเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารและเพิ่มการย่อยได้ ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพนั้นมีหลายวิธี เช่น วิธีทางกายภาพ (Physical treatment) วิธีทางชีวภาพ (Biological treatment) วิธีทางกายภาพ-เคมี (Physio-chemical treatment) และวิธีทางเคมี (Chemical treatment) แต่การวิจัยส่วนใหญ่จะทำเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าว ส่วนการวิจัยทางด้านการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยมีน้อย โดยเฉพาะในประเทศไทย ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยวิธีทางเคมีเพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งของโคนม

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย
2. เพื่อศึกษาถึงวิธีการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยเพื่อทดแทนอาหารหยาบในโคนม
3. เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว
4. เพื่อศึกษาถึงการย่อยได้ของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว
5. เพื่อประเมินคุณค่าทางอาหารของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว
6. เพื่อใช้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในฤดูแล้งของโคนม

สมมุติฐานของการวิจัย

1. การปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมีสามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารได้
2. การปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมีสามารถเพิ่มการย่อยได้ในตัวสัตว์ได้
3. การใช้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีสามารถทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งของโคนมได้

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงวิธีการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร และทดลองหาการย่อยได้ในตัวสัตว์ เพื่อที่จะนำมาประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหาร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงวิธีการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยที่มีประสิทธิภาพ

2. ทำให้ทราบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี การกินได้ การย่อยได้ พลังงานของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพ

3. ทำให้ทราบปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของอาหาร พลังงานและโปรตีน

4. ทำให้ทราบผลตอบสนองต่อการให้อาหารในช่วงต้นระยะให้นม

5. ทำให้ทราบความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนม ซึ่งจะช่วยพัฒนาการประกอบสูตรอาหารและการให้อาหารโคนมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Roughage, Chemical treatment, Bagasse, Treated bagasse, Dairy cattle, Energy and protein requirement

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของชานอ้อยหรือผลพลอยได้จากอ้อย

อาหารหยาบจะมีส่วนประกอบหลัก คือ เซลลูโลส (Cellulose) และ เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) รวมทั้งลิกนิน (Lignin) ด้วย ซึ่งลิกนินเป็นส่วนที่ย่อยยากในขณะที่เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสามารถถูกหมักย่อยได้โดยพวกจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Rumen) จนได้ผลผลิตสุดท้าย เช่น Volatile fatty acids (VFA) ซึ่งได้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ลิกนิน ที่มีอยู่ในอาหารหยาบมีผลไปทำให้การย่อยได้ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลง โดยผลทางด้านกายภาพของลิกนินจะเป็นตัวป้องกันเอนไซม์ที่จะเข้าไปย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสรวมทั้งเป็นตัวป้องกันการสร้างพันธะเอสเทอ (ester linkages) ของเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นอาหารหยาบที่มีลิกนินเป็นส่วนประกอบสูง จะทำให้มีการย่อยได้ต่ำ (Capper, Morgan, and Parr, 1977)

อาหารหยาบที่สามารถใช้เป็นอาหารสำหรับโคนมได้มีมากมาย และที่สนใจศึกษาคือ ชานอ้อย ซึ่งเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล ถึงแม้ว่าชานอ้อยจะมีคุณค่าทางอาหารต่ำ (โปรตีน 2.0-2.5 เปอร์เซ็นต์, การย่อยได้ 15-25 เปอร์เซ็นต์ (%digestibility); Ibrahim and Pearce, 1993) แต่มีในปริมาณมาก ซึ่งได้มีรายงานการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ดังนั้นน่าจะนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม โดยเฉพาะช่วงที่อาหารหยาบขาดแคลน การนำชานอ้อยมาใช้ประโยชน์เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด จะต้องนำมาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะ โดยการเสริมด้วยอาหารประเภทที่มีพลังงานและโปรตีนสูง และเพิ่มความน่ากิน (Palatability) โดยการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการทางเคมีและทางชีวภาพ เพื่อเพิ่มการย่อยได้วัตถุแห้ง (DM digestibility) และเพิ่มโปรตีน นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้โดยเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์

ชานอ้อย เป็นส่วนเส้นใยของลำต้นอ้อย หลังจากผ่านการสกัดน้ำออกแล้ว ประกอบด้วยน้ำ เส้นใยและของแข็งที่ละลายได้จำนวนเล็กน้อย ปริมาณขององค์ประกอบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์อ้อย อายุ วิธีเก็บเกี่ยว และประสิทธิภาพของโรงงาน

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยที่ได้มีรายงานไว้

	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	NDF	ADF	ลิกนิน
Sharma (1974, quoted in Jackson, 1977)	-	-	-	-	82.0	53.0	13.0
Ibrahim and Pearce (1983)	1.25	-	5.9	-	88.1	60.2	11.8
Rangnekar (1988)	-	-	3.2	48.0	82.0	52.0	12.0
Fermamdez et a. (1995 อ้างโดย สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2541)	-	-	1.4	47.7	-	-	19.5
เฉลี่ย	1.25	-	3.5	48.0	84.0	55.0	14.0

เส้นใยของชานอ้อย ประกอบด้วย ส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนมากจะเป็นเซลลูโลส เพนโตแซน และลิกนิน

เซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ของเบต้า-กลูโคส (β-glucose) ต่อกันด้วยพันธะเบต้า β(1-4) สูตรทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างเนื้อเยื่อพืช โดยจะพบอยู่รวมกับลิกนิน เพนโตแซน กัมแทนนิน ไขมัน สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสจะมีโมเลกุลยาวและแข็ง การย่อยเซลลูโลสจะได้เซลโล-ไบโอส (Cellobiose) และสุดท้ายจะได้กลูโคส โดยเอนไซม์เบต้า-กลูโคซิเดส (β-glucosidase) (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2541)

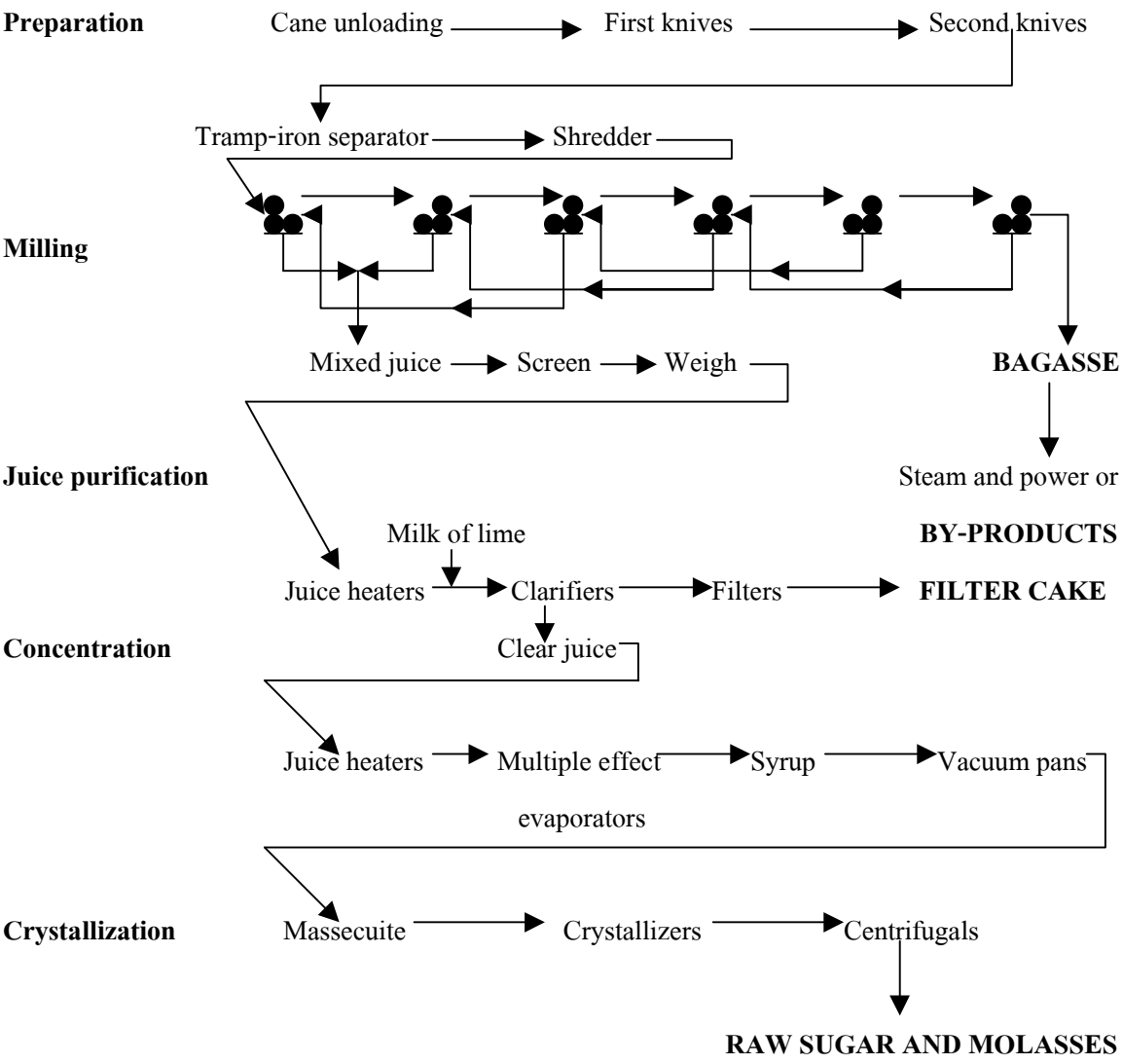
ถ้าใช้คุณสมบัติการละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ของเซลลูโลส สามารถแบ่งประเภทเซลลูโลสได้ 3 ประเภท ดังนี้ α-cellulose : ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง β-cellulose : ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 เปอร์เซ็นต์ และตกตะกอนได้ง่ายเมื่อทำให้สารละลายเป็นกรด γ-cellulose : ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่ตกตะกอนโดยกรด แต่ตกตะกอนได้ด้วยแอลกอฮอล์ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2541)

เฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบของพืชที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิต่ำได้ ซึ่งจะต่างจากเซลลูโลสที่เฮมิเซลลูโลสจะประกอบไปด้วยน้ำตาล

เพนโตสมากกว่ากลูโคส ส่วนเพนโตแซน เป็นรูปหนึ่งของเฮมิเซลลูโลสและสามารถละลายน้ำได้ เฮมิเซลลูโลสและเพนโตแซน ส่วนมากจะเป็นเฮทเทอโรโพลีแซกคาไรด์ (Heteropolysaccharides) ซึ่งจะประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลที่แตกต่างกัน 2-4 ชนิด ส่วนมากจะเป็น น้ำตาลไซโลส อราบิโนสและกรดยูโรนิก (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2541)

ลิกนิน เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบรวมอยู่กับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{49}H_{52}O_{14}$ โครงสร้างจะประกอบด้วยวงแหวนเบนซีนที่มีหมู่ฟีนอลที่มีและไม่มีการเติมหมู่เมธิล

2.2 ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล



แผนภาพที่ 1 กรรมวิธีในการผลิตน้ำตาลและผลพลอยได้จากอ้อย

ที่มา : Blackburn (1984)

2.3 วิธีการปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของอาหารหยาบ

การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของอาหารหยาบหรือผลพลอยได้ทางการเกษตรต่างๆ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการปรับปรุงทางกายภาพ (Physical pretreatments) ด้วยการจุ่มแช่น้ำ (Soaking/Wetting) ด้วยการหั่นให้มีขนาดชิ้นเล็กลง (Chopping) ด้วยการบดและอัดเม็ด (Grinding and Pelleting) ด้วยการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Steaming under pressure) หรือ ด้วยการใช้รังสีแกมมา (Gamma irradiation) วิธีการปรับปรุงทางเคมี (Chemical pretreatments) ด้วยการใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง (Pretreatment with alkalis) ด้วยการใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเร่งปฏิกิริยา (Pretreatment with oxidative reagents) ด้วยการใช้สารละลายกรด (Pretreatment with acids) วิธีการปรับปรุงทางชีวภาพ (Biological pretreatments) ด้วยการหมักย่อย (Composting) ด้วยการหมัก (Ensilage) ด้วยการใช้ราบางชนิด (Fungal growth) และด้วยการใช้เอนไซม์ (Enzyme additions) ซึ่งแสดงดังแผนภาพที่ 2

2.3.1 วิธีการปรับปรุงทางกายภาพ

ได้แก่ การแช่น้ำ การสับ การบด การอัดเม็ด การต้ม การนึ่ง การอบด้วยไอน้ำ และการใช้รังสี เป็นต้น การแช่น้ำจะช่วยกำจัดสารออกซาเลท (Oxalate) ออกได้บ้าง แต่จะทำให้โภชนะที่ละลายได้อื่นๆ สูญเสียไปด้วย การบดและการอัดเม็ด เป็นวิธีการลดขนาดของอาหารหยาบ มีผลทำให้การกินได้ของสัตว์เพิ่มขึ้น แต่ความถี่ของการย่อยได้ลดลง (Ibrahim, 1981) เพราะการบดไม่มีผลต่อการสลายตัวของลิกนิน (Lignification) จึงไม่สามารถปรับปรุงการย่อยได้ การอบภายใต้ความดัน อาจมีผลทำให้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสแตกตัวออก ทำให้สามารถย่อยได้ง่ายขึ้น ส่วนการใช้รังสีแกมมา ได้มีรายงานไว้ว่ารังสีแกมมาสามารถปรับปรุงการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตของพวกฟางข้าวและผลพลอยได้ทางการเกษตรอื่นๆ ดีขึ้น โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Ibrahim and Pearce, 1980) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการต่างๆ เหล่านี้ ยกเว้นการสับและการแช่น้ำ ต้องอาศัยอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายที่สูง

2.3.2 วิธีการปรับปรุงทางเคมี

โดยการใช้สารเคมีต่างๆ ในรูปของแข็ง ของเหลว และก๊าซ อาจแตกต่างกันไปตามสารเคมี ปริมาณที่ใช้ ระยะเวลา รวมทั้งเทคนิคในการปฏิบัติ สารเคมีที่ศึกษากันแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กรด ด่าง และตัวออกซิไดซ์ (Oxidative reagents) เช่น กรดจะไปไฮโดรไลท์เฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ ทำให้ได้น้ำตาลหลายๆ ชนิด (Releasing sugars) ดังนั้นอาจมีผลทำให้พันธะระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรตแยกออก สารเคมีที่มีการศึกษาได้แก่ กรดซัลฟูริกและกรดเกลือ เป็นต้น สารที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง จะไป

ช่วยทำให้พันธะระหว่างลิกนินและเฮมิเซลลูโลสอ่อนตัวลง และยังทำให้ผนังเซลล์พองตัวขึ้น เอนไซม์จากจุลินทรีย์มีโอกาสเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น สารเคมีที่ใช้ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนียหรือยูเรีย เป็นต้น ส่วนการใช้ตัวออกซิไดซ์ เช่น ซัลเฟอไดออกไซด์ โอโซน และสารประกอบคลอรีน มีผลไปลดลิกนินและทำให้พันธะระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรตแยกออก การใช้ตัวออกซิไดส์นี้ต้องปฏิบัติในภาชนะปิดภายใต้สภาวะควบคุม (Doyle, Devendra, and Pearce, 1986)

วิธีการที่นิยมมากที่สุด คือวิธีการทางเคมีที่ใช้สารเคมีที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide) ซึ่งสารเหล่านี้จะไปสลายเฮมิเซลลูโลส (Klopfenstein, 1978) ทำให้สารกลุ่ม ฟรี ยูโรนิก แอซิด (Free uronic acids) เป็นกลาง และสารเหล่านี้อาจทำลายลิกนินที่เชื่อมเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ในผนังเซลล์ (Theander and Aman, 1984) และ Chesson and Orskov (1984) แนะนำว่า สารที่มีคุณสมบัติที่เป็นด่างนอกจากจะไฮโดรไลท์การเชื่อมกันระหว่างเฮมิเซลลูโลสและลิกนินแล้ว อาจทำลายพันธะต่างๆ ที่อยู่ในโมเลกุลของลิกนินเป็นผลให้น้ำหนักโมเลกุลของลิกนินลดลง และทำให้การเชื่อมระหว่างเฮมิเซลลูโลสและลิกนินอ่อนแอลงส่งผลให้เพิ่มการบวมตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้ Microbial enzyme สามารถที่จะเข้าทำการย่อยโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตได้ง่าย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่จะเน้นเรื่องการศึกษาการปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของฟางข้าวด้วยวิธีการทางเคมี Wanapat, Sunstol, and Garmo (1985) ศึกษาเปรียบเทียบการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวบาร์เลย์ด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง 16 วิธี และได้สรุปว่าการย่อยได้อินทรีย์วัตถุของฟางข้าวบาร์เลย์เพิ่มขึ้นเรียงลำดับจากมากที่สุด ตามกลุ่มวิธีการที่ใช้ดังนี้ 1) การทำให้เปียกชื้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Wet treatment with NaOH; 20-22 units) 2) การสเปรย์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Dry treatment with NaOH; 15 units) 3) การใช้แอมโมเนียในรูปแอนไฮดรัสและเอคเวียส (Anhydrous/aqueous ammonia treatment; 6-15 units) 4) การใช้ยูเรีย (Urea treatment; 4-7 units) ส่วนการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวสาลีนั้นสามารถเพิ่มการย่อยได้อินทรีย์วัตถุประมาณ 8 หน่วย (Units) (Djajanegara, Doyle, and Molina, 1985)

Doyle et al. (1986) ได้รวบรวมผลงานวิจัยการใช้วิธีการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพฟางข้าว เช่น การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ การใช้แอมโมเนียหรือยูเรีย การใช้ออกซิเดทีฟรีเอเจนท์ (Oxidative reagents) การใช้สารละลายกรด การหมักย่อย การหมัก การใช้เชื้อราบางชนิด และการใช้เอนไซม์ และได้สรุปว่า การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเพิ่มการย่อยได้วัตถุแห้งของฟางข้าว

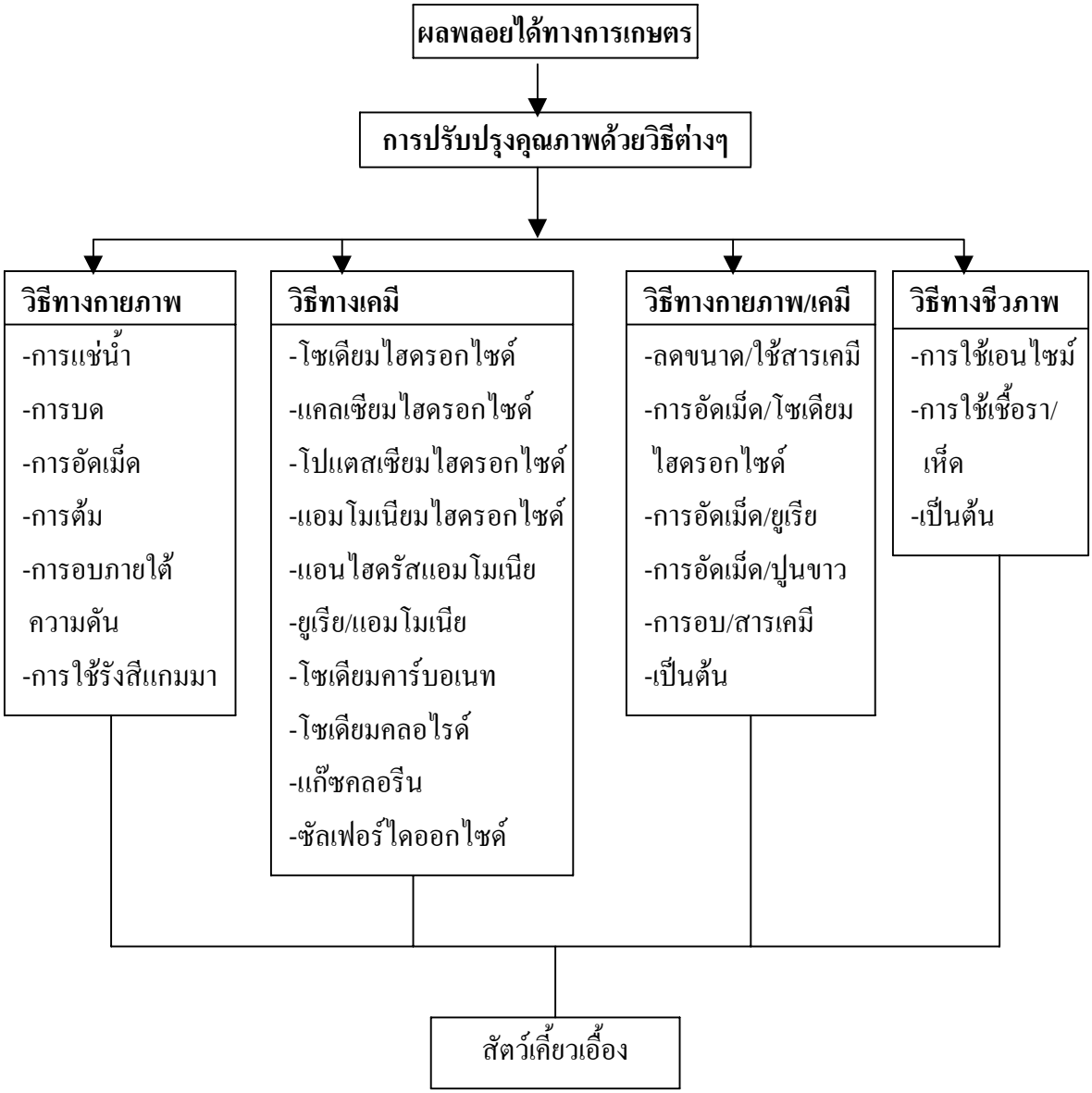
ระหว่าง 8-39 หน่วย เปอร์เซ็นต์ การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มระหว่าง 7-22 หน่วย เปอร์เซ็นต์ การใช้แอมโมเนียหรือยูเรียเพิ่มระหว่าง 2-35 หน่วย เปอร์เซ็นต์ การใช้ออกซิเดทีฟรีเอเจนท์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โอโซน และโซเดียมคลอไรด์เพิ่มระหว่าง 4-19 หน่วย เปอร์เซ็นต์ การใช้สารละลายกรด เช่น กรดซัลฟูริก และ กรดไฮโดรคลอริก เพิ่มระหว่าง 10-19 หน่วย เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้การหมักไม่เพิ่มการย่อยได้แต่ทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุแห้ง อย่างไรก็ตามการหมักฟางข้าวด้วยการเสริมโภชนะประเภทพลังงานและโปรตีนสามารถเพิ่มความเข้มข้นของโภชนะในฟางข้าวให้เพียงพอกับความต้องการของโคได้ โดยเฉพาะในช่วงขาดแคลนอาหารหยาบ การใช้เชื้อราสามารถเพิ่มการย่อยได้ของฟางข้าวประมาณ 10 หน่วย เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดปริมาณลิกนินลงจาก 6 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ แต่เหมือนกับการหมักคือ เกิดการสูญเสียวัตถุแห้งระหว่างการเจริญของเชื้อรา การใช้เชื้อราเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรยังต้องศึกษาอีกมาก โดยเฉพาะการพิจารณาเลือกเชื้อราให้เหมาะสม และเชื้อรานั้นๆ จะต้องไม่ก่อให้เกิดสารที่เป็นพิษกับสัตว์ได้ งานวิจัยต่างๆ ที่ Doyle et al. (1986) ได้รวบรวมมาใช้ความเข้มข้นของสารเคมี และวิธีการต่างๆ ที่แตกต่างกัน การจะนำมาทดลองปฏิบัติต้องเลือกวิธีการที่มีแนวโน้มสามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะได้มากและคุ้มกับการลงทุน โดยเฉพาะในแง่การนำมาปฏิบัติได้จริงและคุ้มกับการลงทุนในเชิงเศรษฐกิจ

2.3.3 วิธีการปรับปรุงร่วมระหว่างวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี

ได้แก่ การบดร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ การอัดเม็ดร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือการนึ่งร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น การหั่น การสับ หรือการบด เป็นวิธีที่มีอิทธิพลต่อวิธีการปรับปรุงคุณภาพทางเคมีเหมือนกัน โดยจะเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสของอาหารหยาบมากขึ้น ทำให้สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยาได้ทั่วถึง ส่งผลให้การย่อยได้ดีขึ้น Shin, Garrigus, and Owens (1975) รายงานว่าเมื่อใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างในการปรับปรุงคุณภาพร่วมกับการหั่นฟาง (0.1 cm screen) ทำให้ผลการศึกษาการย่อยได้โดยวิธีใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมัก สามารถย่อยได้ดีกว่ากลุ่มที่หั่นฟาง (1.27 cm screen)

2.3.4 วิธีการปรับปรุงทางชีวภาพ

ในการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรโดยวิธีทางชีวภาพ จะใช้พวกแบคทีเรีย เชื้อรา หรือเอนไซม์ เป็นต้น ในการเพิ่มคุณค่าทางอาหาร การนำเชื้อรามาเลี้ยงให้เจริญบนฟางข้าวช่วงหนึ่ง เพื่อให้เกิดการย่อยสลายฟางข้าวก่อนนำไปเลี้ยงสัตว์ เชื้อราที่ใช้บางชนิดย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส บางชนิดก็ย่อยสลายลิกนิน มีผลทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น แต่การให้เชื้อราเจริญนานเกินไปอาจทำให้การย่อยได้ลดลง และเมื่อนำไปเลี้ยงสัตว์สัตว์อาจจะไม่ยอมกิน การเลือกใช้เชื้อราควรคำนึงถึงการผลิตสารพิษของเชื้อราด้วย เพราะอาจเป็นอันตรายต่อตัวสัตว์ได้ ส่วนเอนไซม์สังเคราะห์ได้แก่ เซลลูเลส เฮมิเซลลูเลส โปรติเอส เป็นต้น การใช้เอนไซม์สังเคราะห์นี้อาจไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เพราะราคาสูงและสัตว์อาจตอบสนองเพียงเล็กน้อย ดังรายงานการทดลองของ Leathewood, Mochzie, and Thomas (1960) และ Ralston, Church, and Oldfield (1962) ได้ศึกษาการย่อยได้ของอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำ โดยใช้เอนไซม์เสริม (เซลลูเลส โปรติเอส อะไมเลส และเพคติเนส) มีผลทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์ไม่แน่นอน คือ การเจริญเติบโตของสัตว์มีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง



แผนภาพที่ 2 วิธีการปรับปรุงคุณภาพผลพลอยได้ทางการเกษตร

ที่มา : Ibrahim (1981)

2.4 การปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรโดยวิธีการทางเคมี

2.4.1 กลไกการเพิ่มการย่อยได้ด้วยการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมี

เมื่อปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง จะทำให้เซลลูโลสเกิดการพองตัว (Whistler and Teng, 1970) ด่างจะมีผลไปลดความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล ซึ่งจับตัวกับโมเลกุลของเซลลูโลส ดังนั้นจึงเป็นผลให้เกิดการพองตัว เยื่อใยเซลลูโลสที่อยู่ภายในผนังเซลล์มีลักษณะทางกายภาพที่สามารถยับยั้งการพองตัวของเซลล์ และการปรับปรุงคุณภาพด้วยด่างบางทีอาจไปทำให้ลดการยับยั้งขอบเขตตรงนั้นลง ทำให้ทั้งปริมาณลิกนินและซิลิกาถูกสลายไป และพันธะเอสเทอภายในโมเลกุลระหว่างกลุ่มยูโรนิค แอซิดของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสถูกไฮโดรไลท์ (Feist, Baker, and Tarkow, 1970) การพองตัวของเซลลูโลสจะทำให้เอนไซม์จากจุลินทรีย์สามารถเข้าไปย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลทำให้การย่อยได้ของผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ถูกปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีดีขึ้น

2.4.2 ปริมาณที่เหมาะสมของสารเคมีต่อการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตร

สารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรนี้ ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น และในการทดลองที่ผ่านมาได้กล่าวไว้ว่าการย่อยได้ที่ศึกษาภายนอกตัวสัตว์ (*In vitro*) ของอาหารหยาบนั้น จะเพิ่มขึ้น เมื่อระดับของด่างที่ได้เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 10 กรัมต่อ 100 กรัมอาหารหยาบ โดยปกติจะพบว่า การย่อยได้ จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระดับของด่างที่ใช้เพิ่มขึ้นถึง 3-6 กรัมโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ 100 กรัมอาหารหยาบ (ฟาง) และเมื่อระดับของด่างเพิ่มขึ้นไปอีกการย่อยจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง ส่วนการกินได้อิสระ (VFI) ก็เหมือนกัน คือ จะเพิ่มขึ้นไปจนถึงระดับ 3-6 กรัมโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ 100 กรัมอาหารหยาบ แต่หลังจากนั้นจะไม่เพิ่มหรืออาจลดลงกว่ากลุ่มที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ (Jackson, 1977) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Piatkowski, Bolduan, Zwierz, and Lengerken (1974a) ซึ่งได้ผลคือ การย่อยได้จะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่อปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 8 เปอร์เซ็นต์ และการกินได้วัตถุแห้ง (DMI) เพิ่มขึ้นเช่นกันดังนั้นสรุปว่า ระดับที่เหมาะสมของสารเคมีที่ใช้มีความหลากหลาย จากหลายๆ การทดลอง ซึ่งอาจจะมีความแตกต่างกันไปตามความแตกต่างของอาหารหยาบแต่ละชนิด อาหารที่กิน และตัวสัตว์ด้วย

2.4.3 ผลกระทบของการปรับปรุงคุณภาพผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยวิธีทางเคมีต่อสุขภาพของสัตว์

เมื่อสัตว์ได้รับอาหารหยาบที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง ที่นิยมมาก คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้อาหารหยาบมีคุณภาพสูงขึ้นอย่างเดียว แต่จะมีผลทำให้อาหารมีความเป็นกรด-ด่าง (pH) และมีส่วนของโซเดียมที่ตกค้างด้วยเช่นกัน คือ จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 10 และทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์ของการใช้ด่างในการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบ จะทำให้เป็นการเพิ่มสารตกค้างโดยประมาณ 0.6 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ร่างกายสัตว์จะมีกลไกการทำงานเปลี่ยนไปเมื่อได้รับโซเดียมและความเป็นกรด-ด่างในอาหารสูง ซึ่งโดยปกติการได้รับสารตกค้างในระดับสูงเกินไป จะมีผลทำให้สัตว์กินอาหารลดลง ซึ่งส่งผลทางด้านสรีรวิทยาด้วย คือ ทำให้สัตว์เกิดความเครียด (Jackson, 1977) Rexen and Thomsen (1976) รายงานว่า อัตราการย่อยได้ของฟางจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมีประเภทด่าง และมีรายงานว่า Total volatile fatty acids ในของเหลวในกระเพาะหมัก (Rumen fluid) เพิ่มขึ้นด้วย (Ololade and Mowat, 1975) นอกจากนั้นก็ไม่มีงานทดลองใดที่พบว่า Volatile fatty acids เพิ่มขึ้นอีก และ Ololade and Mowat (1975) รายงานว่า สัดส่วนโมลของกรดโพรพิออนิกจะเพิ่มขึ้นและกรดอะซิติก จะลดลง เมื่อปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าว ส่วนกรดแลคติกจะเพิ่มขึ้น ขณะที่กรดไอโซวาลีริกลดลง สำหรับความเป็นกรด-ด่างก็ลดลงเหมือนกัน ส่วนในกระเพาะหมักและในเลือด ระดับของยูเรียจะลดลง เมื่อสัตว์ได้รับอาหารที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2-4 เปอร์เซ็นต์ ผลตกค้างของโซเดียมที่กินเข้าไปจะถูกขับออกทางปัสสาวะ (Urine) และมูลได้ตามปกติ และไม่ได้ถูกขับออกทางน้ำนมด้วย (Choung and McManus, 1976) แต่สัตว์จะกินน้ำเพิ่มขึ้นและขับปัสสาวะออกมาเพิ่มขึ้น ระดับของโซเดียมในซีรั่มก็ไม่ได้เพิ่มขึ้น Jackson (1977) รายงานว่าการใช้สารเคมีประเภทด่างในการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบจะไม่มีผลกระทบ ถ้าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3-6 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Stigsen (1975, quoted in Jackson, 1977) รายงานว่าไม่แสดงอาการอัลคาโลซีส (Alkalosis) โดยวัดจากระดับของไบคาร์บอเนท (Bicarbonate) ในเลือดในโคที่ได้รับฟางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 10 กิโลกรัมต่อวัน ส่วนองค์ประกอบของน้ำนมก็ไม่มีผลกระทบ เมื่อให้โคนมกินอาหารที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง (Jackson, 1977)

2.4.4 การปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อย โดยวิธีการทางเคมี

ชานอ้อย มีส่วนประกอบของลิกโนเซลลูโลสิก แมทเทอเรียล (Lignocellulosic materials) มีการสะสมของลิกนินและมีเซลลูโลสที่อยู่ในรูปผลึก (Crystalline cellulose) ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันการเข้าย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส โดยเอนไซม์ที่ขับออกมาโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Rumen micro-organisms) (Cabello, 1994)

สำหรับการวิจัยการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยมีน้อยมาก โดยได้มีการวิจัยในประเทศคิวบา ได้ถูกรวบรวมโดย Cabello (1994) สรุปได้ว่า การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 กรัมต่อ 100 กรัมวัตถุแห้งชานอ้อย สามารถเพิ่มการย่อยได้ 3 ถึง 4 เท่า คือ จาก 14.0 เปอร์เซ็นต์ เป็น 56.2 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่กรดซัลฟูริก 10 กรัมต่อ 100 กรัมวัตถุแห้งชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที การย่อยได้จะเพิ่มเป็น 51.2 เปอร์เซ็นต์ Devendra (1979) รายงานว่า การปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยการใช้คอสติกโซดา (Caustic soda) จะเพิ่มการย่อยได้ แต่การใช้ยูเรียร่วมกับแอมโมเนียไม่เพิ่มการย่อยได้ และเหตุผลที่ชานอ้อยไม่ตอบสนองต่อการใช้ยูเรียร่วมกับแอมโมเนีย เหมือนกับฟางข้าวยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเป็นเพราะชานอ้อยไม่มีเอนไซม์ยูรีเอส (Urease) เหมือนในฟางข้าว อย่างไรก็ตามถ้าหากใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างควบคู่กับยูเรีย น่าจะเกิดผลดีทั้งเพิ่มการย่อยได้และเพิ่มไนโตรเจนในชานอ้อย (Rangnekar, Badve, Kharat, Soble, and Joshi, 1982) การใช้คอสติกโซดาหรือยูเรียร่วมกับการอบไอน้ำที่ความดันสูง น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย การปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยอีกวิธีหนึ่ง คือ การใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือ Bio-fermentation technology โดยการใช้เชื้อราจำพวก Pleurotus และ Coprinus ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการศึกษาที่เด่นชัดในการใช้เชื้อราดังกล่าว (Badve, Nisal, Joshi, and Rangnekar, 1987)

การใช้ชานอ้อยเป็นอาหารเลี้ยงโคนมในเมืองไทยยังมีการวิจัยน้อยมาก แต่ก็ได้มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับชานอ้อย โดยการนำเอาชานอ้อยซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตน้ำตาล มาทำปรับปรุงคุณภาพด้วยการเสริมอาหารพลังงานและโปรตีน Suksombat (1996) ทดลองใช้ชานอ้อย 20% ในสูตรอาหารหยาบผสม 4 สูตร และปรับโภชนะให้เพียงพอต่อความต้องการของโครีดนม โดยการเสริมมันสำปะหลัง กากเมล็ดฝ้าย กากน้ำตาล และยูเรีย เลี้ยงโครีดนมในช่วงปลายระยะให้นม ผลคือโครีดนมทุกกลุ่มการทดลองให้ผลผลิตน้ำนมอยู่ในเกณฑ์ดี กล่าวคือ ให้น้ำนมเฉลี่ย 8.3-9.3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และได้มีการทดลองใช้ชานอ้อยระดับต่างๆ ตั้งแต่ 32 เปอร์เซ็นต์ ถึง 64 เปอร์เซ็นต์ เป็นส่วนประกอบในอาหารหยาบผสมที่เสริมด้วยมันสำปะหลังและกากเมล็ดฝ้าย เลี้ยงโครีดนมในระยะให้นมต่างๆ เปรียบเทียบกับหญ้าสด ทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ผลปรากฏว่าการใช้อาหารหยาบผสมที่มี

ชานอ้อยเป็นส่วนประกอบในระดับต่างๆ สามารถใช้ทดแทนหญ้าสดได้ทั้งหมด หรือสามารถใช้อาหารหยาบผสมเลี้ยงโครีดนมแทนหญ้าสดได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (Suksombat, 1998a, b, c, 1999a, b)

2.5 น้ำนมโค

2.5.1 องค์ประกอบของน้ำนม

น้ำนมโคนั้น จะมีองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแม่โคแต่ละพันธุ์ หรือแต่ละตัวไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณขององค์ประกอบหลักของน้ำนมดิบ[1/]

องค์ประกอบของน้ำนม	ปริมาณต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย
	----------เปอร์เซ็นต์----------	
น้ำ	85.5-89.5	87.0
ของแข็งทั้งหมด (Total solid)	10.5-14.5	13.0
ไขมัน	2.5-6.0	4.0
โปรตีน	2.9-5.0	3.4
แลคโตส	3.6-5.5	4.8
เกลือแร่	0.6-0.9	0.8

[1/] หมายเหตุ จาก คุณภาพน้ำนมดิบสู่โรงงาน โดย สุเมธ ประทุมสุวรรณ, 2540, วารสารโคนม, ปีที่ 16, 55-60.

2.5.1.1 น้ำ ในน้ำนมมีน้ำเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 87 น้ำทำหน้าที่เป็นตัวละลายเพื่อให้ส่วนประกอบที่เป็นของแข็งละลายหรือแพร่กระจาย นอกจากนั้นน้ำบางส่วนยังเกาะอยู่กับเกลือและน้ำตาลและบางส่วนรวมอยู่กับโปรตีน

2.5.1.2 ไขมันนม (Milk fat) ไขมันในน้ำนมมีปริมาณความแปรปรวนมากกว่าองค์ประกอบชนิดอื่นๆ ค่าประมาณร้อยละ 3.9 การแปรปรวนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ สัตว์แต่ละตัว อาหาร และฤดูกาล เป็นต้น ไขมันในนม ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ร้อยละ 97-98 โดยน้ำหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันในน้ำนม สังเคราะห์มาจากอะซิเตท (Acetate) และเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรท (β-hydroxy butyrate) โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์ในต่อมสร้างน้ำนม อีกร้อยละ 40-45 ได้รับจากอาหารที่โคกินเข้าไป และน้อยกว่าร้อยละ 10 ได้จากไขมันที่สะสมในร่างกาย (Palmquist and Maltos, 1978) เปอร์เซ็นต์ไขมันนมมีโอกาสลดลงหรือเพิ่มขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของอาหาร เช่น การให้อาหารข้นมากเกินไป หรือการให้อาหารหยาบน้อย ซึ่งมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันนมลดลงได้ เนื่องจากอาหารเหล่านี้เมื่อถูกย่อยในกระเพาะหมักแล้ว ทำให้กรดอะซิติกลดน้อยลงและกรดโพรพิออนิกเพิ่มขึ้น อาหารโคนมโดยทั่วไปเมื่อย่อยในกระเพาะหมัก ควรมีสัดส่วนของกรด ไขมันที่ระเหยได้ดังนี้ คือ กรดอะซิติก 65 เปอร์เซ็นต์ กรดโพรพิออนิก 20 เปอร์เซ็นต์ กรดบิวทีริก 12 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันอื่นๆ อีก 3 เปอร์เซ็นต์ และเป็นที่ทราบกันทั่วไปว่าการที่กรดอะซิติกลดลง 10 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่า จะทำให้มีการเพิ่มของกรดโพรพิโอนิกในปริมาณที่เท่ากันทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันนมลดลง แต่กลไกที่แท้จริงในการที่เปอร์เซ็นต์ไขมันนมลดลงนั้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด มีทฤษฎีที่ใช้อธิบายการลดลงของไขมันนมหลายทฤษฎี คือ 1) การที่กระเพาะหมักผลิตกรดอะซิติกได้น้อยลง อาจทำให้ขาดเกลืออะซิเตท ที่จะนำไปใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมัน 2) เนื่องจากปริมาณของเบต้าไฮดรอกซีบิวทีเรทในกระแสเลือดลดลง ผลคือ ขาด C-4 ที่ใช้ในการสังเคราะห์ไขมันนม 3) การที่กรดโพรพิออนิกเพิ่มมากขึ้น อาจทำให้ถูกเปลี่ยนรูปเป็นกลูโคส (Glucose) ได้มากขึ้น และกลูโคสบางส่วนถูกนำไปใช้เป็นพลังงาน ทำให้ร่ายกายลดปริมาณการเผาผลาญไขมันสะสมในร่างกายมาใช้ ส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันในเลือดลดลง และต่อมสร้างน้ำนมก็ขาดกลีเซอร์ไรด์ (Glycerides) ที่จะนำไปสร้างไขมันในน้ำนม (Schmidt and Van Vleck, 1974)

2.5.1.3 โปรตีนในน้ำนม มีอยู่หลายชนิด คือ แอลฟา-เคซีน (α-Casein), เบต้า-เคซีน (β-Casein), เค-เคซีน (k-Casein), แอลฟา-แลกทัลบูมิน (α-Lactalbumin) และ เบต้า-แลกทัลบูมิน (β- Lactalbumin) โปรตีนทุกชนิดสังเคราะห์ขึ้นจากกรดอะมิโนในน้ำเลือด การสังเคราะห์โปรตีนเกิดขึ้นในเซลล์กลั่นสร้างน้ำนม โปรตีนเคซีนในน้ำนมอยู่ในรูปเป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่สม่ำเสมอในน้ำนม โดยมี เค-เคซีน เป็นตัวรักษาเคซีนให้คงอยู่ในรูปเม็ดไม่จับกันเป็นก้อน (ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2534)

2.5.1.4 น้ำตาลและคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลที่พบมากในน้ำนมคือ น้ำตาลแลกโตส (Lactose) ซึ่งเป็นน้ำตาลแซคคาไรด์ กลูโคสในเลือดเป็นตัววัตถุดิบในการสังเคราะห์แลกโตส นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งให้พลังงานและเป็นวัตถุดิบในการสร้างกลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของไขมันในน้ำนมด้วย ในน้ำนมวัวมีปริมาณน้ำตาลแลคโตสเฉลี่ยประมาณ 4.9 เปอร์เซ็นต์ ในปัจจัยที่มีผลต่อระดับหรือปริมาณน้ำตาลแลกโตสในนม คือ สภาวะเต้านม ถ้าเต้านมอักเสบจะมีผลทำให้เกลือคลอไรด์ในน้ำนมเพิ่มขึ้นและน้ำตาลแลกโตสลดลง (เกษตร วิทยานุภาพยืนยง และพิเชฐ ศักดิ์พิทักษ์สกุล, 2531)

2.5.1.5 วิตามินและแร่ธาตุในน้ำนม เซลล์กลั่นสร้างน้ำนมรับแร่ธาตุและวิตามินต่างๆ จากน้ำเลือดโดยตรง แร่ธาตุที่พบมากในน้ำนมคือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม คลอไรด์ และแมกนีเซียม จำนวนน้ำตาลแลกโตส โซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์ในน้ำนมค่อนข้างคงที่ ธาตุที่พบในน้ำนมเพียงเล็กน้อย เช่นโบรอน โคบอลต์ ไอโอดีน นั้นพบว่ามีอยู่ในอาหารมากก็จะพบว่ามีมากในน้ำนมเช่นกัน (ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2534)

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม

ปัจจัยที่ทำให้ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมเปลี่ยนแปลง สามารถแยกออกได้เป็น 2 ปัจจัยใหญ่ๆ คือ ปัจจัยทางสรีรวิทยาของโค และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม (วิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ, 2534)

โคเมื่อแรกคลอดจะให้ผลผลิตไม่สูงนัก ผลผลิตน้ำนมจะค่อยๆ สูงขึ้นจนกระทั่งถึงระยะการให้น้ำนมสูงสุด (Peak of lactation) โดยจะใช้เวลา 3-6 อาทิตย์ และหลังจากนั้นปริมาณน้ำนมจะเริ่มลดลง โดยปกติแล้วการให้น้ำนมของโคมีระยะเวลา 305 วัน และมีระยะพักให้น้ำนม (Dry period) 60 วัน ซึ่งระยะการให้น้ำนมสูงสุดของโคนั้น จะผันแปรไปตามสภาพร่างกายในขณะคลอด ความสามารถทางพันธุกรรม อาหารที่โคได้รับ และโรคต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำนม ถ้าโคมีร่างกายสมบูรณ์ในขณะคลอด และได้รับอาหารเต็มที่จะทำให้ระดับ น้ำนมสูงสุดเพิ่มขึ้น โดยระดับการให้น้ำนมสูงสุด จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตของน้ำนมตลอดระยะการให้น้ำนม นอกจากนั้น องค์ประกอบน้ำนม (เปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีน) จะเป็นปฏิภาคกลับกับผลผลิตของน้ำนม โดยเปอร์เซ็นต์ไขมันและเปอร์เซ็นต์โปรตีนจะลดลงต่ำสุด เมื่อปริมาณน้ำนมถึงจุดสูงสุด และจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะการให้น้ำนมผ่านไป ส่วนปริมาณแลกโตสค่อนข้างคงที่ โดยจะลดลงทีละเล็กน้อยตลอดระยะการให้น้ำนม แต่ปริมาณของแข็งที่พบจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย

2.5.2.1 ปัจจัยทางสรีรวิทยา ที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำนมมีทั้งที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรมและลักษณะที่ไม่เกี่ยวของกับพันธุกรรม เช่น

-ลักษณะทางพันธุกรรม โคพันธุ์ที่แตกต่างกันจะให้ผลผลิต และองค์ประกอบน้ำนมแตกต่างกัน เช่น โคพันธ์โฮสไตส์ฟรีเซี่ยนจะให้ผลผลิตน้ำนมสูงกว่าโคพันธ์เจอซี่ ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ แต่จะมีเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีนต่ำกว่า

-อายุและขนาดของโคนม ผลผลิตน้ำนมของโคจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุโคมากขึ้น จนกระทั่งโคโตเต็มที่ (อายุ 6-8) และหลังจากนั้นผลผลิตน้ำนมจะค่อยๆ ลดลงตามอายุโคที่มากขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันและของแข็งพร่องในไขมัน (Solid not fat, SNF) ในน้ำนมจะลดลง

-วงรอบของการเป็นสัดและการตั้งท้อง ในขณะที่โคนมแสดงอาการเป็นสัดจะมีผลทำให้ผลผลิตของน้ำนมลดลง เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมน และปริมาณการกินอาหารของสัตว์ลดลง หลังจากนั้นผลผลิตของน้ำนมจะคืนสู่สภาพปกติ โคที่ตั้งท้องจะมีผลทำให้ผลิตของน้ำนมลดลง โดยเฉพาะช่วงปลายของการตั้งท้อง (5 เดือนขึ้นไป)

2.5.2.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม มีหลายปัจจัย ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ การเลี้ยงดูและการจัดการรีดนม เป็นต้น

-อุณหภูมิและความชื้น อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงโค คือ 40 ถึง 75 องศาฟาเรนไฮส์ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาฟาเรนไฮส์ ยังไม่มีผลต่อการผลิตน้ำนม แต่มีผลทำให้โคมีความต้องการอาหารสูงขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำมากๆ จะมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ไขมัน ของแข็งพร่องในไขมัน และของแข็งในน้ำนมเพิ่มขึ้น ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่า 70 องศา จะมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงอย่างมาก แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม ของแข็งพร่องในไขมัน และของแข็งในน้ำนมลดลงเพียงเล็กน้อย การลดลงของผลผลิตน้ำนม จะทำให้ความเข้มข้นของไขมันในน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น และการกินอาหารของโคจะลดลง แต่การกินน้ำ อุณหภูมิของร่างกาย และอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้น

-ฤดูกาล มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม เช่น โคที่คลอดลูกต้นฤดูหนาวจะให้ผลผลิตน้ำนมสูงกว่าโคที่ให้ลูกในระยะอื่นๆ ของปี เนื่องจากโคที่คลอดลูกในระยะนี้จะได้รับอาหารอุดมสมบูรณ์ และอากาศเย็นสบาย เหมาะกับการให้นมในระดับสูงและเมื่อเข้าฤดูร้อนโคจะให้น้ำนมน้อยลง ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมจะเพิ่มขึ้นในฤดูหนาว ในขณะที่ปริมาณน้ำนมอยู่ในระดับสูงด้วยและจะลดลงในฤดูร้อน

-ระยะพักการให้นม (Dry period) โคที่มีระยะพักการให้น้ำนม จะมีผลทำให้สภาพโคเมื่อคลอดลูกสมบูรณ์ และทำให้ปริมาณน้ำนมที่โคผลิตได้สูงสุด โดยโคจะนำเอาอาหารที่สะสมไว้ในร่างกายมาสร้างเป็นองค์ประกอบของน้ำนม โคนมควรมีระยะพักการให้น้ำนมไม่เกิน 60 วัน ถ้าโคนมมีระยะพักนานเกินไป จะมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมทั้งหมดลดลง

-การรีดนม จำนวนครั้งของการรีดนมในแต่ละวัน และความยาวนานของการรีดนม มีผลกระทบต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำนมเปลี่ยนแปลงไป การรีดนมไม่หมดเต้า มีผลทำให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง เนื่องจากน้ำนมที่ค้างอยู่ในเต้าเป็นน้ำนมที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงเมื่อเทียบกับน้ำนมที่รีดออกมาครั้งแรกๆ และการที่น้ำนมค้างเต้าเป็นระยะเวลาหลายวัน จะทำให้ผลผลิตของน้ำนมลดลงและเปอร์เซ็นต์ไขมันเพิ่มขึ้น

-อาหารและการให้อาหาร ชนิดของอาหารและวิธีการให้อาหารมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม ปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้มีผลมาจากระดับของโภชนะที่สัตว์ได้รับ ถ้าได้รับโภชนะต่ำกว่าปกติจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมและน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมลดลง แต่ถ้าได้รับโภชนะสูงกว่าปกติปริมาณน้ำนมจะสูงขึ้นไม่มากนัก วิธีการเพิ่มปริมาณน้ำนมโดยการให้อาหารข้นแก่โคในปริมาณสูง และให้อาหารหยาบในประมาณต่ำ จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง

2.6 ความต้องการโภชนะของโคนม

โคนมมีความต้องการโภชนะต่างๆ เช่นเดียวกับสัตว์ชนิดอื่น ที่สำคัญมากที่สุด คือ พลังงาน และโปรตีน ส่วน น้ำ วิตามิน และแร่ธาตุก็จัดเป็นโภชนะที่ขาดไม่ได้เช่นกันสำหรับโคนม

2.6.1 พลังงาน

พลังงานเป็นโภชนะที่อาจได้จาก คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เพราะโภชนะเหล่านี้ให้พลังงานแก่สัตว์ทั้งสิ้น ไขมันให้พลังงานได้มากกว่าโภชนะอื่นๆ ประมาณ 2.25 เท่า โคนมต้องการพลังงานสำหรับใช้ในการทำงานของอวัยวะต่างๆ ใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อต่างๆ สร้างน้ำนม ใช้ในการเคลื่อนไหว เป็นต้น

พลังงานที่ต้องการใช้สำหรับการดำรงชีพ โดยไม่ให้มีการเพิ่มหรือลดน้ำหนักสัตว์ และไม่มีการให้ผลใดๆ จำนวนที่ต้องการขึ้นอยู่กับขนาดของสัตว์ แต่การเพิ่มหรือลดขนาดไม่เป็นไปในอัตราส่วนเดียวกับน้ำหนัก ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพจะเพิ่มตามส่วนของ “กำลัง 0.75 ของน้ำหนัก” หรือ $LW^{0.75}$ (Metabolic liveweight)

โคที่กำลังเจริญเติบโตมีการเพิ่มน้ำหนักตัวโดยการสะสมพลังงานในเนื้อเยื่อของร่างกาย การเติบโตจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีพลังงานเหลือจากการใช้ดำรงชีพ จำนวนพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเนื้อเยื่อที่สร้างขึ้น การสร้างไขมันจะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าสร้างโปรตีน

การสร้างน้ำนมต้องใช้พลังงานในการสังเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนม และพลังงานอีกส่วนหนึ่งใช้ในการทำงาน พลังงานที่ใช้ในการสร้างน้ำนมขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งในน้ำนม น้ำนมที่มีของแข็งในน้ำนมมากก็ต้องใช้พลังงานมากในการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม

พลังงานใช้ในการสืบพันธุ์ พลังงานที่ต้องการในการอุ้มท้องระยะ 6-7 เดือนแรกมีเพียงเล็กน้อย แต่ในระยะ 2-3 เดือนก่อนคลอดจะต้องการพลังงานมากขึ้น

ผลของการให้โคได้รับพลังงานมากหรือน้อยกว่าความต้องการ โคที่ได้รับอาหารให้พลังงานน้อยเกินไปจะเกิดผลเสีย เช่นโคที่ยังเล็กจะเติบโตช้าลง โคที่โตแล้วจะผอมและสุขภาพเสื่อมลง การเป็นสัดจะช้ากว่าปกติ โคที่กำลังให้นมจะให้น้ำนมลดลงอย่างรวดเร็ว และการให้พลังงานแก่โคมากเกินไปจะทำให้โคอ้วนโดยสะสมไขมันไว้มากขึ้น ทำให้สมรรถภาพในการสืบพันธุ์เสื่อมลง (ชวนิศนดากรวรวรรณ, 2534)

2.6.2 โปรตีน

ส่วนใหญ่ของร่างกายสัตว์ เช่น เนื้อและอวัยวะต่างๆ ประกอบด้วย โปรตีน โคจึงต้องใช้โปรตีนจำนวนมากรองจากพลังงาน โปรตีนทำหน้าที่สำคัญๆ เช่น เป็นส่วนประกอบของเม็ดเลือด เป็นเอนไซม์ โปรตีนเป็นสารประกอบรวมของกรดอะมิโนหลายชนิด ทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็น

โคนมใช้โปรตีนเพื่อการดำรงชีพ คือ ใช้ซ่อมแซมโปรตีนที่ถูกกำจัดออกทางมูล (Metabolic fecal protein) ได้แก่ น้ำย่อยที่ใช้แล้ว เซลล์ทางเดินอาหารที่เสื่อมสภาพ และโปรตีนของจุลินทรีย์ โปรตีนที่สูญเปล่ากำจัดออกทางปัสสาวะ (Endogenous urinary protein) ได้แก่ การทำลายกรดอะมิโนที่เหลือใช้จากอาหารที่สัตว์กิน และโปรตีนที่ใช้ซ่อมแซมผิวหนังและขนที่หลุดร่วงไป

ความต้องการโปรตีนเพื่อทำความเติบโตอาจแตกต่างกันได้มากตามความต้องการของผู้เลี้ยงว่าต้องการให้โคเพิ่มน้ำหนักวันละเท่าใด และขึ้นอยู่กับโคว่ากำลังอยู่ในวัยใด

การสืบพันธุ์ของโคต้องการโปรตีนสำหรับสร้างตัวอ่อน สร้างรก และสร้างมดลูก

ความต้องการโปรตีนใช้ในการให้นม ตามปกติโคสามารถใช้โปรตีนในอาหาร เพื่อเปลี่ยนเป็นโปรตีนในน้ำนมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงมาก คือ ประมาณร้อยละ 80 ฉะนั้นโปรตีนที่ต้องการในอาหารจะใช้ประมาณร้อยละ 140 ของโปรตีนในน้ำนม

ผลของการให้โปรตีนแก่โคมากหรือน้อยเกินไป เนื่องจากโปรตีนเป็นตัวสำคัญในการทำงานของร่างกายสัตว์ การขาดโปรตีนอย่างรุนแรงมีผลทำให้ แม่โคที่กำลังให้นมจะให้นมน้อยลงและปริมาณโปรตีนและของแข็งในน้ำนมจะลดลง โคที่กำลังเจริญเติบโตจะเติบโตช้าลงหรือชะงักการเติบโต และโคที่ขาดโปรตีนจะมีความต้านทานโรคลดลง จุลินทรีย์ในกระเพาะจะทำงานได้ไม่เต็มที่และอาจทำให้โคเกิดการขาดพลังงานตามมาด้วย ส่วนการให้โปรตีนแก่โคมากเกินความต้องการนอกจากจะสิ้นเปลืองแล้วโปรตีนเหลือใช้ก็จะไม่มีทางเก็บไว้ในร่างกายได้มากนัก ถ้าโปรตีนเหลือใช้จะถูกทำลายและขับยูเรียออกทิ้งทางปัสสาวะ การย่อยได้ของโปรตีน จะลดลงเมื่อโคได้รับอาหารที่มีปริมาณมาก ซึ่งไปทำให้ระดับของผลผลิตน้ำนมสูงขึ้น ส่งผลให้การย่อยได้ลดลง โปรตีน คือ ส่วนประกอบอย่างหนึ่งของอาหารโคนมที่มีราคาแพง แต่โคนมจะต้องได้รับโปรตีนให้เพียงพอต่อความต้องการ เพราะถ้าได้รับโปรตีนไม่เพียงพอ จะส่งผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง และทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงด้วย รวมทั้งกระบวนการทำงานต่างๆ ของร่างกายจะทำงานได้ไม่ปกติ ถ้าเกิดการขาดแคลนโปรตีนอย่างรุนแรง (ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2534)

2.6.3 แร่ธาตุ

ปริมาณความต้องการแร่ธาตุในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิดที่มีอิทธิพลต่อระดับความต้องการแร่ธาตุ เช่น ลักษณะทางธรรมชาติของสัตว์ ระดับการให้ผลผลิต อายุ ระดับและองค์ประกอบทางเคมีของแร่ธาตุที่ใช้ ปริมาณแร่ธาตุเสริมที่ได้รับจากอาหาร พันธุกรรม และความสามารถในการปรับตัว อย่างไรก็ตามความต้องการแร่ธาตุมีส่วนโดยตรงกับระดับการให้ผลผลิต

ความสามารถในการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ การปรับตัว เช่น ประสิทธิภาพในการดูดซึมแร่ธาตุในอาหารในแต่ละพันธุ์ของสัตว์เคี้ยวเอื้องของธาตุแมกนีเซียม (Mg) จะต่างกัน 5-35 เปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัส (P) ต่างกัน 40-80 เปอร์เซ็นต์ และของทองแดง (Cu) จะต่างกัน 2-10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

แร่ธาตุหลัก (Macro minerals) (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2538) ประกอบด้วย

แคลเซียม หน้าที่ เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน และมีความจำเป็นต่อการพัฒนาการของกระดูกและฟัน ทำให้เลือดแข็งตัวตกตะกอน ทำให้หัวใจ ประสาท และกล้ามเนื้อทำงานโดยปกติ

มีความสำคัญต่อการสร้างน้ำนม ถ้าขาดแคลเซียม ทำให้การเจริญของกระดูกช้า ในลูกโคจะเป็นโรคกระดูกอ่อน ในโคโตเป็นโรคกระดูกเปราะ ในโครีดนมเป็นโรคไข้นม ความต้องการแคลเซียมในอาหาร ขึ้นอยู่กับชนิด อายุและน้ำหนักของโคหรือผสมในอาหาร 45 กรัม/ตัว/วัน

ฟอสฟอรัส หน้าที่ มีความจำเป็นต่อการบำรุงรักษากระดูกและฟัน เป็นส่วนประกอบสำคัญของโปรตีนและฟอสโฟลิปิด ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างดุลยภาพของกรด-ด่างในน้ำลาย เลือดและของเหลวในร่างกาย ถ้าขาดฟอสฟอรัส จะทำให้เบื่ออาหาร เจริญเติบโตช้า กระดูกเปราะ ความสมบูรณ์พันธุ์ต่ำ เป็นสัดไม่สม่ำเสมอ ผสมติดยาก ความต้องการฟอสฟอรัสในอาหารขึ้นอยู่กับชนิด อายุและน้ำหนักของโค ลูกโคต้องการ 0.30 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร

แมกนีเซียม หน้าที่ เป็นส่วนประกอบอยู่ในกระดูก ในเอนไซม์และในระบบประสาท ถ้าขาดแมกนีเซียม จะมีอาการสั่นกระตุก หรือน้ำนมลด ความต้องการแมกนีเซียม ลูกโคกินนม 12-16 mg/kgLW daily โครีดนม 2.0-2.5 g Mg plus 0.12 g/kg milk แร่ธาตุในอาหาร ในอาหารลูกโค 0.07 เปอร์เซ็นต์ ในโครีดนม 0.20 เปอร์เซ็นต์

โปแตสเซียม หน้าที่ มีความจำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ กล้ามเนื้อ และประสาท ช่วยรักษาสภาวะความดันในร่างกายและสมดุลย์ของความเป็นกรด-ด่างในร่างกาย ถ้าขาดโปแตสเซียม จะทำให้เบื่ออาหาร น้ำหนักลด น้ำนมลด ผิวหนังหยาบกร้าน ความต้องการโปแตสเซียมในอาหารโค 0.8 เปอร์เซ็นต์

โซเดียม หน้าที่ ควบคุมการทำงานของน้ำลายและของเหลวภายในร่างกาย ช่วยรักษาสภาวะความดันภายในร่างกาย และสมดุลย์ความเป็นกรด-ด่าง ช่วยในการขนถ่ายโภชนะต่างๆ ภายในร่างกาย ถ้าขาดโซเดียม จะทำให้เบื่ออาหาร ประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ ให้ผลผลิตต่ำ การกินน้ำลดลง ความต้องการโซเดียม โครีดนมให้นมวันละ 20 กิโลกรัม 30 กรัมโซเดียมคลอไรด์/ตัว/วัน แร่ธาตุในอาหาร โครีดนม 0.18 เปอร์เซ็นต์โซเดียม โคไม่รีดนม 0.1 เปอร์เซ็นต์โซเดียม

กำมะถัน หน้าที่ เป็นแหล่งโภชนะสำหรับการสังเคราะห์กรดอะมิโนของจุลินทรีย์ เป็นส่วนประกอบของไบโอติน (Biotin) ไทอามิน (Thiamin) โคเอนไซด์ เอ (Coenzyme A) และกรดอะมิโน ถ้าขาดกำมะถัน จะทำให้การเจริญเติบโตช้า เบื่ออาหาร น้ำนมลด การสังเคราะห์โปรตีนในกระเพาะหมักลดลง มีการขับน้ำลายออกมามากเกินไป ความต้องการกำมะถันในอาหาร โครีดนม 0.20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร

แร่ธาตุรอง (Micro minerals) (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2538) ประกอบด้วย

โคบอลท์ หน้าที่ เป็นส่วนประกอบของไวตามินบี 12 ถ้าขาดโคบอลท์ จะทำให้เป็นโลหิตจาง น้ำหนักลด น้ำนมลด ลูกโคที่เกิดใหม่อ่อนแอ ความต้องการโคบอลท์ในอาหาร 0.10 mg Co/kgDM อาหาร

ไอโอดีน หน้าที่ เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนไธรอกซิน (Thyroxin) ถ้าขาดไอโอดีน จะทำให้เป็นโรคคอพอก โดยเฉพาะในลูกโคคลอดใหม่ น้ำนมลด ผสมติดยาก ความต้องการไอโอดีน 400-800 μg l/วัน สำหรับโคน้ำหนัก 450 กิโลกรัม ให้นม 18 กิโลกรัม แร่ธาตุในอาหาร โคไม่รีดนม 0.25 mg I/kg DM อาหาร โครีดนม 0.50 mg l/kg DM อาหาร

ทองแดง หน้าที่ ช่วยในการสร้างเม็ดเลือด มีหน้าที่เกี่ยวกับการทำงานของเอนไซม์ เซลล์ประสาทในไขสันหลังและสมอง ถ้าขาดทองแดง จะทำให้ท้องร่วง น้ำหนักลด เจริญเติบโตช้า ผสมติดยาก คลอดลูกยาก รกค้าง ความต้องการทองแดงในอาหาร 10 mg/kg DM อาหาร

เหล็ก หน้าที่ เป็นส่วนประกอบของฮีโมโกบิน (Haemoglobin) ถ้าขาดเหล็ก จะทำให้โลหิตจาง เจริญเติบโตช้า น้ำหนักลด เบื่ออาหาร ความต้องการเหล็กในอาหาร ลูกโค 100 mg Fe/kgDM อาหาร โคอื่นๆ 50 mg Fe/kgDM อาหาร

สังกะสี หน้าที่ เป็นส่วนที่จำเป็นต่อการพัฒนาของผิวหนัง ขน และกระดูก ถ้าขาดสังกะสี ทำให้การทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายเสื่อม ความต้องการสังกะสีในอาหาร 40 mg/kgDM อาหาร

ซีลีเนียม หน้าที่ จะเกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ของไวตามิน อี ถ้าขาดซีลีเนียม จะทำให้การทำงานของหัวใจล้มเหลว ผสมติดยาก รกค้าง ความต้องการซีลีเนียมในอาหาร 0.1 mg/kgDM อาหาร

2.6.4 วิตามิน

โคต้องการวิตามินที่มีอยู่ในอาหารหลายชนิด แต่โคอาศัยจุลินทรีย์ซึ่งสามารถสังเคราะห์วิตามินได้หลายชนิดเช่นกัน ดังนั้นโคจึงมีความต้องการวิตามินในอาหารเพียงบางชนิดเท่านั้น เช่น วิตามิน เอ ดี และอี เป็นต้น (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2538)

วิตามิน เอ หน้าที่ มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต และกระตุ้นการอยากกินอาหาร ช่วยป้องกันและรักษาเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย มีความจำเป็นต่อระบบสืบพันธุ์และการให้นม ถ้าขาดวิตามิน เอ จะทำให้ เยื่อบุทางเดินอาหารเสื่อม รวมทั้งอวัยวะสืบพันธุ์ด้วย น้ำหนักลด การสืบพันธุ์เสื่อมสมรรถภาพ แท้งลูก เป็นต้น ความต้องการวิตามิน เอ ในอาหาร ขึ้นอยู่กับชนิด อายุ และน้ำหนักของโค

วิตามิน ดี หน้าที่ จำเป็นต่อการดูดซึมและเปลี่ยนแปลงแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกายสัตว์ จำเป็นต่อการพัฒนาการของกระดูกรวมทั้งกระดูกของลูกในท้องด้วย ถ้าขาดวิตามิน ดี จะทำให้เบื่ออาหาร เจริญเติบโตช้า กระดูกอ่อนในลูกโค น้ำนมลด เป็นต้น ความต้องการวิตามิน ดี ในอาหาร ขึ้นอยู่กับชนิด อายุ และน้ำหนักของโค

วิตามิน อี ในโคนมไม่ปรากฏว่าโคนมต้องการวิตามิน อี ในหน้าที่ใด แต่ถ้าหากลูกโคขาด อาจเป็นโรคกล้ามเนื้อขาว มีอาการ คือ อ่อนแอ เดินไม่แข็งแรง ขาหลังแกว่งขณะเดิน หัวใจอาจวายได้ทันที

วิตามิน เค มีหน้าที่ ช่วยให้เลือดแข็งตัว ในธรรมชาติมีวิตามินนี้มากในใบหญ้า และในตัวโคจุลินทรีย์ในกระเพาะสามารถสร้างวิตามิน เค ได้ ในแง่การให้อาหารโคไม่ต้องนำมาพิจารณาก็ได้

วิตามิน บี รวม วิตามินต่างๆ ในกลุ่ม บีรวม (B-complex) ส่วนใหญ่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ วิตามิน บี หลายชนิดโคสามารถสร้างขึ้นเองได้ในกระเพาะที่หนึ่ง โดยการทำงานของจุลินทรีย์ คือไทอะมิน ไรโบฟราวิน ไพริดอกซิน กรดเพนโทเทนิก ไบโอติน กรดนิโคตินิก และวิตามินบี 12

วิตามิน ซี โคสามารถสร้างวิตามิน ซี ได้อย่างเพียงพอโดยไม่ต้องการจากอาหาร

2.6.5 น้ำ

น้ำ คือ โภชนะที่จำเป็นสำหรับโคนม มีความจำเป็นสำหรับรักษาระดับของของเหลวในร่างกาย การย่อย การดูดซึม และการใช้ประโยชน์ของโภชนะต่างๆ สำหรับการขับของเสียและความร้อนออกจากร่างกาย และสำหรับการขนส่งโภชนะต่างๆ ไปยังเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย น้ำที่โคนมต้องการได้มาจากน้ำที่ได้กินอย่างอิสระ น้ำที่มาจากอาหาร และการผลิตน้ำจากขบวนการ Oxidation ของโภชนะต่างๆ โคนมจะสูญเสียน้ำในรูปของน้ำลาย ปัสสาวะ มูลและน้ำนม ตลอดจนการเคี้ยวเอื้องและการหายใจ น้ำที่สูญเสียออกจากร่างกายของโคนมนั้น ขึ้นอยู่กับการทำกิจกรรมต่างๆ ของโค อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ความชื้นในอากาศ อัตราการหายใจ ส่วนประกอบของอาหารที่กิน เป็นต้น

ความต้องการน้ำ โดยปกติสัตว์จะกินน้ำเมื่อกระหาย เพื่อนำไปแทนที่ส่วนที่สูญเสียไป เมื่อสัตว์กระหายน้ำจะมีการขับน้ำลายลดลง เนื่องจากน้ำในพลาสมาลดลง ปากและคอแห้ง สัตว์เลี้ยงทั่วไปจะกินน้ำในระหว่างที่กินอาหารหรือหลังจากนั้นเล็กน้อย ถ้ามีน้ำให้กินใกล้ๆ ในสภาพอากาศร้อนสัตว์จะกินน้ำถี่ขึ้น และปริมาณน้ำที่ดื่มก็เพิ่มขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการน้ำ คือ ประเภทของสัตว์ อายุและกิจกรรม เช่น สัตว์ที่มีกิจกรรมสูง ต้องการน้ำมากกว่าพวกเฉื่อยชา สภาพทางสรีรวิทยาของสัตว์ เช่น สัตว์ท้องจะมีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้น เพราะสัตว์ผลิตความร้อนสูงขึ้นและขับปัสสาวะมากขึ้น และสัตว์ที่ให้นมจะต้องการน้ำมากเป็น

พิเศษ เพราะน้ำนมมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่สูง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น สัตว์จะกินอาหารลดลงแต่กินน้ำมากขึ้น เพื่อลดความร้อนในร่างกาย ปริมาณน้ำในอาหารและปริมาณอาหารที่กิน อาหารที่มีน้ำสูง เช่น พืชสดหรือพืชหมัก สัตว์จะกินน้ำน้อยกว่าเมื่อกินอาหารแห้ง ส่วนประกอบของอาหาร เช่น เกลือและโปรตีน ถ้าอาหารมีเกลือไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ สัตว์จะสามารถทนได้โดยไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อปริมาณน้ำและอาหารที่กินนัก แต่ถ้าอาหารมีความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้น สัตว์จะกินน้ำเพิ่มขึ้น เพราะเกลือทำให้เกิดการระบายจึงสูญเสียน้ำออกในมูลเพิ่มขึ้น และอาหารที่มีโปรตีนสูงจะทำให้สัตว์กินน้ำเพิ่มขึ้น เพราะสัตว์ต้องใช้น้ำในการช่วยขับยูเรียออกทางปัสสาวะ ทำให้สัตว์ปัสสาวะมากกว่าปกติ นอกจากนี้อาหารที่มีเยื่อใยและเพคตินสูงมาก จะทำให้สัตว์ต้องการน้ำมากขึ้น เพราะมีการขับน้ำออกทางมูลสูงขึ้น เป็นต้น (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2541)

2.7 หลักการทางพลังงาน

2.7.1 หน่วยพลังงาน

พลังงานมีหลายแบบ ไม่อาจวัดพลังงานได้โดยตรง พลังงานสามารถที่จะเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ เนื่องจากพลังงานทุกรูปสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ง่ายที่สุด ดังนั้นการวัดพลังงานจึงวัดออกมาในรูปความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดพลังงานในอาหารและในร่างกาย หน่วยของพลังงานเรียก แคลอรี (Calory หรือ cal)

พลังงานความร้อน 1 แคลอรี คือปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส คือ จาก 16.5 เป็น 17.5 องศาเซลเซียส

เนื่องจากแคลอรีมีค่าน้อย จึงนิยมระบุเป็นค่ากิโลแคลอรี (kilocalory, Kcal) และเมกะแคลอรี (megacalory, Mcal)

หน่วยจูล (Joule) เป็นหน่วยที่ทำการวัดด้วยไฟฟ้า เพราะมีความเห็นว่าวัดพลังงานความร้อนโดยอาศัยการเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำนั้นอาจมีข้อผิดพลาด เพราะน้ำมีอุณหภูมิต่างกันมีความร้อนจำเพาะต่างกัน การเปลี่ยนหน่วยอาศัยค่า คือ 1 แคลอรี เท่ากับ 4.184 จูล หรือ 1 จูล เท่ากับ 0.233 แคลอรี

2.7.2 ระบบพลังงาน

ในสหรัฐอเมริกา นิยมใช้หน่วยวัดพลังงาน คือ

โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible Nutrients, TDN) ค่า TDN ที่เป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์ คำนวณได้จากผลรวมของปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดที่มีในอาหาร 100 กิโลกรัม ดังนี้

TDN = Digestible protein (%DCP) + Digestible crude fiber (%DCF) + Digestible nitrogen free extract (%DNFE) + 2.25 * Digestible ether extract (%DEE) (NRC, 1988)

เมื่อ DCP = โปรตีนที่ย่อยได้ (กิโลกรัมต่อ 100 กิโลกรัมวัตถุแห้ง)

DCF = เยื่อใยที่ย่อยได้ (กิโลกรัมต่อ 100 กิโลกรัมวัตถุแห้ง)

DNFE = คาร์โบไฮเดรตย่อยง่ายที่ย่อยได้ (กิโลกรัมต่อ 100 กิโลกรัมวัตถุแห้ง)

DEE = ไขมันที่ย่อยได้ (กิโลกรัมต่อ 100 กิโลกรัมวัตถุแห้ง)

ในการคิดค่า TDN นี้ ไขมันมีพลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า ดังนั้น จึงต้องเอา 2.25 คูณกับปริมาณไขมันที่ย่อยได้ ค่า TDN ของอาหารมีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลที่ใช้หาค่า TDN ของอาหารได้มาจาก การทดลองการย่อยได้ (Digestion trials) และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์และมูล อาหารหยาบส่วนใหญ่จะมีค่า TDN อยู่ในช่วงระหว่าง 45 และ 65 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าอาหารสัตว์บางชนิดจะมีค่าต่ำกว่า ส่วนค่า TDN ของเมล็ดพืชจะอยู่ระหว่างช่วง 65 และ 85 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าบางค่าที่ได้อาจจะมากหรือน้อยกว่านี้ก็ได้ (Schmidt and Van Vleck, 1974)

ข้อดีของการใช้ระบบ TDN คือ ง่ายทั้งในด้านการทดลองและในด้านการปฏิบัติ คือ ค่า TDN สามารถหาได้โดยตรงจากการวิเคราะห์โภชนะและการหาการย่อยได้โดยทดลองกับตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility)

ข้อเสีย คือ ค่า TDN ที่หาได้ ไม่ได้คำนึงถึงวิตามินและแร่ธาตุ และระบบ TDN นี้มีข้อบกพร่องเมื่อใช้เปรียบเทียบวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบต่างกันมากๆ เช่น อาหารข้นกับอาหารหยาบ เพราะระบบนี้ประเมินค่าของอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำได้สูงเกินความเป็นจริง ทั้งนี้เนื่องจากระบบ TDN ไม่ได้คำนึงถึงการสูญเสียพลังงานในรูปของแก๊สมีเทนและความร้อน ซึ่งการสูญเสียทั้งสองนี้ในอาหารหยาบจะมีมากกว่าอาหารข้น หรืออาจกล่าวได้ว่า 1 กิโลกรัม TDN ในอาหารหยาบให้พลังงานที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง น้อยกว่า 1 กิโลกรัม TDN ในอาหารข้น (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2541)

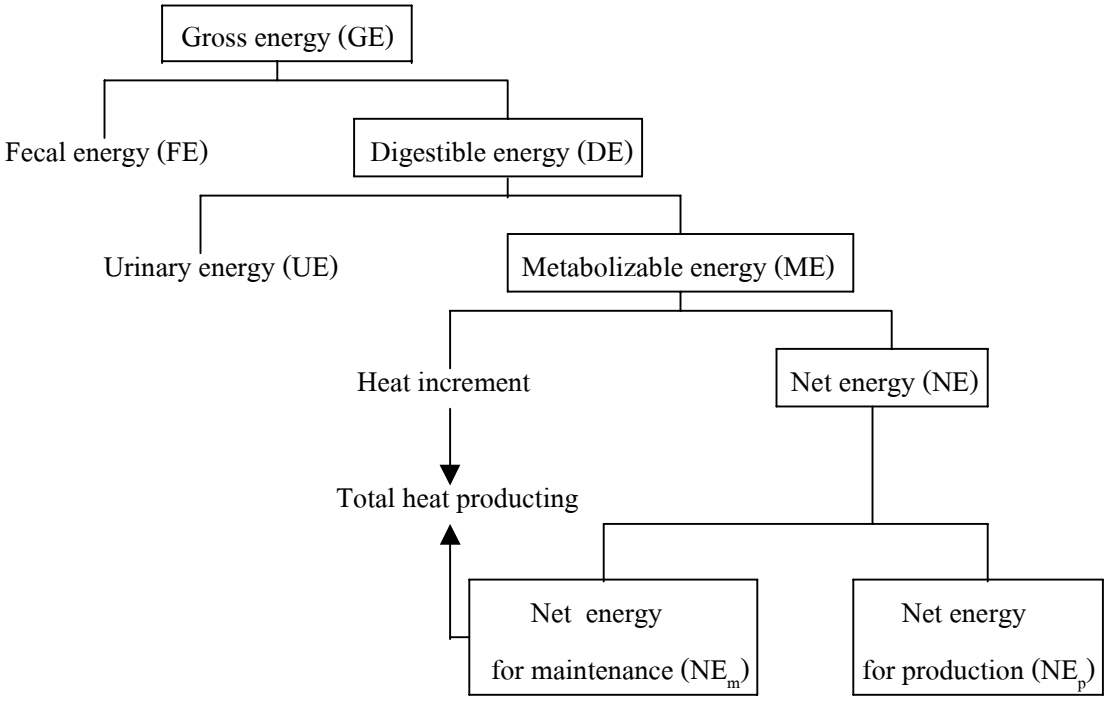
และ Calorie System เป็นระบบที่ใช้วัดค่าพลังงานในอาหาร โดยที่ 1 cal หมายถึง ปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องการทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส (โดยปกติเพิ่มจาก 16.5

เป็น 17.5 องศาเซลเซียส การวัดพลังงานความร้อนนี้ทำได้โดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Bomb calorimeter เพื่อเผาผลาญอาหารที่ต้องการวัดค่าพลังงานในสภาพที่มีออกซิเจน

ในเครือจักรภพอังกฤษ เช่น อังกฤษ นิวซีแลนด์ และออสเตรเลีย จะใช้ระบบพลังงานที่เรียกว่า British Metabolisable Energy (ME) ระบบพลังงานระบบนี้มีหน่วยวัดเป็น จูล กิโลจูล และเมกะจูล

2.7.3 การจำแนกประเภทพลังงาน

อาหารที่สัตว์กินเข้าไป จะผ่านกระบวนการต่างๆ ก่อนที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การย่อย การดูดซึม และการเมตาบอไลซ์ เป็นต้น พลังงานที่สัตว์กินเข้าบางส่วนจะสูญเสียในรูปของมูล ปัสสาวะ แก๊สจากการหมักย่อย (กรณีสัตว์เคี้ยวเอื้อง) และความร้อน พลังงานที่เหลือเรียกว่าพลังงานสุทธิ ซึ่งสัตว์สามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิต และการให้ผลผลิต ดังแผนภาพที่ 3



แผนภาพที่ 3 ขั้นตอนการสูญเสียพลังงานและพลังงานประเภทต่างๆ
ที่มา : บุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2541)

รายละเอียดของประเภทพลังงาน มีดังนี้

พลังงานรวม (Gross Energy, GE) คือ พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ได้รับจากการเผาผลาญของอาหารที่สัตว์กินเข้าไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา (Mcal/day) ซึ่งสามารถวัดได้จากการเผาผลาญอาหารภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน โดยใช้เครื่อง Bomb calorimeter ความร้อนที่ถูกเผาผลาญจะคำนวณหาได้จากค่าอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น

พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) คือ พลังงานย่อยได้ที่ปรากฏ หรือที่ยังไม่ได้ปรับค่า (Apparent digestible energy) ซึ่งได้จากพลังงานสูญหายในมูล ข้อดี คือ สามารถวัดได้ง่าย ซึ่งหาค่าได้จากปริมาณอาหารทั้งหมดที่กินและมูลทั้งหมดที่ขับออก แล้วนำตัวอย่างอาหารและตัวอย่างมูลไปวิเคราะห์หาค่าพลังงานด้วยเครื่องบอม แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ก็สามารถคำนวณค่า DE ได้ สิ่งที่แตกต่างจาก TDN คือ DE จะระบุค่าพลังงานเป็นกิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้งของอาหาร (Kcal/kgDM of feed) ซึ่งสามารถคำนวณค่า DE ของอาหารสัตว์ดังนี้

DE (Kcal/kgDM) = 0.04409 * TDN(%) (NRC, 1988)

พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) ค่าพลังงาน ME นอกจากจะคำนึงถึงพลังงานที่สูญเสียไปในมูลแล้ว ยังคำนึงถึงการสูญเสียพลังงานในปัสสาวะด้วย แต่ก็ยังไม่คำนึงถึงพลังงานที่สูญเสียในรูปของความร้อน ค่า ME ของอาหารสัตว์สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

พลังงานสุทธิ (Net energy, NE) พลังงานในอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไป นอกจากจะสูญเสียในรูปของมูล ปัสสาวะ และแก๊สแล้ว ยังสูญเสียในรูปของความร้อน (Heat increment) และแตกต่างกันตามประเภทของอาหาร ดังนั้นเพื่อความถูกต้องจึงต้องนำค่าเหล่านี้มาหักจากพลังงานในอาหารด้วย ค่าที่ได้เรียกว่า พลังงานสุทธิ ค่า NE ของอาหารสัตว์ สามารถคำนวณได้ตามสมการ ดังนี้ (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 * TDN(% of DM) – 0.12

และ ค่า ME ในที่นี้ คำนวณจาก ME = 0.82 DE

ข้อดีของพลังงานสุทธิ คือ พลังงานในอาหารและพลังงานที่สัตว์ต้องการ (Energy requirement) ถูกประเมินให้อยู่ในระดับเดียวกัน จึงสะดวกในการคำนวณสูตรอาหาร แต่ถ้าการประเมินพลังงานในอาหารอยู่ในรูปของพลังงาน DE หรือพลังงาน ME แต่ความต้องการพลังงานระบุในรูปของพลังงานสุทธิ จะต้องคำนวณประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงาน ME ในอาหารให้เป็นพลังงานสุทธิก่อน ซึ่งเป็น

เรื่องยุ่งยาก อย่างไรก็ตาม พลังงานสุทธิมีข้อจำกัด คือ การวัดค่า Heat increment ยากมาก ต้องใช้อุปกรณ์ที่ละเอียดอ่อนและมีราคาแพง

การอธิบายถึงการใช้ประโยชน์ของพลังงานจากอาหารนิยมใช้ Metabolisable energy ในการอธิบาย ไม่ว่าจะเป็นระบบจากสหรัฐเมริกา (National research council, NRC) หรือ ระบบในเครือจักรภพอังกฤษ (Agricultural research council, ARC) อย่างไรก็ตามทั้งสองระบบยังกล่าวถึง การใช้พลังงานสุทธิ (Net energy) ในการอธิบายการใช้ประโยชน์พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (Net energy for maintenance) พลังงานสุทธิที่สะสมในเนื้อเยื่อร่างกาย (Net energy for tissue gain) พลังงานสุทธิเพื่อการอุ้มท้อง (Net energy for pregnancy) และพลังงานสุทธิเพื่อการสร้างผลผลิต (Net energy for production)

และในการทำวิทยานิพนธ์ ครั้งนี้ได้ใช้ระบบพลังงานในเครือจักรภพอังกฤษ หรือ Agricultural Research Council (ARC) ในการอธิบายผล

2.8 ความต้องการพลังงานและโปรตีน

2.8.1 ความต้องการพลังงาน (Requirement for energy)

พลังงานเป็นโภชนะที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง ในสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความต้องการพลังงานระดับหนึ่ง เพื่อการดำรงชีวิต (Requirement for maintenance) เพื่อการเจริญเติบโต (Requirement for growth) เพื่อสร้างผลผลิต (Requirement for production) และเพื่อการสืบพันธุ์ (Requirement for pregnancy) ระบบพลังงานที่ใช้วัดมีหลายระบบ แต่ละระบบจะวัดค่าความต้องการพลังงานด้านสรีรวิทยาของร่างกายสัตว์ และค่าพลังงานของอาหารสัตว์

ARC (1980) ได้รวบรวมสมการที่ใช้ในการคำนวณความต้องการพลังงาน ME และพลังงาน NE ทั้งหมดต่อวัน (MJ/day) ดังนี้

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

เมื่อ ME_m = ความต้องการพลังงาน ME เพื่อการดำรงชีพ (ME requirement for maintenance)

ME_g = ความต้องการพลังงาน ME เพื่อการเจริญเติบโต (ME requirement for growth)

ME_l = ความต้องการพลังงาน ME เพื่อการให้นม (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 เพื่อการให้นม (NE requirement for lactation)

k_m = ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Efficiency for maintenance)

k_g = ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (Efficiency for growth)

k_l = ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการให้นม (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) + 1.509 (Tyrrell and Reid, 1965)

k_m = 0.35q 0.503 (AFRC, 1992)

k_l = 0.35q + 0.42 (AFRC, 1992)

k_g (Growing ruminant) = 0.78q + 0.006 (AFRC, 1992)

k_g (Lactating ruminants) = 0.95k_l (AFRC, 1992)

ค่าของ q ในสมการข้างต้น คือ ค่าของความเข้มข้นของพลังงาน ME ที่ประกอบอยู่ใน GE เรียกว่า Metabolisability หรือหมายถึงสัดส่วนของพลังงาน ME/GE ในอาหารสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่ง

Fasting metabolism หมายถึง ความต้องการพลังงานในขณะที่สัตว์อยู่เฉยๆ และไม่ได้กินอาหาร (อดอาหาร) แต่ยังมีความต้องการพลังงานส่วนหนึ่งเพื่อให้ร่างกายดำเนินกิจกรรมในทาง metabolism ต่อไปได้อย่างปกติ เช่น การหายใจ การไหลเวียนของโลหิต รวมทั้งการทำงานของอวัยวะต่างๆ Fasting metabolism สามารถคำนวณได้จากสมการ

$F = 0.53(LW/1.08)^{0.67}$ เมื่อ LW = Liveweight (kg)

Factor 1.08 เพื่อเทียบน้ำหนักมีชีวิตเป็นน้ำหนักเมื่ออดอาหาร (Fasted body weight)

ส่วน Activity allowances (A) หมายถึง ความต้องการพลังงานเพื่อการดำเนินกิจกรรมประจำวัน เช่น การเดิน การยืน การขยับร่างกาย

ARC (1980) ได้ประมาณความต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ ไว้ดังนี้

Horizontal movement = 2.6 J/kgLW/metre

Vertical movement = 28 J/kgLW/metre

Standing for 4 hours = 10 kJ/kgLW/day

Body position change = 260 J/kgLW

AFRC (1992) ได้กำหนดความต้องการพลังงานเพื่อการดำเนินกิจกรรมของโคนม (Activity allowances, A) ไว้ว่าในวันหนึ่งๆ โคนมจะเดินเฉลี่ยระยะทาง 500 เมตร ยืน 14 ชั่วโมง และเปลี่ยนตำแหน่ง 9 ครั้ง ฉะนั้น

A (kJ/day) = (1.30 + 5.83 + 2.34)LW หรือ Activity allowances (MJ/day) = 0.0095LW

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่า ME_m ได้ดังนี้

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

ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (NE_l) คำนวณได้จากพลังงานสุทธิที่มีอยู่ในน้ำนม หรือเรียกว่า Energy value of milk [EV_l] AFRC (1992) แนะนำให้ใช้สมการของ Tyrell and Reid (1965) ซึ่งให้ค่า [EV_l] แม่นยำพอสมควร

[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]

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

เมื่อ [F] = ไขมันในน้ำนม [P] = โปรตีนในน้ำนม และ [L] = น้ำตาลแลคโตสในน้ำนม ทั้งหมดมีหน่วยเป็น g/kg milk

เมื่อทราบค่า [EV_l] หรือ NE_l แล้วก็สามารถคำนวณค่าความต้องการพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตน้ำนม (ME_l) ได้ดังนี้

$ME_l = NE_l/k_l$

การคำนวณหาค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต หรือเพื่อการเพิ่มหรือลดน้ำหนัก ทั้งนี้เพราะพลังงานส่วนเกินจากการดำรงชีพและการผลิตน้ำนม จะถูกสะสมไว้ในรูปไขมัน เมื่อถึงเวลาที่โคนมได้รับพลังงานไม่เพียงพอสำหรับเพื่อการผลิตน้ำนม จะเคลื่อนย้ายพลังงานที่สะสมไว้มาใช้ (Mobilisation) การเคลื่อนย้ายพลังงานสะสมนี้จะทำให้โคสูญเสียน้ำหนักตัวไปโดยเฉพาะในช่วงต้นของการให้นม (Early lactation) การคำนวณค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเพิ่มหรือลดน้ำหนักนี้ AFRC (1992) จึงได้ประมาณค่าโดยทั่วไปไว้ดังนี้

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

เมื่อทราบค่า NE_g แล้วก็สามารถคำนวณหาค่าความต้องการพลังงาน ME เพื่อการเจริญเติบโต (ME_g) ดังนี้

$ME_g = NE_g/k_g = 19/k_g$ (MJ/kg Gain) = $16/k_g$ (MJ/kg Loss)

2.8.2 ความต้องการโปรตีน (Requirement for protein)

ความต้องการโปรตีนสุทธิ (Net tissue protein requirement)

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการโปรตีนเพื่อเสริมสร้างส่วนต่างๆ ของร่างกาย และเพื่อการเจริญเติบโต รวมทั้งการให้ผลผลิตในรูปต่างๆ ความต้องการโปรตีนเพื่อการต่างๆ มีลักษณะคล้ายกับความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต และความต้องการโปรตีนเพื่อการให้นม

AFRC (1992) ได้ให้สมการความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการต่างๆ ดังนี้

$NP_R = NP_m + NP_l + NP_g$

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

NP_m = ความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NP requirement for maintenance)

NP_l = ความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NP requirement for lactation)

NP_g = ความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NP requirement for weight change)

NP (Net tissue protein) อาจเรียกว่า Tissue protein (TP) สำหรับ NP_R บางครั้งเรียก Net tissue protein retention หรือ Net tissue protein retained in animal products ซึ่งรวมถึง NP ที่เป็นส่วนประกอบในน้ำนม ในเนื้อเยื่อต่างๆ และสำหรับการดำรงชีพ

AFRC (1992) ให้สมการการคำนวณ Net tissue protein เพื่อการดำรงชีพ ดังนี้

NP_m (g/day) = $NP_b + NP_d$

เมื่อ NP_b = Basal endogenous protein = 6.25*Basal endogenous nitrogen (BEN)

ซึ่ง ARC (1984) ได้ให้สมการของ BEN หรือ TEN (Tissue endogenous N) ดังนี้

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

ฉะนั้น $NP_b = 6.25*0.35LW^{0.75} = 2.1875LW^{0.75}$

NP_d = allowance for dermal losses as scurf and hair = $6.25*0.018LW^{0.75}$

$= 0.1125LW^{0.75}$

ดังนั้น NP_m (g/day) = NPb + NPd = $2.1875LW^{0.75} + 0.1125LW^{0.75} = 2.30LW^{0.75}$

สำหรับค่าการประมาณค่าความต้องการ Net tissue protein ที่อยู่ในน้ำนม สามารถทำได้โดยสมการ

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

ส่วนการหาค่า Net tissue protein สำหรับการเพิ่มหรือการสูญเสียน้ำหนักนั้น ARC (1984) ได้กำหนดไว้ว่า Net protein content of liveweight gain = 150 g/kg Gain หรือ Net protein content of liveweight Loss = 112 g/kg Loss

2.8.2.2 ความต้องการ Rumen degradable protein (RDP)

โดยปกติแล้วสัตว์เคี้ยวเอื้องอาศัยจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพอยู่ในกระเพาะหมัก เพื่อช่วยย่อยอาหารที่สัตว์กินเข้าไป หรือจุลินทรีย์จะสามารถใช้อาหารที่มีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างต่ำเพื่อสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ ในเซลล์จุลินทรีย์จะอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารโดยเฉพาะโปรตีน แต่ก่อนที่จุลินทรีย์จะสังเคราะห์โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบหลักของเซลล์จุลินทรีย์นั้น จุลินทรีย์ก็มีความต้องการโภชนะส่วนหนึ่งเพื่อการสังเคราะห์ธาตุอาหารในเซลล์ โดยเฉพาะโปรตีนและพลังงาน โปรตีนที่ว่า คือ โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก หรือ Rumen degradable protein (RDP)

ความต้องการ RDP ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างขบวนการหมักย่อย Dietary organic matter ในกระเพาะหมัก จากการวิจัยพอสรุปได้ว่าในทุกๆ 1MJ ของ dietary ME ที่สัตว์กินเข้าไป จุลินทรีย์จะสามารถสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนได้มากที่สุด หรือมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อใช้ Rumen degradable nitrogen (RDN) = 1.34 g ร่วมกับพลังงาน ME (ARC, 1984) ดังนั้นปริมาณความต้องการ RDP ที่ต่ำที่สุด เพื่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน = (1.34*6.25) ME หรือ

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

2.8.2.3 ความต้องการ Rumen undegradable protein (UDP)

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

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

แต่ MCP ที่สังเคราะห์ได้จะมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อยู่เพียง 80 เปอร์เซ็นต์ และจาก 80 เปอร์เซ็นต์ของกรดอะมิโนนี้ สัตว์สามารถย่อยได้จริงที่

ลำไส้เล็กได้ 85 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกรดอะมิโนที่ย่อยได้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น Microbial crude protein ที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์เพื่อการต่างๆ สามารถคำนวณได้จาก (ARC, 1984)

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

$= 8.38MEintake*0.80*0.85*0.80$

ดังนั้น ความต้องการ UDP (UDP_R) = (NP_R-TP_{mp})

และความต้องการ UDP จากอาหารจะต้องนำค่าการย่อยได้ UDP ที่ลำไส้เล็กและการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.70 และ 0.75 ตามลำดับ

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

2.9 ผลตอบสนองด้านการให้ผลผลิตน้ำนมและส่วนประกอบน้ำนมต่อระดับการให้อาหาร

2.9.1 ผลตอบสนองด้านการให้ผลผลิตน้ำนมและส่วนประกอบน้ำนมต่อระดับการให้พลังงาน

การให้น้ำนมของโคนมหลังคลอดใหม่ๆ จะมีปริมาณน้ำนมไม่มากและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสูง (peak) ประมาณ 4-8 สัปดาห์หลังคลอด พลังงานที่โคนมได้รับจากอาหารที่ให้กินในระยะนี้จะมีไม่เพียงพอกับพลังงานที่โคนมต้องการ เพื่อผลิตน้ำนม ดังนั้นจึงมีการนำพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในร่างกายมาใช้สร้างน้ำนมด้วย ซึ่งเกิดได้ทั้งในระยะต้นของการให้นม (Early lactation period) ประมาณ 10-15 สัปดาห์หลังคลอด และระยะกลางของการให้นม (Mid lactation period) ประมาณ 16-30 สัปดาห์หลังคลอด และระยะสุดท้ายของการให้นม (late lactation period) ประมาณ 15 สัปดาห์สุดท้ายของระยะการให้นม แต่จะไม่เกิดขึ้นในระยะโคนมแห้ง (dry period)

โคนมที่ให้ผลผลิตสูง ต้องอาหารที่มีพลังงานสูง ซึ่งพลังงานในอาหารสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยลดสัดส่วนของอาหารหยาบและเพิ่มสัดส่วนของอาหารข้น แม้ว่า Hernandez-Urdaneta, Coppock, McDowell, Gianola, and Smith (1976) รายงานว่า ผลผลิตน้ำนมหรือเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อโคนมได้รับสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น 60 ต่อ 40 หรือ 40 ต่อ 60 เริ่มในวันที่ 4 หลังจากคลอดลูก (Parturition) และ Macleod, and Wood (1972) พบว่า กราฟของผลผลิตน้ำนมจะเพิ่มขึ้นและกราฟของเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมจะลดลง ระหว่างสัปดาห์ที่ 7 ถึงสัปดาห์ที่ 16 ของระยะการให้นม เมื่อให้สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นลดลงจาก 80 ต่อ 20, 65 ต่อ 35, 50 ต่อ 50 และ 35 ต่อ 65 แต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารหยาบและอาหารข้นที่ให้เป็นอาหารโคนม ในความเป็นจริง การกินได้พลังงานอาจจะมีข้อจำกัดสำหรับโคนมที่ให้ผลผลิตสูงๆ เมื่อได้รับอาหารที่มีอาหาร

หยาบเป็นส่วนประกอบ 70 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่านั้น และไขมันในน้ำนมที่ลดลงอาจเกิดขึ้นเมื่อโคนมได้รับอาหารที่มีส่วนประกอบของอาหารหยาบ 40 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่า

การให้อาหารที่มีพลังงานสูงแก่โคนมในระยะต้นการให้นม จึงมีความสำคัญมาก แต่อาหารนั้นจะต้องมีเยื่อใยเพียงพอ เพื่อป้องกันไม่ให้มีผลกระทบต่อปริมาณไขมันในน้ำนม ซึ่งในอาหารควรจะมีเยื่อใยอย่างน้อยที่สุด 17 เปอร์เซ็นต์ (Clark and Davis, 1980) โดยทั่วไปการให้โคนมได้รับอาหารที่มีพลังงานเพียงพอ ก็ต่อเมื่ออาหารมีส่วนประกอบของอาหารหยาบคุณภาพดี 40 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ และอาหารข้น 55 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อไขมันในน้ำนม (Spahr, 1977) การให้อาหารข้นมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง เมื่อผ่านระยะการให้น้ำนมสูงสุดไปแล้ว ผลผลิตจะค่อยๆ ลดลง ซึ่งเป็นเวลาเดียวกับที่ปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้น (Clark and Davis, 1980)

2.9.2 ผลตอบสนองด้านการให้ผลผลิตน้ำนมและส่วนประกอบน้ำนมต่อระดับการให้โปรตีน

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์โปรตีนของโคที่กำลังให้นมมีมากมาย จะเห็นได้ว่าเมื่อได้รับโปรตีนมากเกินไป โปรตีนจะถูกเมตาบอไลซ์โดยผ่านปฏิกิริยา Deamination และถูกใช้เป็นแหล่งพลังงาน นอกจากนั้นโปรตีนที่สูงยังทำให้การสืบพันธุ์ลดลงด้วย Huber and Kung (1981) รายงานว่าการได้รับโปรตีนเพิ่มขึ้น จะทำให้เพิ่มระยะพักตัวของรอบการเป็นสัด อัตราการผสมติด (Conception rate) ลดลง และทำให้ผลผลิตน้ำนมในระยะที่ให้นมสูงสุดมีค่าต่ำ ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีนต่ำจะทำให้มีการนำไนโตรเจนกลับไปใช้ในรูปของยูเรียและลดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปปัสสาวะ เมื่อระดับเวลาการคงอยู่ของอาหารในกระเพาะหมัก (Retention time) เพิ่มขึ้น จะมีผลไปลดการกินได้ และลดการย่อยได้เนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักลดลง ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการได้รับอาหารที่มีโปรตีนต่ำ หรืออาจเป็นเพราะการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักลดลง นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง ตลอดจนลดการสังเคราะห์น้ำตาลแลกโตส และลดขบวนการเมตาบอไลซ์ของไขมันในร่างกายด้วย Roffler et al. (1978) รายงานว่าผลผลิต น้ำนมจะเพิ่มขึ้นประมาณ 6 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อโคนมได้รับอาหารที่มีโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 12.2 เปอร์เซ็นต์ ถึง 16.2 เปอร์เซ็นต์ การกินได้วัตถุแห้ง (DMI) แตกต่างกัน Foldager and Huber (1979) รายงานว่า เมื่อได้รับโปรตีนสูงไม่มีผลทำให้เพิ่มการกินได้ และผลผลิตน้ำนมของโคนมที่กำลังให้นม (3-20 สัปดาห์ Postpartum) เมื่อโคได้รับอาหารที่มีโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์และ 16 เปอร์เซ็นต์ และ Edwards, Bartley, and Dayton (1980) พบว่าเมื่อโคนมได้รับโปรตีน 13, 15 และ 17 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มระดับของโปรตีนไม่มีผลทำให้การกินได้เพิ่มขึ้น รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ไขมัน เปอร์เซ็นต์โปรตีน และ

เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมัน ก็ไม่แตกต่างกันด้วย แต่ปริมาณน้ำนมจะเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น

โดยปกติความต้องการโปรตีน จะขึ้นอยู่กับปริมาณต่ำสุดของโปรตีนที่จะนำไปใช้ในการผลิตน้ำนม Clark and Davis (1980) สรุปไว้ว่า โคนมที่ได้รับโปรตีนเหมือนกันและเสริมไนโตรเจน ผลผลิตน้ำนมจะเพิ่มสูงขึ้นมาก เมื่ออาหารมีโปรตีนต่ำ (9 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์) แล้วเสริมไนโตรเจนเพิ่มโปรตีนเป็น 13 ถึง 14 เปอร์เซ็นต์ การที่เปอร์เซ็นต์โปรตีนเพิ่มมากกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ผลผลิตน้ำนมจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับโคนมที่ได้รับอาหารที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่าในสูตรอาหาร

ในช่วงครึ่งสุดท้ายของระยะการให้นม เมื่อผลผลิตน้ำนมลดลง ความต้องการโปรตีนจะต่ำกว่าช่วงระยะแรกของการให้นม ซึ่ง Thomas (1971) รายงานว่า โคนมในช่วงระยะสุดท้ายของการให้นมเมื่อได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีน 10.9 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีนประกอบอยู่ 12.7 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองให้ผลผลิตประมาณ 18 กิโลกรัมในแต่ละวัน ดังนั้น จึงแนะนำว่าในช่วงสุดท้ายของระยะการให้นม เมื่อผลิตน้ำนมได้ต่ำกว่า 20 กิโลกรัมในแต่ละวัน ส่วนประกอบโปรตีนในสูตรอาหารสามารถลดลงจนถึง 11 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ได้โดยไม่ทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง อย่างไรก็ตามการลดสัดส่วนของโปรตีนในอาหารลง จะต้องทำอย่างระมัดระวัง เพราะอาจจะมีผลกระทบกับการกินได้ทั้งหมดของอาหาร และการย่อยได้ของโค

2.10 การควบคุมการกินอาหาร (Regulation of feed intake)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Factors affecting the intake of ruminants)

การกินได้อย่างอิสระ (Voluntary food intake, VFI) ของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่เลี้ยงในคอก (Indoor feeding) จะถูกควบคุมการกินได้โดยปัจจัยหลักๆ 2 ประการ (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2538) คือ

2.10.1 Metabolic factors คือ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้องการโภชนะของสัตว์ และความสามารถของสัตว์ในการใช้ประโยชน์จากโภชนะที่ถูกดูดซึม

การควบคุมการกินอาหาร สามารถพิจารณาได้จากการที่สัตว์พยายามที่จะปรับความสมดุลของพลังงานภายในร่างกายให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม หรือสัตว์พยายามรักษาความสมดุลของ พลังงานภายในร่างกายโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณการกินอาหารในรูปพลังงานเป็นสัดส่วนกับความต้องการพลังงานของตัวสัตว์เอง รวมทั้งพยายามปรับให้เข้ากับสภาพทางสรีรวิทยาของสัตว์ในระยะ

นั้นๆ เช่น อายุ ขนาด น้ำหนัก การตั้งท้อง การให้ผลผลิตของสัตว์ และพยายามปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม

สรีรวิทยาการควบคุมการกินอาหารเริ่มจาก End products ของการย่อยและ Metabolism เป็นตัวกระตุ้นระบบประสาทรับความรู้สึกที่อยู่ใน Gastrointestinal tract, Hepatic portal system, Adipose tissue และ/หรือ Peripheral และ Cerebrospinal fluid เมื่อส่วนต่างๆ เหล่านี้รับรู้สภาพทางโภชนะ จะส่งสัญญาณกลับไปยังระบบประสาทรับรู้ที่สมอง สมองจะสั่งการควบคุมการกินอาหาร คือ ให้สัตว์กินอาหารหรือหยุดกินอาหาร

End products จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่เป็น VFAs ซึ่ง VFAs เหล่านี้จะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการควบคุมการกินอาหาร VFAs ที่มีบทบาทสำคัญ ได้แก่ Propionate และ Acetate ถ้าอาหารถูกย่อยได้ VFAs ทั้งสองชนิดนี้มาก จะทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร เพราะว่า VFAs ทั้งชนิดตัวเป็นตัวที่ทำให้เกิดสัญญาณความอิ่มในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วน Butyrate ซึ่งเป็น VFA อีกชนิด มีบทบาทน้อยในด้านการควบคุมการกินอาหาร

ในสภาพความเป็นกรดเป็นด่างในกระเพาะ Reticulo-rumen มีส่วนในการส่งสัญญาณการควบคุมการกินอาหารเหมือนกับ VFAs คือ ถ้า pH ใน Reticulo-rumen ลดลง จะทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร แต่ระดับ pH ในกระเพาะจะเป็นตัวกำหนดการกินอาหารเฉพาะในระยะสั้นๆ เท่านั้น เพราะระดับ pH มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

2.10.1.2 Physical Factors คือ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถของสัตว์ที่จะกินอาหาร ความจุกระเพาะอาหาร และความสามารถในการย่อยอาหารในระบบทางเดินอาหาร

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบเป็นอาหาร VFI จะถูกจำกัดโดยความจุของกระเพาะ สังเกตได้จากสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใยสูง จะหยุดกินอาหารก่อนที่จะได้รับพลังงานเพียงพอ ปัจจัยทางกายภาพนี้จะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการขยายตัว (Distention) ของ Reticulo-rumen และการไหลผ่านของ Digesta ออกจาก Reticulo-rumen

-การขยายตัวของ Reticulo-rumen (Distention of the reticulo-rumen) สัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบเป็นอาหารหลัก จะกินอาหารได้จำนวนหนึ่ง ค่อนข้างคงที่ตามความจุของกระเพาะ คือ เมื่อสัตว์กินอาหารหยาบเข้าไประดับหนึ่ง จนกระเพาะไม่สามารถขยายตัวรับอาหารได้อีก สัตว์จะหยุดกินอาหาร ซึ่งการขยายตัวของกระเพาะจะถูกกำหนดโดยความจุของช่องท้อง (Abdominal cavity) นอกจากนี้ถ้าแม่โคตั้งท้อง การเจริญเติบโตของตัวอ่อนจะกินเนื้อที่ภายในช่องท้อง ทำให้ความจุของช่องท้อง

ลดลง เป็นผลให้กินอาหารน้อยลง เพราะกระเพาะขยายตัวได้น้อยกว่าปกติ การสะสมไขมันในช่องท้องก็เหมือนกัน คือ จะลดขนาดความจุของช่องท้องลง สรีรวิทยาการควบคุมให้สัตว์หยุดกินอาหารเมื่อกระเพาะขยายเต็มที่ เกิดจากที่ผนังกระเพาะมีประสาทรับความรู้สึกถึงการขยายตัวของกระเพาะหมัก แต่กลไกยังไม่ทราบแน่ชัด

-อัตราการไหลผ่าน Digesta จาก Reticulo-rumen (Rate of disappearance of digesta from the reticulo-rumen) ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร อัตราการย่อยสลายทางกายภาพ (การเคี้ยวและการเคี้ยวเอื้อง) และทางเคมี (Microbial and enzymatic digestion) ความสามารถในการบีบรัดกล้ามเนื้อของกระเพาะและขนาดของ Reticulo-omasal Orifice ถ้าส่วนประกอบทางเคมีของอาหารประกอบด้วยส่วนที่ย่อยได้ง่ายในปริมาณมาก Digesta จะไหลผ่านได้เร็ว แต่ถ้าอาหารประกอบด้วยโครงสร้างที่ย่อยยากหรือประกอบด้วยพวกเยื่อใยในปริมาณมาก อาหารจะถูกย่อยได้ช้า Digesta จะไหลผ่าน Reticulo-rumen ได้ช้าด้วย อัตราการย่อยสลายทางกายภาพและทางเคมี คือ ถ้าย่อยได้ช้า Digesta จะไหลผ่านได้ช้า ระยะเวลาที่อาหารถูกเก็บกัก (Retention time) ขึ้นอยู่กับปริมาณการกินอาหาร เช่น ถ้าสัตว์กินอาหารได้มาก Retention time จะลดลง ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนไหลของอนุภาคอาหาร จาก Reticulo-rumen ประกอบด้วย ขนาดของอนุภาคอาหาร เช่น ถ้ามีขนาดอนุภาคอาหารเล็ก จะไหลผ่านได้เร็ว เป็นต้น

-ปัจจัยทางพฤติกรรมการกินอาหารของ Grazing Cattle ถ้าปริมาณหญ้ามีให้โคกินมากคุณค่าทางอาหารของหญ้าจะเป็นตัวกำหนดการกินได้ โดยมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการแทะเล็ม (Grazing behaviour) คือ สัตว์จะเลือกกินหญ้าที่มีคุณค่าทางอาหารสูง แต่ถ้าคุณค่าทางอาหารของหญ้าต่ำ การกินได้จะถูกควบคุมโดย Distention mechanism ในขณะที่ปริมาณหญ้าที่ให้โคกินมีมาก และคุณค่าทางอาหารของหญ้าขณะนั้นสูงมาก Metabolic mechanism จะเป็นตัวกำหนดการควบคุมการกินอาหาร ถ้าปริมาณหญ้าที่มีให้โคกินน้อย คุณค่าทางอาหารของหญ้าแทบจะไม่มีผลต่อการกินได้ แต่การกินได้จะถูกกำหนดโดยพฤติกรรมการแทะเล็ม

-ปัจจัยที่เกิดจากตัวสัตว์ (Animal factors) ขนาดของตัวสัตว์เป็นตัวกำหนดปริมาตรของ ช่องท้อง ซึ่งจะมีส่วนสัมพันธ์กับความจุกระเพาะ สัตว์ที่มีขนาดใหญ่จะกินอาหารให้มากกว่าสัตว์ที่มีขนาดเล็ก นอกจากนี้ขนาดตัวสัตว์มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักสัตว์ ปกติสัตว์ที่มีน้ำหนักมากจะกินอาหารได้มากกว่าสัตว์ที่มีน้ำหนักน้อยกว่า แต่ก็ไม่เสมอไปเพราะน้ำหนักตัวสัตว์อาจขึ้นอยู่กับขนาดโครงร่างและการสะสมไขมัน

-อายุของสัตว์ก็เกี่ยวข้องกับการกินได้ คือ การกินได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อสัตว์เจริญเติบโตจากอายุน้อยไปอายุมาก

-พันธุกรรมของสัตว์ก็เกี่ยวข้องกับการกินได้ ขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักตัวของสัตว์ในแต่ละพันธุ์ เช่น พันธุ์ที่มีขนาดใหญ่จะกินอาหารได้มากกว่าพันธุ์ที่มีขนาดเล็ก

-การตั้งท้อง ระหว่างการตั้งท้อง ขนาดของตัวอ่อนจะเจริญขึ้นเรื่อยๆ และมีความต้องการโภชนะเพื่อการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น สัตว์จะกินอาหารเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีอัตราการเกิด Metabolism สูง สัตว์มีความต้องการอาหารเพิ่มเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และอาจเกิดจากการเพิ่มปริมาณ Progesterone ในกระแสเลือดทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น

-การให้นมในโคนม ในโคนมช่วงที่กำลังรีดนม โคจะกินอาหารมากกว่าโคที่ไม่ได้รีดนมหรือโคหยุดรีดนม

2.11 การย่อยได้ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Ruminal digestion)

ในกระเพาะหมัก (Rumen) จะมีขบวนการหมักย่อยอาหารเกิดขึ้น และสิ่งที่ทำให้เกิดการหมักย่อยอาหาร คือ จุลินทรีย์ (Microorganism) ซึ่งภายในกระเพาะหมักนี้จะต้องมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย

2.11.1 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมภายในกระเพาะหมักของจุลินทรีย์

-ต้องมี pH ที่เหมาะสม ช่วง 5.8-6.5 เพราะระดับ pH ในกระเพาะหมักมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

-สภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic) จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักส่วนใหญ่เป็นพวกที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Obligate anaerobic) เพราะถ้าถูกออกซิเจนจะทำให้จุลินทรีย์ตาย ดังนั้นออกซิเจนที่เข้ามาในกระเพาะหมักจะถูกนำไปใช้อย่างรวดเร็ว และภายใต้สภาวะเช่นนี้ Hydrogen ion ที่เกิดขึ้นจากการหมักจะถูกจับโดย Carbon dioxide ทำให้เกิดแก๊สมีเทนขึ้น จึงเป็นการรักษาสภาพไร้ออกซิเจนไว้ได้

-อุณหภูมิที่เหมาะสม ประมาณ 38-42 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของตัวสัตว์

จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักส่วนใหญ่ เป็นพวกที่ไม่ใช้ออกซิเจน และมีเพียงบางชนิดสามารถใช้ออกซิเจนได้ด้วย ซึ่งพวกนี้จัดเป็น Facultative anaerobes มีหน้าที่ช่วยใช้ออกซิเจนที่ติดเข้ามากับอาหารหรือขณะที่สัตว์เคี้ยวหรือกลืนอาหาร จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมีจำนวนมากและต่างสปีชีย์กัน ในที่นี้สามารถแบ่งจุลินทรีย์ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ แบคทีเรีย (Bacteria) โปรโตซัว (Protozoa) และพวกฟังไจ (Fungi) ความแตกต่างของแต่ละสปีชีส์ จะมีความซับซ้อนสูงซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตาม

ส่วนประกอบและโครงสร้างของอาหาร รวมทั้งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นด้วย End products ที่ได้จากการหมักย่อยของจุลินทรีย์ก็มีสัดส่วนที่แตกต่างกัน แต่ End products ปกติที่ได้จะประกอบไปด้วย Carbon dioxide, Methane และ Volatile fatty acid (VFAs) ที่พบมาก คือ Acetic acid, Propionic acid และ Butyric acid ส่วนอื่นๆ ก็มี Ammonia รวมทั้ง VFAs อื่นๆ และบางครั้งก็ได้ Lactic acid (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2541)

2.11.2 การกระจายตัวของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

-จุลินทรีย์ที่คลุกเคล้าในของเหลวในกระเพาะหมัก

พวกนี้จะอยู่ในของเหลวในกระเพาะหมัก จะมีอัตราการแบ่งตัวสูงเพราะในกระเพาะหมักนั้นจะมีการไหลออกของของเหลวในระยะ Liquid phase ดังนั้นอัตราการแบ่งตัวของจุลินทรีย์เหล่านี้จะต้องสูงกว่า Rumen fluid dilution rate

-จุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่กับอนุภาคของอาหาร

พวกนี้มีอยู่มากที่สุดในจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ย่อยสลายพวกอาหารหยาบ การเข้าเกาะติดของจุลินทรีย์บนผิวของอนุภาคอาหารนั้น เป็นลักษณะที่พิเศษมาก

-จุลินทรีย์ที่เกาะบนผนังของกระเพาะหมัก

พวกนี้เป็นพวกที่เกาะติดอยู่กับเยื่อบุผนังของกระเพาะหมัก เป็นพวก Facultative bacteria พบว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่สำคัญในกระเพาะหมัก คือ สามารถใช้โปรตีนจากเซลล์ผนังกระเพาะหมักที่ตายแล้ว โดยอาศัยขบวนการ Deamination และสามารถผลิตเอนไซม์ protease ในกระเพาะหมักได้มากว่า 10% และสามารถผลิตเอนไซม์ Urease ซึ่งจะ Hydrolyzed ยูเรียให้ได้แอมโมเนีย อาจมีส่วนช่วยในการขนถ่ายยูเรียผ่านผนังกระเพาะหมักให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จุลินทรีย์กลุ่มนี้อาจมีส่วนช่วยป้องกันให้พวก Obligate anaerobes จากการทำลายของออกซิเจน และจุลินทรีย์กลุ่มนี้อาจใช้ออกซิเจนที่ซึมผ่านผนังกระเพาะหมักในการผลิตพลังงาน โดยผ่านขบวนการ Oxidative phosphorylation (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

2.11.3 การย่อยสลายของสารประกอบเยื่อใย

โครงสร้างของผนังเซลล์ของเยื่อใยที่ประกอบอยู่ในผลพลอยได้จากการเกษตรที่ย่อยได้ต่ำ เช่น พวกฟางธัญพืชต่างๆ จะมีลักษณะแตกต่างกันไปจากพวกที่ประกอบอยู่ในพวกพืชอาหารสัตว์ ซึ่งค่าการย่อยได้สูงกว่า การวิเคราะห์โดยวิธี Methalation พบว่าโพลีแซกคาไรด์ของฟางธัญพืชและเศษพืชต่างๆ ที่ประกอบด้วยเซลลูโลส มีลักษณะวางตัวเรียงกันของ Microfibrils อยู่ภายในการห่อหุ้มของเฮมิเซลลูโลสและพอลิเมอร์ตัวอื่นๆ จะเห็นว่าสารประกอบเฮมิเซลลูโลส ประกอบด้วย 4-0-Methyl-glucierono-arabinoxylans ซึ่งมีส่วนของไกแคน (Glucans) ห้อยต่ออยู่ด้วยจุลินทรีย์ที่สามารถปล่อยน้ำย่อยเพื่อย่อยเซลลูโลสได้มี Ruminococcus albus, Bacteroides succinogenes และ Ruminococcus flavefaciens ซึ่งสามารถผลิตน้ำย่อยชนิด Endo-glucanase มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน เอนไซม์ที่สามารถเกาะยึดติดกับผนังเซลล์ได้ดีจะเป็นกลุ่มเอนไซม์ที่มีน้ำหนังโมเลกุลสูง ซึ่งสามารถหลุดออกมาได้โดยมีการแตกตัวน้อยมาก การย่อยสลายของเอนไซม์เซลลูเลสในกระเพาะหมักนั้น เป็นผลเกิดจากการทำงานสนับสนุนกันของเอนไซม์แบบ Endo และ Exo-glucanases (Cellobiohydrolases) น้ำย่อย Exdo-xylanase hemicellulase ส่วนใหญ่เป็นพวกที่ถูกผลิตจากส่วน Intracellular ของแบคทีเรีย เอนไซม์ Endo-xylanase พบในพวกแบคทีเรียเป็นส่วนใหญ่ เช่น Bacteroides ruminicola, Butyrivibrio fibrisolvens และในโปรโตซัวบางชนิด (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

2.11.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้ในกระเพาะหมัก (Factor affecting digestion in the rumen) (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

-อัตราการย่อยสลาย (Rate of degradation) อัตราการย่อยสลายเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเร็ว ที่ส่วนของอาหารที่ย่อยได้ถูกปลดปล่อยจากอาหาร ทำให้ทราบว่าอาหารนั้นจะไม่ถูกอัดแน่นอยู่ในกระเพาะหมักนานเกินไป และมีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ในที่สุด สำหรับฟางส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายนั้น มีน้อยมากประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นส่วนที่ถูกจุลินทรีย์เข้าเกาะยึดเป็นส่วนน้อยเท่านั้น นอกจากนั้นการเข้าเกาะยึดของแบคทีเรียตามผิวของอาหารและการย่อยสลายไม่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จะมีช่วง lag phase ซึ่งมีการย่อยสลายในอัตราที่ต่ำมาก

-ความจำกัดของไนโตรเจน โดยทั่วไปในฟางหรือผลพลอยได้เยื่อใยจากการเกษตร จะมีไนโตรเจนหรือโปรตีนอยู่ต่ำมาก จะมีผลการะทบทำให้จุลินทรีย์ได้รับไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในกระหมักน้อยมาก ทำให้อัตราการย่อยสลายและอัตราการแบ่งตัวของแบคทีเรียในขอบเขตจำกัด แต่ความเข้มข้นของไนโตรเจนต้องการโดยแบคทีเรียในกระเพาะหมัก จะต้องเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมกับปริมาณของพลังงานที่ย่อยได้ง่ายในกระเพาะหมัก

-อิทธิพลของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่าย อัตราการย่อยสลายของเซลลูโลสจะลดลง ถ้ามีปริมาณของคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ง่ายหรือไขมันอยู่ในกระเพาะหมักเป็นปริมาณมาก

-อิทธิพลของไขมัน โดยทั่วไปถ้ามีไขมันในอาหารมากเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง นอกจากนั้นยังทำให้ปริมาณการกินได้ลดลงด้วย

ผลของการเพิ่มขบวนการย่อยสลายของเซลลูโลส การเพิ่มขบวนการนั้น อาจเกิดได้โดยการเพิ่มประชาการของแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส และการเข้าเกาะยึดอนุภาคของอาหารเยื่อใย ทั้งนี้อาจทำให้ปริมาณเอนไซม์ที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นสภาวะภายในหรือนิเวศน์วิทยาของกระเพาะหมักจำเป็นจะต้องมีความเหมาะสมต่อการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์เหล่านี้หรือของเอนไซม์

บทที่ 3
การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อย

คำนำ

ในปัจจุบันนี้ อุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งเกิดขึ้น จึงได้มีการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรหลายชนิดมาใช้เป็นแนวทางเลือกในการทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบดังกล่าว และผลพลอยได้ทางการเกษตรอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ คือ ชานอ้อย เนื่องจากมีในปริมาณมากภายในประเทศ โดยเฉพาะฤดูแล้งซึ่งเป็นฤดูการหีบอ้อย ซึ่งได้มีนักวิจัยทำการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างอาหารดังกล่าวบ้างแล้ว ทั้งทำการศึกษาวิจัยในเมืองไทยและในต่างประเทศ แต่ผลของการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยในเขตพื้นที่ต่างๆ ก็จะแตกต่างกันไป ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพ

3.1 อุปกรณ์และวิธีการ

ในการดำเนินงานครั้งนี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างของชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลในเขตจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 9 ตัวอย่าง นำมาศึกษาดังนี้

3.1.1 นำตัวอย่างชานอ้อย มาอบให้แห้ง (Oven dried) ในตู้อบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) (AOAC, 1990)

3.1.2 นำตัวอย่างชานอ้อยหลังอบแห้งทั้ง 9 ตัวอย่าง มาแยกบดด้วยเครื่องบดตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร ได้ชานอ้อยที่บดละเอียดทั้ง 9 ตัวอย่าง ใส่เก็บไว้ในกระป๋องพลาสติกฝาเกลียว เพื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักต่อไป

3.1.3 นำชานอ้อยที่บดไว้ทั้ง 9 ตัวอย่างมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) (AOAC, 1990) กล่าวคือ ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ คือ วัตถุแห้ง, โปรตีน (Crude protein, CP) โดยเครื่องเคเจลเทค (Kjeltec auto sampler system) , ไขมัน (Ether extract, EE) โดยเครื่องซอกเลท (Soxhlet autoanalyser) ในส่วนของเยื่อใยใช้วิธีวิเคราะห์เยื่อใยโดยใช้ดีเทอเจน (Detergent analysis) (Goering and Van Soest, 1970) ได้แก่ เยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF), เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF), เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) โดยเครื่องไฟเบอร์เทค (Fibertec autoanalyser) และหาพลังงานรวม (Gross energy, GE) โดยเครื่องบอมแคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter)

3.1.4 นำชานอ้อยที่บดไว้ มาศึกษาการย่อยสลายโดยใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ (Nylon bag technique) (Lindberg, 1985)

โดยนำชานอ้อยบดและถุงไนล่อนไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง เพื่อไล่ความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักถุงไนล่อน และน้ำหนักชานอ้อยประมาณ 5-6 กรัม ใส่ลงในถุงไนล่อน หลังจากนั้นนำถุงที่ใส่ตัวอย่างอาหารแล้วมาร้อยติดกับสายพลาสติกยาวประมาณ 30 เซนติเมตร นำไปหย่อนในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ โดยให้สายพลาสติกดังกล่าวอยู่ในส่วนที่ลึกที่สุดของกระเพาะหมัก และให้แต่ละถุงมีระยะเวลาแช่อยู่ในกระเพาะหมักเพื่อศึกษาการย่อยสลายที่เวลาต่างๆ กัน คือ 0, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยทำการศึกษา 2 ครั้ง ครั้งแรก จะทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยใช้โคเจาะกระเพาะ 2 ตัว เป็นจำนวนซ้ำ และครั้งที่สอง จะทำการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้โคเจาะกระเพาะ 3 ตัว ให้ถุงที่หย่อนในโคเจาะกระเพาะแต่ละตัวในแต่ละช่วงเวลาเป็น 1 ซ้ำ

ในการศึกษาการย่อยสลายของชานอ้อย ทำการศึกษา 2 ครั้ง ครั้งแรก โคเจาะกระเพาะเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮสไตส์ ฟรีเซียน (Holstein Friesian) เลือดประมาณ 87.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 ตัว อายุเฉลี่ยประมาณ 80±26 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 468±49 กิโลกรัม เลี้ยงแบบผูกยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา ให้อาหารหยาบผสม 6 kgDM โปรตีน 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อตัวต่อวัน ครั้งที่สองโคเจาะกระเพาะเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮสไตส์ ฟรีเซียน (Holstein Friesian) เลือดประมาณ 87.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 ตัว อายุเฉลี่ยประมาณ 100±8.6 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 450±19.2 กิโลกรัม เลี้ยงแบบผูกยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา อาหารหยาบประกอบด้วย ชานอ้อย 12 กิโลกรัม/ตัว/วัน อาหารข้นประกอบด้วย ข้าวโพดบด 4.9 กิโลกรัม/ตัว/วัน กากถั่วเหลือง 4.75 กิโลกรัม/ตัว/วัน และแร่ธาตุ 0.222 กิโลกรัม/ตัว/วัน

เมื่อแช่ถุงไนล่อนในกระเพาะหมักครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถุงออกจากกระเพาะหมักและล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อล้างเศษอาหารที่ติดจากกระเพาะหมักออก แล้วนำไปแช่แข็งเพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ เมื่อได้ตัวอย่างครบ นำถุงไนล่อนมาล้างในเครื่องซักผ้าครั้งละประมาณ 15 นาที จำนวน 3 ครั้ง โดยปล่อยให้น้ำไหลตลอดเวลา จนน้ำใสถุงสะอาด ปั่นให้แห้ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุแห้งและนำกากที่เหลือไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชโดยวิธีวิเคราะห์ Detergent analysis เพื่อศึกษาการย่อยสลายขององค์ประกอบพวกเยื่อใยของชานอ้อย โดยนำค่าสัดส่วนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ กันมาคำนวณหาอัตราการย่อยสลายของชานอ้อยต่อไป ดังนี้

%Loss = [(นน.ตัวอย่างก่อนอบ-นน.ตัวอย่างหลังอบ)/นน.ตัวอย่างก่อนอบ]*100

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำตัวอย่างชานอ้อย และการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อย มาหาค่าเฉลี่ย และนำเสนอในรูป Mean $\pm$ SE ซึ่ง N = 9, N = 3 และ N = 2 ตามลำดับ

3.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารเครื่องมือ 1 อาคารเครื่องมือ 2 และ อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2541 ถึง 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2542

3.5 ผลการทดลอง

3.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย

องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยก่อนการปรับปรุงคุณภาพ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 พบว่า มีวัตถุแห้ง 55.5 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 1.7 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 1.4 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.47 เปอร์เซ็นต์ CF 41.7 เปอร์เซ็นต์ NDF 87.6 เปอร์เซ็นต์ ADF 54.6 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานรวม (GE) 17.6 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าชานอ้อยเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันต่ำมาก แต่มีองค์ประกอบพวก CF, NDF และ ADF อยู่ในปริมาณสูง

3.5.2 การย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพ

การย่อยสลายของชานอ้อยในกระเพาะหมัก แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 ศึกษาโดยวิธีการใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ ซึ่งศึกษาการย่อยสลายที่ 0, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่า อัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยจะเพิ่มขึ้น ทั้งการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้ง CF, NDF และ ADF ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

เปอร์เซนต์ของวัตถุแห้ง	ชานอ้อย
วัตถุแห้ง	55.5 ± 0.15
เถ้า	1.7 ± 0.10
โปรตีน	1.4 ± 0.01
ไขมัน	0.5 ± 0.06
เยื่อใยหยาบ (CF)	41.7 ± 0.26
เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกลาง (NDF)	87.6 ± 0.24
เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกรด (ADF)	54.6 ± 0.19
พลังงานรวม (GE) (MJ/kgDM)	17.6 ± 0.004

หมายเหตุ (Mean ± SE, N=9)

ตารางที่ 3.2 การย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยวิธี Nylon bag technique ของชานอ้อยก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

เปอร์เซนต์การย่อยสลายในกระเพาะหมัก	ชานอ้อย
วัตถุแห้ง[1/]	
0 ชั่วโมง	6.7±0.15
6 ชั่วโมง	10.1±0.21
12 ชั่วโมง	13.2±0.78
24 ชั่วโมง	19.5±1.62
48 ชั่วโมง	31.0±0.92
72 ชั่วโมง	35.2±3.19
96 ชั่วโมง	37.7±2.74
CF[2/]	
48 ชั่วโมง	22.1±0.83
72 ชั่วโมง	33.3±1.63
NDF[2/]	
48 ชั่วโมง	33.7±1.12
72 ชั่วโมง	38.4±2.29
ADF[2/]	
48 ชั่วโมง	40.9±0.51
72 ชั่วโมง	48.3±2.01

หมายเหตุ (Mean ± SE) [1/] N = 3, [2/] N = 2

3.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยก่อนการปรับปรุงคุณภาพ พบว่าจะมีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำ และมีองค์ประกอบพวก CF, NDF และ ADF ในปริมาณที่สูง ซึ่งก็สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับชานอ้อยที่มีอยู่น้อย ได้สรุปไว้ดังตารางที่ 2.1 คือ เปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำ (1.25 vs 1.4 เปอร์เซ็นต์, Ibrahim and Pearce , 1983) ส่วนองค์ประกอบพวก CF (48.0 vs 41.7 เปอร์เซ็นต์, Rangnekar, 1988) NDF (82.0 vs 87.6 เปอร์เซ็นต์, Sharma, 1974, quoted in Jackson, 1977 และ 88 vs 87.6 เปอร์เซ็นต์, Ibrahim and Pearce, 1983 และ 82.0 vs 87.6 เปอร์เซ็นต์, Rangnekar, 1988) และ ADF (53 vs 54.6, 60.2 vs 54.6 และ 52.0 vs 54.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ, Sharma, 1974, quoted in Jackson, 1977, Ibrahim and Pearce, 1983, Rangnekar, 1988) จะมีในปริมาณสูงเช่นกัน การที่ชานอ้อยมีองค์ประกอบพวกเยื่อใยสูง เพราะว่าเมื่อพืชอาหารสัตว์มีอายุมากขึ้นเท่าใด การสะสมของปริมาณเยื่อใยจะมากขึ้นเท่านั้น ในขณะเดียวกันเปอร์เซ็นต์โปรตีนและการย่อยได้จะลดต่ำลงด้วย (เมธา วรรณพันธ์, 2533) ดังนั้นชานอ้อยซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอ้อย และอ้อยใช้เวลาในการปลูกถึงเก็บเกี่ยวนาน จึงทำให้มีการสะสมพวกลิกนิน เยื่อใยมาก และเมื่อเทียบกับพวกหญ้าหรือต้นข้าวโพดสด ที่มีระยะการปลูกไม่นานก็สามารถเก็บเกี่ยวได้ ถ้าหญ้าหรือข้าวโพดถูกปล่อยไว้นานจนแก่ค่อยตัด จะทำให้มีพวกเยื่อใยสูงเช่นกัน แม้ว่าตัวเลขที่แสดงไว้จะแตกต่างกันอาจเป็นเพราะว่าชานอ้อยที่นำมาศึกษามาจากแหล่งผลิตที่แตกต่างกัน อายุ การรวบรวม การเก็บเกี่ยว และประสิทธิภาพของโรงงานในการผลิตแตกต่างกัน แต่ก็ยังได้ผลการศึกษาที่มีแนวโน้มคล้ายกัน

นอกจากนี้ยังมีผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีโปรตีนต่ำ และองค์ประกอบพวก CF, NDF, ADF และลิกนินสูง รวมทั้งมีการย่อยได้ค่อนข้างต่ำ เช่นเดียวกันชานอ้อย เช่น ฟางข้าว มีโปรตีนเฉลี่ย 3.3 เปอร์เซ็นต์ NDF เฉลี่ย 78.0 เปอร์เซ็นต์ ADF เฉลี่ย 54 เปอร์เซ็นต์ และลิกนินเฉลี่ย 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่า In vitro organic matter digestibility (IVOMD) เฉลี่ย 42.0 (Hart and Wanapat, 1985 quotde in Doyle et al., 1986) ซึ่งจะเห็นว่าชานอ้อยมีโปรตีนต่ำกว่าฟางข้าว รวมทั้งการย่อยได้ IVOMD ด้วย แต่องค์ประกอบพวก NDF และ ADF มีอยู่สูงเหมือนกัน

การย่อยสลายของชานอ้อย ศึกษาโดยการใช้ถุงในล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ ผลปรากฏว่า ชานอ้อยมีการย่อยสลายได้ค่อนข้างต่ำ และ Ibrahim and Pearce (1983) ได้มี การศึกษาการย่อยได้ของชานอ้อยแบบ *in vitro* ได้ค่า In vitro organic matter digestibility (IVOMD) 32.8 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเหมือนกัน เมื่อเทียบกับชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว เนื่องจากชานอ้อยมีส่วนประกอบของลิกนินและเซลลูโลสอยู่ในรูปผลึก ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันการเข้าย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิ

เซลลูโลส โดยเอนไซม์ที่ขับออกมาโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ซึ่งชานอ้อยเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีการศึกษาน้อย ดังนั้นควรจะมีการศึกษาเกี่ยวกับชานอ้อยเพิ่มเติมเพื่อจะได้นำข้อมูลต่างๆ ของชานอ้อยไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อไป

จากการศึกษาค่าการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก โดยวิธี Nylon bag ของชานอ้อย ใช้ประเมินคุณค่าทางอาหารของชานอ้อย ซึ่งนำไปคำนวณหาอัตราการย่อยสลาย โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY ได้ค่า ต่างๆ ดังนี้ a = 4.5, b = 37.7, c = 0.023, A = 6.7 และ B = 35.5 และสามารถนำไปทำนายปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง (Dry matter intake, DMI) ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ (Digestible dry matter intake, DDMI) และอัตราการเจริญเติบโตของโค (Growth rate) ตามสมการ Multiple regression ที่ได้เสนอโดย Shem, Ørskov, and Kimanbo (1995) โดยทดลองกับโครุ่นอายุประมาณ 1-1.5 ปี เสนอไว้ ดังนี้

DMI (kg/d) = -8.286+0.266A+0.102B+17.696c (r = 0.90)

DDMI (kg/d) =-7.609+0.219A+0.080B+24.191c (r = 0.93)

Growth rate =-0.649+0.017A+0.006B+3.87c (r = 0.93)

Index value =A+0.38B+0.66c

ได้ผลดังนี้คือ การกินได้วัตถุแห้ง (DMI) เท่ากับ –2.47 ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ (DDMI) เท่ากับ –2.74 และอัตราการเจริญเติบโตของโค เท่ากับ –0.23 จากตัวเลขการกินได้วัตถุแห้งที่ได้ไม่น่าถูกต้องกับความเป็นจริง เนื่องจากค่าที่ได้ติดลบ นอกจากนี้ บุญล้อม เสาวลักษณ์ ฉันทนา และไกรสิทธิ (2541) ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของฟางข้าว หญ้ารูซี่ และกระถิน เพื่อนำค่า A B และ c ไปทำนาย DMI, DDMI, Growth rate ผลที่ได้ พบว่า ปริมาณวัตถุแห้งที่สัตว์จะกินได้ ไม่น่าถูกต้องกับความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งของฟางข้าวและหญ้ารูซี่ ที่มีปริมาณการกินได้เพียง 3.56 และ 0.23 กก.ต่อตัวต่อวัน ซึ่งโคสามารถกินฟางธรรมดาได้ 1.2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว หรือเท่ากับ 2.8 กก.ต่อตัวต่อวัน ซึ่งสัตว์สามารถกินฟางได้ในปริมาณมากพอสมควร ส่วนหญ้ารูซี่ บุญล้อมและคณะ (2541) กล่าวว่าถ้าโคนมอายุประมาณปีเศษมีน้ำหนักตัวประมาณ 300 กก. กินอาหารคิดเป็นวัตถุแห้งได้วันละ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว น่าจะกินหญ้ารูซี่คิดเป็นปริมาณวัตถุแห้งได้ประมาณ 9 กก.ต่อวัน ดังนั้นจึงสรุปว่าค่าที่คำนวณได้จากสมการน่าจะต่ำเกินไป อย่างไรก็ตาม พบว่าสมการทำนายค่า DMI, DDMI และ Growth rate ที่ Shem et al. (1995) เสนอไว้นี้ ยังไม่สามารถใช้ได้ เพราะค่าที่ได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็นจริง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชนิดพืชที่ Shem ศึกษาต่างจากพืชในการทดลองนี้ บุญล้อมและคณะ (2541) ได้สรุปว่า ค่า Index value ที่คำนวณได้จากสมการของ Shem น่าจะใช้จัดลำดับของพืชอาหารสัตว์ได้

คือ ฟางข้าวมีค่าต่ำสุด (31.84) หญ้ารูซี่ (44.35) ส่วนกระถิน มีค่าสูงสุด (55.87) ซึ่งตรงตามความเป็นจริง เพราะกระถินมีโปรตีนและโภชนะย่อยได้ง่ายสูงกว่าพืชอีก 2 ชนิด และจากการได้ศึกษาชานอ้อยธรรมดา ได้ค่า Index value เท่ากับ 21.7 ซึ่งมีค่าต่ำฟางข้าวที่ศึกษาโดยบุญล้อมและคณะ และปกติชานอ้อยก็มีคุณค่าทางอาหารต่ำกว่าฟางข้าวอยู่แล้ว ดังนั้นการนำค่าต่างๆ มาทำนาย DMI, DDMI และอัตราการเจริญเติบโตของโครุ่น โดยใช้สมการที่นักวิจัยต่างประเทศเสนอไว้ พบว่ายังไม่สามารถใช้ได้ จึงควรทำการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาสมการขึ้นใช้เองในประเทศไทยต่อไป

3.7 สรุป

องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยก่อนการปรับปรุงคุณภาพ จะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันค่อนข้างต่ำมาก (1.4 เปอร์เซ็นต์ และ 0.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่มีองค์ประกอบพวก CF, NDF และ ADF อยู่สูง (41.7 เปอร์เซ็นต์, 87.6 เปอร์เซ็นต์ และ 54.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนการย่อยสลายได้ของชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพค่อนข้างต่ำเช่นกัน (การย่อยสลายวัตถุแห้ง CF, NDF ที่ 48 และ72 ชั่วโมง คือ 31.0 และ 35.2, 22.1 และ 33.3, 33.7 และ 38.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ดังนั้นถ้าหากจะนำชานอ้อยไปใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม ควรทำการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยก่อน เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารและเพิ่มการย่อยได้

บทที่ 4
การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ

คำนำ

การเลี้ยงโคนมในประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงส่งผลกระทบถึงแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม ซึ่งปัจจุบันหญ้าและอาหารหยาบอื่นๆ เริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งอาหารหยาบจะขาดแคลนและคุณภาพไม่ดี ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงได้นำเสนอแนวทางเลือกแหล่งของอาหารหยาบอื่นๆ มาทดแทน คือ การนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาเป็นทางเลือกใหม่อีกทางหนึ่ง และผลพลอยได้ทางการเกษตรที่น่าสนใจ คือ ชานอ้อย เพราะว่ามีปริมาณมากภายในประเทศไทย โดยเฉพาะในฤดูแล้ง จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย ผลปรากฏว่ามีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างต่ำ (โปรตีนต่ำและย่อยได้ยาก) การที่จะนำชานอ้อยมาทดแทนแหล่งอาหารหยาบอื่นๆ เพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับโคนมนั้น จึงควรปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยก่อน การปรับปรุงคุณภาพทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางด้านกายภาพ วิธีทางเคมี วิธีทางชีวภาพ แต่วิธีที่นิยมใช้เพราะสะดวก ประหยัดเวลาและได้ผลดี คือ วิธีการทางเคมี อย่างไรก็ตามสารเคมีที่นิยมใช้มากที่สุด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรียในระดับต่างๆ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งจะปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ รวมทั้งศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยหลังจากปรับปรุงคุณภาพแล้ว รวมทั้งคัดเลือกวิธีที่ดีที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วย และสารเคมีที่เลือกใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และยูเรีย ซึ่งเป็นสารเคมีที่หาได้ง่าย และสามารถนำมาใช้ได้สะดวก

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงวิธีการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อย และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว รวมทั้งศึกษาถึงการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว

4.1 อุปกรณ์และวิธีการ

4.1.1 นำชานอ้อยมาทำการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ ซึ่งจัดการทดลองเป็นแบบสุ่ม Completely randomized design (CRD) โดยจัดเป็น 9 กลุ่มทดลอง ตามสารเคมี ในแต่ละกลุ่มทดลองมี 4 ซ้ำ ดังตารางที่ 4.1โดยการหมักแต่ละถุงจะชั่งชานอ้อย 3 กิโลกรัม ความชื้นชานอ้อย 44.51 เปอร์เซ็นต์ ใช้ชานอ้อย 1.8 kgDM = 3 kg. ร่วมกับสารเคมีต่างๆ ตามชนิดและปริมาณ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ชั่ง 54 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ชั่ง 108 กรัม ส่วนยูเรียความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ชั่ง 54 กรัม และยูเรียความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ชั่ง 108 กรัม หลังจากชั่งชานอ้อยและสารเคมีตามกลุ่มทดลองต่างๆ แล้ว ก็คลุกชานอ้อยและสารเคมีต่างๆ ให้เข้ากัน แล้วนำมาบรรจุลงในถุงพลาสติก 2 ชั้น มัดปากถุงให้แน่นเพื่อไม่ให้อากาศเข้า และระยะเวลาที่ใช้ในการหมักคือ 7 หรือ 14 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพผลพลอยได้ทางการเกษตร (ถ้าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะใช้เวลาในการหมัก 7 วัน แต่ถ้าเป็นยูเรียใช้เวลาหมัก 14 วัน) เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์มีคุณสมบัติเป็นด่างแก่ จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่ายูเรียซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างอ่อน

4.1.2 หลังจากปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยตามกลุ่มทดลองดังกล่าวแล้ว เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการหมัก จึงสุ่มตัวอย่างชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง หลังจากนั้นบดผ่านตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตรและเก็บในกระป๋องพลาสติกฝาเกลียว เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี Proximate analysis (AOAC, 1990) วิธีวิเคราะห์ Detergent analysis (Goering and Van Soest, 1970) และหาพลังงานรวมโดยเครื่อง Bomb calorimeter

4.1.3 นำชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วทุกกลุ่มการทดลอง มาศึกษาการย่อยสลาย โดยใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ (Lindberg, 1985) วิธีการศึกษาเหมือนกับ ข้อ 3.1.4 โดยทำการศึกษา 2 ครั้ง ครั้งแรก จะทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยใช้โคเจาะกระเพาะ 1 ตัว ใช้อาหารของแต่ละกลุ่มทดลองเป็นจำนวนซ้ำ จำนวน 4 ซ้ำ และครั้งที่สอง โดยจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้โคเจาะกระเพาะ 3 ตัว เป็นจำนวนซ้ำ

ในการศึกษาการย่อยสลายของชานอ้อย ทำการศึกษา 2 ครั้ง ครั้งแรก โคเจาะกระเพาะเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮสไตส์ ฟรีเซียน (Holstein friesian) เลือดประมาณ 87.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 ตัว อายุเฉลี่ยประมาณ 98 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 517.5 กิโลกรัม เลี้ยงแบบผูกยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา ให้อาหารหยาบผสม 6 kgDM โปรตีน 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อตัวต่อวัน ครั้งที่สองโคเจาะ

กระเพาะเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮสไตส์ ฟรีเซียน (Holstein friesian) เลือด 87.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 ตัว อายุเฉลี่ยประมาณ 100±8.6 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 450±19.2 กิโลกรัม เลี้ยงแบบผูกยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา โดยให้เป็นอาหารผสม อาหารหยาบประกอบด้วย ชานอ้อย 12 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน อาหารข้นประกอบด้วย ข้าวโพดบด 4.9 กิโลกรัม/ตัว/วัน กากถั่วเหลือง 4.75 กิโลกรัม/ตัว/วัน และแร่ธาตุ 0.222 กิโลกรัม/ตัว/วัน

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Analysis of variance โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (Statistical analysis system, 1985)

4.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารเครื่องมือ 1 อาคารเครื่องมือ 2 และ อาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2541 ถึง 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2542

4.5 ผลการทดลอง

4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการต่างๆ ทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการต่างๆ ทางเคมี ได้แสดงในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งในทุกกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพ เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่ม Control (ชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพ) ($P < 0.01$) เปอร์เซ็นต์เถ้าในทุกกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วจะสูงขึ้นกว่ากลุ่ม Control ($P < 0.01$) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มทดลองปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสูงที่สุดในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนกลุ่มทดลองปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรียอย่างเดียว เปอร์เซ็นต์เถ้าต่ำกว่าทุกกลุ่มทดลอง แต่จะสูงกว่ากลุ่ม Control

เปอร์เซ็นต์โปรตีนของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรีย ซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจน ส่วนกลุ่มทดลองปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างเดียวมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำ (1.2 และ 1.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ซึ่งเปอร์เซ็นต์โปรตีนไม่แตกต่างจากชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพเลย เปอร์เซ็นต์ไขมันของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมี ในทุกกลุ่มทดลองยังมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในปริมาณที่ต่ำและค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วนพลังงานที่หาค่าได้ทุกกลุ่มทดลองมีค่าพลังงานใกล้เคียงกันและสูงที่สุดในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรียอย่างเดียว

เปอร์เซ็นต์ CF, NDF และ ADF ของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพยังมีความผันแปรอยู่ แต่อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์ CF ต่ำในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับยูเรีย ส่วนในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ CF, NDF และADF ต่ำกว่า

4.5.2 การย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ

การย่อยสลายได้ของโภชนะในชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ซึ่งศึกษาโดยวิธีการใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ พบว่าการย่อยได้วัตถุแห้ง, CF, NDF และ ADF ในกลุ่มที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ การย่อยได้ดีกว่ากลุ่มปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรีย และกลุ่มที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับยูเรีย ($P<0.01$) ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ขึ้น เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายได้เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนในกลุ่มที่ปรับปรุงด้วยยูเรียอย่างเดียว การย่อยสลายได้ไม่เพิ่มขึ้นเลย กลุ่มทดลองที่มีการย่อยสลายได้ วัตถุแห้ง, CF, NDF และ ADF สูงที่สุด คือ กลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ รองลงมาได้แก่ กลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับ 3 เปอร์เซ็นต์ยูเรีย และกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับ 6 เปอร์เซ็นต์ยูเรีย ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 สารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย

กลุ่มการทดลอง	ระยะเวลาหมัก (วัน)
กลุ่มทดลองที่ 1 ชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพ	-
กลุ่มทดลองที่ 2 ปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ (3% NaOH) = 1.8 kgDM : 54 g NaOH	7
กลุ่มทดลองที่ 3 ปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ (6% NaOH) = 1.8 kgDM : 108 g NaOH	7
กลุ่มทดลองที่ 4 ปรับปรุงด้วยยูเรียความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ (3% Urea) = 1.8 kgDM : 54 g Urea	14
กลุ่มทดลองที่ 5 ปรับปรุงด้วยยูเรียความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ (6% Urea) = 1.8 kgDM : 108 g Urea	14
กลุ่มทดลองที่ 6 ปรับปรุงด้วยปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับยูเรียความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์(3% NaOH & 3% Urea) = 1.8 kgDM : 54 g NaOH& 54 g Urea	7
กลุ่มทดลองที่ 7 ปรับปรุงด้วยปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับยูเรียความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์(3% NaOH & 6% Urea) = 1.8 kgDM : 54 g NaOH& 108 g Urea	7
กลุ่มทดลองที่ 8 ปรับปรุงด้วยปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับยูเรียความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์(6% NaOH & 3% Urea) = 1.8 kgDM : 108 g NaOH& 54 g Urea	7
กลุ่มทดลองที่ 9 ปรับปรุงด้วยปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับยูเรียความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์(6% NaOH & 6% Urea) = 1.8 kgDM : 108 g NaOH& 108 g Urea	7

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ

กลุ่มทดลองที่	วัตถุแห้ง[2/]	เถ้า[2/]	โปรตีน[2/]	ไขมัน[2/]	CF[2/]	NDF[2/]	ADF[2/]	พลังงานรวม[3/] (Mcal/kgDM)
1 (control)	55.0^{d}	1.5^{f}	1.4^{e}	0.4^{b}	41.7^{ab}	88.5^{a}	55.1^{bc}	4.2
2 (3%NaOH)	60.6^{c}	7.6^{c}	1.2^{e}	0.1^{b}	41.8^{ab}	82.8^{bc}	54.1^{cd}	4.1
3 (6%NaOH)	63.5^{a}	13.2^{a}	1.4^{e}	0.2^{b}	40.2^{bc}	75.8^{de}	52.0^{e}	3.9
4 (3%Urea)	61.3^{bc}	4.4^{de}	3.4^{d}	0.4^{b}	42.5^{a}	87.1^{ab}	57.6^{a}	4.2
5 (6%Urea)	60.0^{d}	3.0^{ef}	8.6^{b}	0.8^{a}	42.5^{a}	87.2^{a}	56.5^{ab}	4.2
6 (3%N&3%U)[1/]	63.6^{a}	6.3^{cd}	6.4^{c}	1.0^{a}	40.5^{bc}	87.0^{ab}	53.8^{cde}	4.1
7 (3%N&6%U)[1/]	63.9^{a}	6.1^{cd}	13.3^{a}	1.1^{a}	39.1^{c}	80.1^{cd}	52.5^{de}	4.0
8 (6%N&3%U)[1/]	63.2^{ab}	11.2^{ab}	7.8^{bc}	0.4^{b}	39.0^{c}	73.9^{e}	51.9^{e}	3.9
9 (6%N&6%U)[1/]	63.5^{a}	10.6^{b}	13.9^{a}	0.8^{a}	39.9^{c}	72.2^{e}	49.3^{f}	3.8
SEM	0.9	1.1	0.8	0.2	0.9	2.1	1.0	-
CV	2.1	22.3	17.7	39.1	3.1	3.7	2.6	-

หมายเหตุ [1/] N คือ NaOH และ U คือ Urea , [2/]$P < 0.01$, N = 3

[3/] พลังงานรวม ไม่ได้วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ เพราะว่าหาค่าพลังงานเพียง 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.3 การย่อยสลายวัตถุแห้งในกระเพาะหมักโดยวิธี Nylon bag technique ของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ

กลุ่มทดลองที่	วัตถุแห้ง						
	0 ชั่วโมง[2/]	**6 ชั่วโมง**[2/]	**12 ชั่วโมง**[2/]	**24 ชั่วโมง**[2/]	**48 ชั่วโมง**[2/]	**72 ชั่วโมง**[2/]	**96 ชั่วโมง**[2/]
1 (control)	6.7^{d}	10.1^{cd}	13.2^{b}	19.5^{d}	31.0^{d}	35.2^{ef}	37.7^{e}
2 (3%NaOH)	11.1^{bc}	14.8^{b}	16.8^{b}	24.2^{cd}	44.5^{ab}	51.6^{b}	52.2^{c}
3 (6%NaOH)	17.5^{a}	22.8^{a}	23.1^{a}	37.9^{a}	51.5^{a}	61.2^{a}	66.3^{a}
4 (3%Urea)	6.1^{d}	8.2^{d}	13.7^{b}	19.7^{d}	29.2^{d}	32.7^{f}	39.6^{de}
5 (6%Urea)	8.3^{cd}	11.1^{c}	13.1^{b}	22.2^{d}	32.1^{d}	40.5^{de}	41.6^{de}
6 (3%N&3%U)[1/]	11.8^{b}	14.9^{b}	14.8^{b}	22.6^{d}	36.4^{cd}	41.5^{cd}	44.6^{d}
7 (3%N&6%U)[1/]	11.7^{b}	14.1^{b}	16.8^{b}	22.1^{d}	40.9^{bc}	47.1^{bc}	50.6^{c}
8 (6%N&3%U)[1/]	18.5^{a}	22.8^{a}	24.6^{a}	33.6^{ab}	48.3^{ab}	50.2^{b}	59.1^{b}
9 (6%N&6%U)[1/]	16.4^{a}	20.1^{b}	22.5^{b}	28.8^{bc}	40.4^{bc}	50.6^{b}	54.0^{bc}
SEM	1.4	1.3	2.1	2.9	3.8	2.8	2.8
CV	14.2	10.2	14.3	13.9	12.0	7.4	6.8

หมายเหตุ [1/] N คือ NaOH และ U คือ Urea , [2/]$P < 0.01$, N = 3

ตารางที่ 4.4 การย่อยสลาย CF, NDF และ ADF ในกระเพาะหมักของโดยวิธี Nylon bag technique ชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ

กลุ่มทดลองที่	CF		NDF		ADF	
	48 ชั่วโมง[2/]	72 ชั่วโมง[2/]	48 ชั่วโมง[2/]	72 ชั่วโมง[2/]	48 ชั่วโมง[2/]	72 ชั่วโมง[2/]
1 (control)	22.1 ^{cde}	33.3 ^{c}	33.7 ^{abc}	38.4 ^{abc}	40.9 ^{a}	48.3 ^{a}
2 (3%NaOH)	25.6 ^{bcd}	31.6 ^{cd}	25.1 ^{def}	27.3 ^{d}	24.4 ^{de}	28.5 ^{e}
3 (6%NaOH)	36.0 ^{a}	48.6 ^{a}	36.4 ^{a}	45.3 ^{a}	34.6 ^{b}	44.2 ^{ab}
4 (3%Urea)	19.6 ^{e}	25.4 ^{d}	21.4 ^{f}	27.2 ^{d}	22.6 ^{e}	29.9 ^{e}
5 (6%Urea)	21.1 ^{de}	32.7 ^{c}	23.0 ^{ef}	38.2 ^{bc}	22.7 ^{e}	38.7 ^{bcd}
6 (3%N&3%U)[1/]	29.6 ^{b}	32.7 ^{c}	34.3 ^{ab}	36.0 ^{bc}	29.1 ^{cd}	29.8 ^{e}
7 (3%N&6%U)[1/]	28.3 ^{b}	36.4 ^{bc}	29.4 ^{bcd}	36.8 ^{bc}	27.5 ^{cde}	34.9 ^{cde}
8 (6%N&3%U)[1/]	27.2 ^{bc}	41.6 ^{b}	28.9 ^{cd}	41.1 ^{ab}	30.0 ^{bc}	42.1 ^{abc}
9 (6%N&6%U)[1/]	30.1 ^{b}	34.0 ^{c}	27.9 ^{de}	31.9 ^{cd}	28.1 ^{cd}	31.7 ^{de}
SEM	2.6	3.2	2.5	3.4	2.6	3.6
CV	14.0	12.8	12.4	13.3	12.7	14.1

หมายเหตุ [1/] N คือ NaOH และ U คือ Urea , [2/] $P < 0.01$, N = 4

4.5.3 คัดเลือกวิธีที่ดีที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยจากที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ เพื่อนำไปศึกษาการกินได้และการย่อยได้ในระดับ large scale ต่อไป

จากการศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การย่อยได้โดยวิธีใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักในโคเจาะกระเพาะเป็นวิธีคัดเลือก ซึ่งวิธีใดที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วทำให้ชานอ้อยสามารถย่อยได้มากที่สุด จะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดเช่นกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีที่ดีที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมี คือ การปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมีการย่อยสลายได้สูงที่สุด อย่างไรก็ตามหากจะนำไปควรคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ดังนี้ด้วย คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์มีราคาค่อนข้างสูง และมีคุณสมบัติเป็นด่างแก่ ถ้าโดนผิวหนังอาจเกิดอันตรายได้

4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการทางเคมีต่างๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในทุกกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Wanapat et al. (1988) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง ซึ่งผลของเปอร์เซ็นต์เถ้าที่เพิ่มขึ้นนั้น อาจเป็นผลเนื่องจากสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ตกค้าง ส่วน Ibrahim and Pearce (1983) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยวิธีทางเคมีต่างๆ สรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 3, 6 และ 9 กรัมต่อชานอ้อย 100 กรัมวัตถุแห้ง (7.3, 12.0 และ 16.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

เปอร์เซ็นต์โปรตีนของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพสูงที่สุด ในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรีย ส่วนกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำ ซึ่งมีโปรตีนไม่แตกต่างจากชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพเลย และสอดคล้องกับ Ibrahim and Pearce (1983) ที่ศึกษาชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีทางเคมีเมื่อปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มจาก 3, 6 และ 9 กรัมต่อชานอ้อย 100 กรัมวัตถุแห้ง เปอร์เซ็นต์โปรตีนไม่ได้เพิ่มขึ้นเลย (1.25, 1.25 และ 1.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรียระดับต่างๆ คือ 2, 4 และ 6 กรัมต่อชานอ้อย 100 กรัมวัตถุแห้ง เพิ่มขึ้นตามระดับยูเรียที่เพิ่ม (3.13, 5.0และ 5.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

เปอร์เซ็นต์ CF, NDF และ ADF สูงที่สุดในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรีย อาจเนื่องมาจากชานอ้อยมีส่วนประกอบของเอนไซม์ยูรีเอสอยู่น้อย เลยทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเปอร์เซ็นต์พวกเยื่อใยเหล่ายังมีค่าใกล้เคียงกับชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ibrahim and Pearce (1983) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยใช้ยูเรียความเข้มข้นต่างๆ ที่ 0, 2, 4, และ 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่า NDF (88.5, 88.5, 86.2 และ 85.1 ตามลำดับ) และ ADF (60.7, 61.4, 61.8, และ 61.7 ตามลำดับ) หลังปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรียมีค่าใกล้เคียงกับชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพเช่นเดียวกัน และในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ระดับต่างๆ จะมีเปอร์เซ็นต์ CF, NDF และADF ต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ibrahim and Pearce (1983) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ที่ 0, 3, 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่า NDF (88.1, 84.5, 78.2 และ 72.6 ตามลำดับ) และ ADF (60.2, 57.0, 54.5, และ 54.5 ตามลำดับ) ต่ำกว่าเช่นกัน

การย่อยสลายได้ของโภชนะในชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ กลุ่มทดลองที่มีการย่อยสลายได้ วัตถุแห้ง, CF, NDF และ ADF สูงที่สุด คือ กลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ibrahim and Pearce (1983) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรียที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ IVOMD เท่ากับ 41.9 และ 56.3 ตามลำดับ ส่วนยูเรียความเข้มข้น 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ IVOMD เท่ากับ 39.1, 43.2, และ 39.2 ซึ่งจากงานทดลองของ Ibrahim และ Pearce พบว่าชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ สามารถย่อยได้สูงสุด เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีคุณสมบัติเป็นด่างแก่ทำให้องค์ประกอบของชานอ้อยพวกเซลลูโลส เกิดการพองตัว โดยพวกด่างมีผลไปลดความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล ซึ่งจับตัวกับโมเลกุลของเซลลูโลส ดังนั้นจึงเป็นผลให้เกิดการพองตัวของผนังเซลล์ และการปรับปรุงคุณภาพด้วยด่างบางทีอาจมีผลทำให้ลดการยับยั้งขอบเขตตรงนั้นลงทำให้ทั้งปริมาณลิกนินและซิลิกาถูกสลายไป และพันธะเอสเทอภายในโมเลกุลระหว่างกลุ่มยูโรนิค แอซิคของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสถูกไฮโดรไลส์ การพองตัวจะทำให้เอนไซม์จากจุลินทรีย์สามารถเข้าไปย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ส่วนการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วยยูเรียพบว่าการย่อยสลายได้ไม่แตกต่างจากชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพเลย และเหตุผลที่ชานอ้อยไม่ตอบสนองต่อการปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรีย ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเนื่องมาจากในชานอ้อยไม่มีเอนไซม์ยูรีเอสเมื่อเทียบกับฟางข้าวที่

สามารถเพิ่มการย่อยได้เมื่อปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรีย เพราะว่าในฟางข้าวมีเอนไซม์ยูรีเอส (Devendra, 1979)

นอกจากพิจารณาถึงการย่อยสลายของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว ได้ทำการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตในแต่ละกลุ่มทดลอง โดยศึกษาต้นทุนในระดับ Large scale คิดต้นทุนต่อบ่อในการหมัก ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก จะเห็นว่าต้นทุนการผลิตชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าต้นทุนการปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรีย เช่น ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ (ต้นทุนต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด 0.86 และ 1.24 บาท) ส่วนชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรียความเข้มข้น 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ (ต้นทุนต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด 0.58 และ 0.78 บาท) เนื่องจากราคาโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงกว่ายูเรียมาก (โซเดียมไฮดรอกไซด์ กก. ละ 23 บาท และยูเรีย กก. ละ 6 บาท) ถึงแม้ต้นทุนการผลิตของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงกว่า แต่สามารถทำให้การย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยสูงที่สุดด้วยเช่นกัน ถ้าชานอ้อยสามารถย่อยสลายได้สูง ทำให้โคนมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงด้วย โดยเฉพาะการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีการย่อยสลายได้สูงกว่าทุกๆ กลุ่มทดลอง

4.7 สรุป

องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังจากปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วยยูเรีย แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเปอร์เซ็นต์ CF, NDF และ ADF ในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ำกว่ากลุ่มที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรีย ส่วนการย่อยสลายได้ทั้งวัตถุแห้ง CF และ NDF ที่ 48 และ 72 ชั่วโมง (ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่การย่อยสลายเกิดได้ดี) ย่อยสลายได้สูงที่สุดในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น วิธีที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพ ชานอ้อย ได้แก่ การปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีการย่อยสลายได้สูงที่สุด

บทที่ 5
การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพและอาหารหยาบสดต่อผลผลิตน้ำนม ในโคนมระยะต้นของการให้นม (Early lactation)

คำนำ

กลุ่มผู้เลี้ยงโคนมในปัจจุบัน มักประสบปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบสำหรับโคนม โดยเฉพาะในฤดูแล้ง การศึกษาครั้งนี้เพื่อเสนอแนวทางเลือกแหล่งอาหารหยาบชนิดอื่นๆ สำหรับกลุ่มผู้เลี้ยงโคนม แหล่งอาหารหยาบที่แนะนำ คือ กลุ่มพวกผลพลอยได้ทางการเกษตร และจากผลพลอยได้ทางการเกษตรต่างๆ จะเห็นว่า ชานอ้อย เป็นอาหารหยาบที่มีศักยภาพ เนื่องจากมีในปริมาณมาก โดยเฉพาะในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นฤดูหีบอ้อยด้วย แต่ชานอ้อย จะมีคุณค่าทางอาหารต่ำและย่อยได้ยาก จึงต้องนำชานอ้อยมาปรับปรุงคุณภาพก่อน และจากการศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ แล้ว สามารถสรุปได้ว่าวิธีที่ดีที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมี ได้แก่ การปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้สูงที่สุด ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งขยายผลการ ปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ในระดับ Large scale แล้วนำชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบ เพื่อทดแทนอาหารหยาบอื่นๆ สำหรับโคนมในระยะต้นของการให้นม

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงการใช้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว เป็นอาหารสำหรับโคนม เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบ ในช่วงฤดูแล้งของโคนมในระยะต้นของการให้นม (Early lactation)

5.1 อุปกรณ์และวิธีการ

5.1.1 การปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์

ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ทำการหมักชานอ้อยในบ่อคอนกรีต ในการหมักชานอ้อยจะทำการหาน้ำหนักวัตถุแห้งและความชื้นก่อน (105 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ในตู้อบแห้ง) เพื่อนำไปคำนวณน้ำหนักชานอ้อยในการหมัก ซึ่งคิดเป็น 100 kgDM จะชั่งชานอ้อย 255.76 kg น้ำหนักสด คลุกให้เข้ากันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 kg หลังจากนั้นปิดพลาสติกคลุมอย่างมิดชิด เพื่อไม่ให้อากาศเข้า หมักนาน 7 วัน หลังจากหมักเสร็จนำไปศึกษาการกินได้และการย่อยได้ต่อไป

5.1.2 การศึกษาผลของการใช้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพและอาหารหยาบสดต่อผลผลิตน้ำนม ในโคนมระยะต้นของการให้นม (Early lactation)

ทำการจัดแผนการทดลองแบบ Group comparision โดยจัดโคนมออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 9 ตัว โดยจัดกลุ่มตามผลผลิตน้ำนม ระยะให้นม วันคลอด และน้ำหนักตัว แล้วดูผลเฉลี่ยรวมของปัจจัยที่ใช้จัดกลุ่มทดลองต้องใกล้เคียงกันทั้งสองกลุ่ม โดยใช้โคนมรีดนมลูกผสมโฮลสไตลน์ฟรีเซี่ยน ที่ให้นมปานกลาง ในช่วงต้นระยะให้นม จำนวน 18 ตัว ให้น้ำนมเฉลี่ย 16.2$\pm$0.7 กิโลกรัมต่อตัว คลอดมาแล้วเฉลี่ย 42$\pm$6 วัน น้ำหนักตัวเฉลี่ย 442$\pm$14 กิโลกรัม และ อายุ 71$\pm$6 เดือน โคทุกตัวจะถูกเลี้ยงรวมกับฝูงใหญ่ โดยได้รับอาหารข้นตามปริมาณน้ำนม คือ ให้อาหารข้น 1 กิโลกรัมต่อปริมาณน้ำนมที่รีดได้ 2 กิโลกรัม ร่วมกับอาหารต้นข้าวโพดสดที่ให้กินเต็มที่ บันทึกปริมาณน้ำนมติดต่อกัน 4 วัน เพื่อนำมาจัดกลุ่มการทดลอง ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนม 1 วัน (เย็นและเช้า) วิเคราะห์หาองค์ประกอบน้ำนมโคก่อนการทดลอง และจัดกลุ่มทดลอง การทดลองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มทดลองดังต่อไปนี้

กลุ่มทดลองที่ 1 โคนมได้รับอาหารหยาบสด คือ ต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ จำนวน 9 ตัว

กลุ่มทดลองที่ 2 โคนมได้รับชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ จำนวน 9 ตัว

การจัดการสัตว์ทดลอง

โคนมแต่ละกลุ่มจะเลี้ยงขังคอกไว้รวมกันคอกละ 9 ตัว มีพื้นที่เพียงพอสำหรับโค และรางอาหารจะมีซองกั้นสำหรับโคแต่ละตัวจำนวน 10 ซอง อ่างน้ำมี 2 อ่าง สำหรับให้โคกิน ซึ่งเพียงพอ และการให้อาหารให้เป็นกลุ่ม (Group feeding) โดยการผสมอาหารใส่ราง เกลี่ยให้สม่ำเสมอกันตลอดตามยาวของรางอาหาร โดยโคนมทุกตัวในกลุ่มสามารถกินอาหารได้พร้อมกัน สำหรับอาหารให้ตามกลุ่มแบ่งเป็นวันละ 2 ครั้ง (07.00 และ 18.00 น.) หลังรีดนม อาหารสำหรับเลี้ยงโคนมในการ

ทดลองครั้งนี้เป็นอาหารผสม (Total Mixed Ration, TMR) แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 การประกอบสูตรอาหารผสมนี้ได้คำนวณตามส่วนประกอบของอาหารและองค์ประกอบทางโภชนะตามความต้องการของโคนมที่ใช้ทดลอง และเผื่อ 5 เปอร์เซ็นต์ (Safety margin)

การเก็บตัวอย่างข้อมูล

น้ำนม บันทึกผลผลิตน้ำนมทุกวันตลอดการทดลอง โดยทำการจดจากมิเตอร์เครื่องรีดนมอัตโนมัติ ส่วนตัวอย่างน้ำนม จะสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมทุกสัปดาห์ๆ ละวัน (เย็นและเช้า) โดยสุ่มเก็บน้ำนมตามอัตราส่วนนมเย็นและนมเช้า 60 ต่อ 40 ใส่ในขวด 50 มิลลิลิตร เพื่อนำมาวิเคราะห์หาไขมันนมด้วยวิธีเกอร์เบอร์ (Gerber method, AOAC, 1990) โปรตีนในน้ำนมโดยเครื่องเคเจลเทค และของแข็งในน้ำนม (Total solid, TS) (ตู้อบแห้ง, AOAC, 1990) ผลการวิเคราะห์เป็นเปอร์เซ็นต์แล้วนำมาคำนวณปริมาณเป็นกรัมต่อตัวต่อวัน ส่วนแลกโตสและของแข็งพร่องในไขมัน (Solid not fat, SNF) ได้จากการคำนวณ

โปรตีน (g) = [เปอร์เซ็นต์โปรตีน*1000]/100

โปรตีน (g/ตัว/วัน) = [ปริมาณน้ำนม (kg)*เปอร์เซ็นต์โปรตีน*1000]/100

ไขมัน (g) = [เปอร์เซ็นต์ไขมัน*1000]/100

ไขมัน (g/ตัว/วัน) = [ปริมาณน้ำนม (kg)*เปอร์เซ็นต์ไขมัน*1000]/100

ของแข็งในน้ำนม (TS) (g) = [%TS*1000]/100

ของแข็งในน้ำนม (TS) (g/ตัว/วัน) = [ปริมาณน้ำนม (kg)*%TS*1000]/100

ของแข็งพร่องในไขมัน (SNF) (g) = [(%TS-%Fat)*1000]/100

ของแข็งพร่องในไขมัน (SNF) (g/ตัว/วัน) = [ปริมาณน้ำนม (kg) *(%TS-%Fat)*1000]/100

แลกโตส (g) = [(%SNF-%Protein-%Ash)*1000]/100

แลกโตส (g/ตัว/วัน) = [ปริมาณน้ำนม (kg) *(%SNF-%Protein-%Ash)*1000]/100

เปอร์เซ็นต์เถ้าในน้ำนมอยู่ในช่วง 0.7-0.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ค่อยผันแปร และในการศึกษาครั้งนี้ใช้เปอร์เซ็นต์เถ้า เท่ากับ 0.8

บันทึกการกินได้สัปดาห์ละ 2 วันติดต่อกัน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารก่อนและหลังกินของโคนมทั้งสองกลุ่มทดลองทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 7 สัปดาห์ โดยเก็บตัวอย่างอาหารเป็นกลุ่ม ตัวอย่างอาหารแต่ละสัปดาห์จะถูกนำไปอบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง เพื่อหาเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งแล้วเก็บไว้ เมื่อครบเวลาก็นำตัวอย่างอาหารของแต่ละสัปดาห์มาผสมกัน และทำการสุ่มตัวอย่างอาหารอีกครั้ง ทำให้ได้ตัวอย่างอาหารก่อนกินและหลังกินของโคนมทั้งสองกลุ่มทดลองเพื่อนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร แล้ววิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างอาหารต่อไป

การชั่งน้ำหนัก จะทำการชั่งน้ำหนักโคนมทั้งก่อนและหลังการทดลอง

ตารางที่ 5.1 สูตรอาหารผสม TMR ที่ใช้เลี้ยงโคนมทดลอง

	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	**กลุ่มทดลองที่ 2**[2/]
คิดเป็น กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน		
อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)	6.55	-
ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 % NaOH	-	4.89
กากถั่วเหลือง	2.37	2.96
ข้าวโพดบด	3.52	3.90
กากน้ำตาล	-	0.94
ยูเรีย	-	0.099
แร่ธาตุ[3/]	0.18	0.18
รวม	12.62	12.97

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

[3/]แร่ธาตุ (5 กิโลกรัม) ประกอบด้วย แมงกานีส 32 กรัม, ทองแดง 500 มิลลิกรัม, สังกะสี 15 กรัม, ไอโอดีน 12.5 มิลลิกรัม, ซิลีเนียม 25 มิลลิกรัม, โคบอลต์ 300 มิลลิกรัม, แมกนีเซี่ยม 40 มิลลิกรัม, กำมะถัน 98 กรัม, โซเดียม 375 กรัม, และสื่อเติมจนครบ 5 กิโลกรัม

5.1.3 ศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของอาหารผสม TMR 2 กลุ่มทดลองที่ได้เลี้ยงโคนมฝูงใหญ่โดยใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ วิธีการศึกษาเหมือนข้อ 3.1.4 โดยศึกษาการย่อยได้ที่เวลาต่างๆ คือ 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ และทำการทดลอง 4 ซ้ำ ใช้โคเจาะกระเพาะ 4 ตัว ให้โคเจาะกระเพาะแต่ละตัวเป็นซ้ำ หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนมาล้างและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหนักวัตถุแห้งและนำกากที่เหลือไปวิเคราะห์หาโปรตีนโดยเครื่อง Kjeltec auto sampler system

โคเจาะกระเพาะเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮสไตส์ ฟรีเซียน (Holstein Friesian) เลือด 87.5 เปอร์เซ็นต์ อายุเฉลี่ยประมาณ 98.3±7.1 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 481.9±26.7 กิโลกรัม เลี้ยงแบบผูกยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา อาหารให้เป็นอาหารผสม ประกอบด้วย ชานอ้อย

ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ กิโลกรัม/ตัว/วัน และต้นข้าวโพดสด 5 กิโลกรัม/ตัว/วัน ส่วนอาหารข้น 3.5 กิโลกรัม/ตัว/วัน (ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง และแร่ธาตุ)

การหาค่าการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมักโดยวิธีการใช้ถุงไนล่อน คือ ใช้ถุงไนล่อนบรรจุอาหารหยาบผสมทั้งสองกลุ่มทดลองที่ต้องการหาค่าการย่อยสลายโปรตีนจุ่มแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ ทิ้งไว้ในช่วงระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 0, 3, 6, 12, 24, 48,72 และ 96 ชั่วโมง นำค่าสัดส่วนโปรตีนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ กันมาคำนวณหาอัตราการย่อยสลายโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY EXCEL (Orskov,1995)

จากโปรแกรมสำเร็จรูป NEWWAY ดังกล่าว จะสามารถคำนวณได้ค่า a, b และ c ค่า a + b ซึ่งคำนวณได้จะต้องไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์ โดยนำ Fractional outflow rate ของ Digesta ที่ไหลผ่านกระเพาะหมัก มาพิจารณาด้วย และนำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสมการข้างล่าง ค่าที่คำนวณได้เรียกว่า Effective rumen degradability

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

เมื่อ dg = Effective protein degradability

k = Fractional outflow rate of digesta per hour

ค่า Fractional outflow rate (k) จะขึ้นอยู่กับระดับการกินอาหารของสัตว์ (Level of feed intake) กล่าวคือ ถ้าสัตว์กินอาหารได้มาก ค่า k จะมากด้วย และค่า k ของสัตว์ที่ได้รับอาหารผสมระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบและได้รับในระดับเพื่อการดำรงชีพ (Maintenance) ค่า k ที่ใช้คือ 0.046 /hr.

เมื่อได้ค่า dg แล้วก็นำไปประมาณค่าโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Undegradable protein, UDP) ต่อไป

5.1.4 ศึกษาการย่อยได้ของอาหารผสม TMR 2 กลุ่มทดลองที่ได้เลี้ยงโคนมฝูงใหญ่แบบชั่งน้ำหนักทั้งหมดในโคนม (Total collection)

ในการศึกษาย่อยได้แบบ Total collection โดยใช้โคนมจำนวน 8 ตัว วางแผนการทดลองแบบ Group comparision ซึ่งแบ่งเป็นโคออกเป็น 2 กลุ่ม (แต่ละกลุ่มมีโคเจาะกระเพาะ 2 ตัว และโคที่ไม่ได้ให้นม 2 ตัว) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 464±17 กิโลกรัม และ 463±36 กิโลกรัม ตามลำดับ โคทดลองทั้งสองกลุ่มนี้เลี้ยงในโรงเรือนแบบยืนโรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา ในการศึกษาการย่อยได้

นี้ ทำการเลี้ยง โคนมเป็นเวลา 15 วัน โดย 10 วันแรก ให้โคนมได้ปรับตัวให้เข้ากับคอกและอาหารในระยะแรกเพื่อเป็นการลดความเครียดก่อนการทดลอง และในช่วง 5 วันสุดท้ายเป็นระยะทดลอง

อาหารที่ให้ในการศึกษาครั้งนี้ ให้ในรูปอาหาร TMR จ่ายอาหารวันละ 2 ครั้ง (0700 และ 1600 น.) ใช้อาหารสูตรเดียวกับการเลี้ยงโคนมฝูงใหญ่

-วันที่ 1-5 ระยะหาปริมาณการกินได้โดยอิสระ ให้อาหารเต็มที่ดังนี้ กลุ่มที่ 1 กลุ่มอาหารหยาบสด (ข้าวโพดสด) กลุ่มที่ 2 กลุ่มชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพ การให้สัตว์กินอาหารที่ทดสอบเต็มที่ เพื่อทำให้สามารถรู้ถึงปริมาณการกินได้โดยอิสระ (Voluntary feed intake) ของสัตว์เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในช่วงระยะทดลองต่อไป

-วันที่ 6-10 ระยะให้อาหารเต็มที่ดังนี้ กลุ่มที่ 1 กลุ่มอาหารหยาบสด กลุ่มที่ 2 กลุ่มชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพ

-วันที่ 11-15 ระยะทดลอง ให้อาหารลดลงเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ตามปริมาณการกินได้โดยอิสระ ให้อาหารดังนี้ กลุ่มที่ 1 กลุ่มอาหารหยาบสด กลุ่มที่ 2 กลุ่มชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพ เพื่อป้องกันการเลือกกิน (Sorting out) อาหารของสัตว์และสัตว์จะกินอาหารได้หมด

การเก็บข้อมูลต่างๆ บันทึกเป็นรายตัว ดังนี้ คือ บันทึกน้ำหนักโคทั้งก่อนและหลังการทดลอง บันทึกน้ำหนักตัวอย่างอาหารก่อนกิน หลังกิน น้ำหนักมูลและปัสสาวะ เก็บตัวอย่างอาหารก่อนกินและหลังกิน รวมทั้งเก็บมูลและปัสสาวะด้วย ซึ่งเก็บตัวอย่างทุกวันโดยการสุ่มเก็บ 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปแช่แข็งไว้และหลังจากสิ้นสุดการทดลอง นำตัวอย่างทั้งหมดของทุกวันที่เก็บมาผสมคลุกเคล้ารวมกันและทำการสุ่ม 10 เปอร์เซ็นต์ อีกครั้งเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ต่อไป

ตัวอย่างอาหารและมูลนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Proximate analysis และวิธีวิเคราะห์ Detergent analysis และหาพลังงานรวมโดยเครื่อง Bomb calorimeter ส่วนปัสสาวะนำไปวิเคราะห์หาไนโตรเจน (%N) โดยเครื่อง Kjeltec auto sampler system

การคำนวณค่าความสามารถในการย่อยได้ หลังการวิเคราะห์ทางเคมีในอาหาร ปัสสาวะและมูลแล้ว สามารถหาสัมประสิทธิ์ค่าความสามารถในการย่อยได้ขององค์ประกอบต่างๆ คือ DM, CP, EE, CF, NDF, ADF, NFE, OM, TDN, DE และ N-balance

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ปริมาณน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนม น้ำหนักตัว (ใช้ N=9) เนื่องจากเก็บข้อมูลต่างๆ เป็นเฉพาะตัว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Bruckental, I., Holtzman, M., Kaim, M., Aharomi, Y.,

Zamwell, S., Voet, H., and Arieli, A. (2000), Holden, A.L., Muller, L.D., Lykos, T., and Cassidy, W.T. (1995), Kolver, S.E., and Muller, L.D. (1997) ทำการทดลองโดยให้อาหารแบบ Group feeding แล้วใช้จำนวนโคเป็นซ้ำ การย่อยสลายได้ (Nylon bag technique) และการย่อยได้แบบ Total collection (ใช้ N=4) ข้อมูลต่างๆ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (Statistical analysis system, 1985) ส่วนการกินได้นำเสนอ ข้อมูลในรูป Mean เพราะเก็บข้อมูลการกินได้เฉลี่ยเป็นกลุ่ม ไม่ได้เก็บเป็นรายตัว

5.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาคารเครื่องมือ 2 และอาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2541 ถึง 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2542

5.5 ผลการทดลอง

5.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสม TMR

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสม TMR ที่ใช้เลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 คือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มทดลองที่ 2 มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่าคุณค่าทางอาหารโดยรวมของทั้งสองกลุ่มทดลองมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้งเปอร์เซ็นต์โปรตีน เปอร์เซ็นต์ไขมัน และพลังงานรวม GE แม้ว่ากลุ่มทดลองที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่า (13.76 และ 12.82 เปอร์เซ็นต์) ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันกลุ่มทดลองที่ 1 จะสูงกว่า (2.93 และ 2.63 เปอร์เซ็นต์) ส่วนองค์ประกอบพวก CF, NDF และ ADF ในกลุ่มทดลองที่สองมีค่าสูงกว่าในกลุ่มทดลองที่ 1 (23.18, 18.34 และ 49.54, 44.15 และ 21.33, 28.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสม TMR

เปอร์เซนต์ของวัตถุแห้ง	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มทดลองที่ 2[2/]
วัตถุแห้ง	34.53	44.79
เถ้า	8.67	12.32
โปรตีน	12.82	13.76
ไขมัน	2.93	2.63
เยื่อใย	18.34	23.18
NDF	44.15	49.54
ADF	21.33	28.51
พลังงานรวม GE (MJ/kgDM)	17.54	17.19
พลังงาน DE (MJ/kgDM)[3/]	12.20	12.94
พลังงาน ME (MJ/kgDM)[4/]	10.00	10.61

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

[3/]DE (MJ/kgDM) = 0.04409*TDN(%)*4.184, [4/]ME = 0.82DE

5.5.2 การกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR

ปริมาณการกินได้โภชนะต่างๆ อาหารผสม TMR ของโคนมที่ศึกษาทั้งสองกลุ่มทดลอง คือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มทดลองที่ 2 มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 พบว่าปริมาณการกินได้โดยอิสระของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR ทั้งสองกลุ่มทดลอง คือ 11.4 และ 11.1 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน การกินได้โปรตีน (1485 และ 1717 กรัมต่อตัวต่อวัน) การกินได้ CF (247 และ 265 กรัมต่อตัวต่อวัน) การกินได้ NDF (212 และ 228 กรัมต่อตัวต่อวัน) การกินได้ ADF (744 และ 799 กรัมต่อตัวต่อวัน) และการกินได้พลังงาน ME (111 และ 121 MJME ต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ) แต่ถ้าดูจากค่าตัวเลขที่ได้พบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 มีปริมาณการกินได้โภชนะต่างๆ ของอาหารผสม TMR ดีกว่ากลุ่มทดลองที่ 1

ตารางที่ 5.3 แสดงผลปริมาณการกินได้อาหารของอาหารผสม TMR

การกินได้โภชนะ	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มทดลองที่ 2[2/]
การกินได้ (กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน)	11.1	11.4
การกินได้โปรตีน (กรัมต่อตัวต่อวัน)	1485	1717
การกินได้ CF (กรัมต่อตัวต่อวัน)	212	228
การกินได้ NDF (กรัมต่อตัวต่อวัน)	744	799
การกินได้ ADF (กรัมต่อตัวต่อวัน)	247	265
การกินได้พลังงาน (MJME/ตัว/วัน)	111	121

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

5.5.3 การย่อยได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR

การย่อยได้ของอาหารผสมทั้งสองกลุ่มทดลอง คือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มทดลองที่ 2 มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ ซึ่งศึกษาการย่อยได้ *in vivo* แบบ Total collection แสดงไว้ในตารางที่ 5.4 พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีสัมประสิทธิ์การย่อยได้วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก ไขมัน โภชนะย่อยได้รวม พลังงานย่อยได้ DE และความสมดุลย์ไนโตรเจน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้น สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ CF (72.78 และ 56.15 เปอร์เซ็นต์), สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ NDF (74.98 และ 65.60 เปอร์เซ็นต์) และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ ADF (65.02 และ 48.25 เปอร์เซ็นต์) ที่กลุ่มทดลองที่ 2 มีสัมประสิทธิ์การย่อยได้สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และ และ ตามลำดับ)

การย่อยสลายได้ของอาหารผสม TMR โดยวิธีใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมัก และศึกษาการย่อยสลายได้ที่เวลาต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 5.5 คือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มทดลองที่ 2 มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่า การย่อยสลายได้วัตถุแห้งที่ 0, 3 และ 6 ชั่วโมง กลุ่มทดลองที่ 2 ย่อยสลายได้สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P<0.01$) รวมทั้งการย่อยสลายได้ที่ 72 ชั่วโมงด้วย ($P<0.05$) ส่วนที่เวลาอื่นๆ การย่อยสลายได้ของทั้งสองกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P> 0.05$) และการย่อยสลายได้โปรตีนทั้ง

สองกลุ่มทดลองมีค่าการย่อยสลายได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นการย่อยสลายได้โปรตีนที่ชั่วโมงที่ 0 กลุ่มทดลองที่ 2 มีการย่อยสลายได้โปรตีนสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 ($P<0.01$) เมื่อนำค่าการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและโปรตีนของอาหารผสม TMR ทั้งสองกลุ่มทดลองที่เวลาต่างๆ มาคำนวณหาค่า dg (Effective protein degradability) ได้ค่า dg (วัตถุแห้ง) เท่ากับ 0.51 และ 0.57 ตามลำดับ และค่า dg (โปรตีน) เท่ากับ 0.52 และ 0.51 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.4 แสดงการย่อยได้ *in vivo* แบบ Total collection ของอาหารผสม TMR

เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มทดลองที่ 2[2/]	SD	Pr>T	CV
วัตถุแห้ง	65.59	73.84	4.79	0.0528	6.9
อินทรียวัตถุ	70.20	75.20	4.31	0.1679	5.7
โปรตีน	68.20	71.59	4.56	0.3428	6.5
ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (NFE)	74.06	76.84	3.59	0.3473	4.8
ไขมัน	78.29	80.71	9.66	0.7854	12.2
CF	56.15[b]	72.78[a]	6.16	0.0091	9.6
NDF	65.60[b]	74.98[a]	5.20	0.0455	7.4
ADF	48.25[b]	65.02[a]	8.69	0.0347	15.3
โภชนะย่อยได้รวม (TDN)	66.14	70.12	4.04	0.2391	5.9
พลังงานย่อยได้ DE (MJ/kgDM)[3/]	12.20	12.94	0.75	0.2378	6.0
พลังงาน ME (MJ/kgDM)[4/]	10.00	10.61	0.61	0.2360	5.9
ความสมดุลย์ของไนโตรเจน (N-balance) (g/day)	138.12	146.11	17.68	0.5634	12.4

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

N = 4

[3/]DE (MJ/kgDM) = 0.04409*TDN(%)*4.184, [4/]ME = 0.82DE

ตารางที่ 5.5 การย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยวิธี Nylon bag technique ของอาหารผสม TMR

เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายในกระเพาะหมัก	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มทดลองที่ 2[2/]	SD	Pr>T	CV
วัตถุแห้ง (DM)					
0 ชั่วโมง	32.25[b]	40.02[a]	1.28	0.0002	3.5
3 ชั่วโมง	36.44[b]	43.44[a]	1.53	0.0007	3.8
6 ชั่วโมง	41.01[b]	45.62[a]	1.49	0.0057	3.4
12 ชั่วโมง	46.09	48.29	2.31	0.2415	4.9
24 ชั่วโมง	54.29	58.03	4.97	0.3303	8.9
48 ชั่วโมง	63.31	74.31	9.02	0.1352	13.1
72 ชั่วโมง	76.94[b]	83.92[a]	3.61	0.0348	4.5
96 ชั่วโมง	79.78	85.66	4.86	0.1577	5.9
dg[3/]	0.51	0.57			
โปรตีน					
0 ชั่วโมง	32.41[b]	37.37[a]	1.30	0.0024	3.7
3 ชั่วโมง	37.51	39.05	1.59	0.2208	4.2
6 ชั่วโมง	41.55	40.35	1.50	0.3496	3.9
12 ชั่วโมง	46.21[a]	40.20[b]	2.54	0.0193	5.9
24 ชั่วโมง	57.55	49.54	5.38	0.0863	10.0
48 ชั่วโมง	62.01	64.07	10.97	0.8017	17.4
72 ชั่วโมง	82.18	85.08	3.11	0.2435	3.6
96 ชั่วโมง	87.27	87.90	3.77	0.8394	4.3
dg[4/]	0.52	0.51			

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

NS = not significant, N = 4

dg[3/], dg[4/] แสดงในภาคผนวก ก

5.5.4 ปริมาณน้ำนมและปริมาณส่วนประกอบของน้ำนม

ปริมาณน้ำนมและปริมาณส่วนประกอบของน้ำนมแสดงไว้ในตารางที่ 5.6 คือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มทดลองที่ 2 มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่า ปริมาณน้ำนม (14.5 และ 15.9 กิโลกรัม), ปริมาณโปรตีนในนม (392 และ 426 กรัม), ปริมาณแล็คโต๊ส (736 และ 843 กรัม) และปริมาณของแข็งพร่องในไขมัน (1229 และ 1396 กรัม) ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างโคนมกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 แต่จากค่าตัวเลขที่ได้พบว่าปริมาณน้ำนม, ปริมาณโปรตีนในนม, ปริมาณแล็คโต๊ส และปริมาณของแข็งพร่องในไขมันในโคนมกลุ่มทดลองที่ 2 สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1

ส่วนปริมาณไขมัน (670 และ 529 กรัม) ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (16.4 และ 13.7 กรัม) และปริมาณของแข็งรวมในนม (2066 และ 1759 กรัม) ที่ศึกษากลุ่มทดลองที่ 2 สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P< 0.05)

5.5.5 เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของน้ำนม น้ำหนักตัว และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของน้ำนมแสดงไว้ในตารางที่ 5.7 คือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มทดลองที่ 2 มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันนม (3.71 และ 4.26 เปอร์เซ็นต์), โปรตีนในนม (2.73 และ 2.69 เปอร์เซ็นต์), เปอร์เซ็นต์แล็คโต๊ส (5.06 และ 5.27 เปอร์เซ็นต์) เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องในไขมัน (8.49 และ 8.76 เปอร์เซ็นต์) และเปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม (12.20 และ 13.02 เปอร์เซ็นต์) ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05) ระหว่างโคนมกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนมที่ศึกษาแสดงไว้ในตารางที่ 5.8 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างโคนมกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 (447, 438 กิโลกรัม และ -44, 75 กรัม ตามลำดับ) และน้ำหนักตัวก่อนทดลองและหลังทดลองของโคนมทั้งสองกลุ่มทดลองมีค่าใกล้เคียงกันมาก (448, 447 กิโลกรัม และ 435, 438 กิโลกรัม ตามลำดับ)

ตารางที่ 5.6 แสดงผลปริมาณน้ำนม และปริมาณส่วนประกอบของน้ำนม

ผลผลิตโคนม	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มทดลองที่ 2[2/]	SD	Pr>T	CV
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัมต่อวัน)					
ก่อนการทดลอง	16.2	16.1	2.2	0.8999	13.7
ระหว่างการทดลอง	14.5	15.9	2.2	0.2163	14.8
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4% (กิโลกรัมต่อวัน)					
ก่อนการทดลอง	14.9	14.2	3.7	0.6772	25.3
ระหว่างการทดลอง	13.7[b]	16.4[a]	1.9	0.0094	12.6
ปริมาณไขมัน (กรัมต่อวัน)					
ก่อนการทดลอง	562	516	238	0.6933	44.2
ระหว่างการทดลอง	529[b]	670[a]	89	0.0042	14.8
ปริมาณโปรตีน (กรัมต่อวัน)					
ก่อนการทดลอง	427	409	55	0.5043	13.2
ระหว่างการทดลอง	392	426	67	0.2963	16.4
ปริมาณแล็คโต๊ส (กรัมต่อวัน)					
ก่อนการทดลอง	1104	959	263	0.2712	25.5
ระหว่างการทดลอง	736	843	155	0.1640	19.6
ปริมาณของแข็งพร่องในไขมัน (กรัมต่อวัน)					
ก่อนการทดลอง	1644	1497	304	0.3289	19.4
ระหว่างการทดลอง	1229	1396	226	0.1364	17.2
ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัมต่อวัน)					
ก่อนการทดลอง	2206	2013	346	0.2628	16.4
ระหว่างการทดลอง	1759[b]	2066[a]	272	0.0290	14.2

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

N = 9

ตารางที่ 5.7 แสดงผลเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของน้ำนม

ผลผลิตโคนม	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มทดลองที่ 2[2/]	SD	Pr>T	CV
เปอร์เซ็นต์ไขมัน					
ก่อนการทดลอง	3.54	3.20	1.53	0.6395	45.4
ระหว่างการทดลอง	3.71	4.26	0.64	0.0847	16.0
เปอร์เซ็นต์โปรตีน					
ก่อนการทดลอง	2.64	2.55	0.28	0.5077	10.8
ระหว่างการทดลอง	2.73	2.69	0.29	0.7584	10.7
เปอร์เซ็นต์แล็คโต๊ส					
ก่อนการทดลอง	6.36	6.01	1.58	0.6449	25.5
ระหว่างการทดลอง	5.06	5.27	0.47	0.3998	9.10
เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องในไขมัน					
ก่อนการทดลอง	10.07	9.36	1.51	0.3351	15.5
ระหว่างการทดลอง	8.49	8.76	0.63	0.3968	7.3
เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม					
ก่อนการทดลอง	13.61	12.56	1.80	0.2424	13.8
ระหว่างการทดลอง	12.20	13.02	0.82	0.0551	6.5

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

N = 9

ตารางที่ 5.8 แสดงผลน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

ผลผลิตโคนม	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มทดลองที่ 2[2/]	SD	Pr>T	CV
น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กิโลกรัม)					
ก่อนการทดลอง	448	435	45	0.5469	10.2
หลังการทดลอง	447	438	42	0.6911	9.5
น้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลง (กรัมต่อวัน)	-44	75	336	0.4778	1084

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

N = 9

5.5.6 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR

จากตารางที่ 5.9 แสดงผลโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) (กรัมต่อตัวต่อวัน) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) (กรัมต่อตัวต่อวัน) ของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR คือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มทดลองที่ 2 มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยการคำนวณจากค่าการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก (protein degradability) ของอาหารผสม TMR ทั้งสองกลุ่มทดลอง ได้เท่ากับ 0.52 และ 0.51 ตามลำดับ (วิเคราะห์โดยวิธีการใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมัก) พบว่า โคนมกลุ่มทดลองที่ 2 ได้รับ RDP และ UDP สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 รวมทั้งการกินได้พลังงาน ME แม้ว่าทั้งสองกลุ่มทดลองจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ก็ตาม นอกจากนี้สัดส่วน RDP/ME ของโคทั้งสองกลุ่มทดลองจะต่ำกว่าค่าที่แนะนำไว้ใน ARC (1984) คือ 8.38 gRDP/MJME ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมีการเจริญเติบโตดีที่สุด ซึ่งจะทำให้โคได้รับอาหารที่ดีและให้ผลผลิตสูง

การจำแนกพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่างๆ ของโคนมทั้งสองกลุ่มทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 5.10 จะเห็นว่าการใช้พลังงานใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพของโคนมทั้งสองกลุ่มทดลองใกล้เคียงกัน (49 และ 47 MJ) แต่โคนมกลุ่มที่ได้รับชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพเป็นแหล่งอาหารหยาบ ใช้พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่ม น้ำหนักตัวและพลังงานสุทธิสะสมในน้ำนมและการเพิ่มน้ำหนักตัวสูงกว่า (-0.7 และ 1.4 MJ, 43.7 และ 53.4 MJ ตามลำดับ) ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

เพื่อผลผลิตของโคนมทั้งสองกลุ่มใกล้เคียงกัน (0.70, 0.72) และโคนมทั้งสองกลุ่มทดลองได้รับพลังงานใช้ประโยชน์อย่างเพียงพอ

การกินได้โปรตีนที่ย่อยสลาย (rumen degradable protein ; RDP) และไม่ย่อยสลาย (undegradable protein ; UDP)ในกระเพาะหมัก สามารถคำนวณได้จากการแนะนำของ ARC (1980, 1984) และ AFRC (1992) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.11 โคนมทั้งสองกลุ่มทดลองได้รับ RDP ไม่เพียงพอต่อความต้องการ แต่ได้รับ UDP เพียงพอต่อความต้องการ

เมื่อพิจารณาถึงผลตอบแทนทางการเงิน แสดงในตารางที่ 5.12 โคนมทั้งสองกลุ่มทดลองให้ผลตอบแทนทางการเงินใกล้เคียงกัน คือ 94 บาทและ 108 บาท ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอาหารผสม TMR ที่มีชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบก็สามารถใช้เลี้ยงโคนมในช่วงระยะต้นของการให้นมได้ดีเท่าๆ กับกลุ่มโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR ที่มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ ดังนั้นชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพจึงสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีประโยชน์ และเป็นแนวทางเลือกสำหรับกลุ่มผู้เลี้ยงโคนมในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้วที่ขาดแคลนพืชอาหารสัตว์สด ของทุกๆ ปี

ตารางที่ 5.9 แสดงการได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) (กรัมต่อตัวต่อวัน) ของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR

	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	**กลุ่มทดลองที่ 2**[2/]
โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP)[3/]	841	910
โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (UDP)[4/]	777	875
การกินได้พลังงาน ME	111	121
RDP/ME	7.5	7.5

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

[3/], [4/]ภาคผนวก ก

ตารางที่ 5.10 การจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ (MJ/วัน)[3/]

	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มทดลองที่ 2[2/]
การกินได้พลังงานใช้ประโยชน์	111	121
พลังงานใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ	49	47
พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม	44	52
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว	-0.7	1.4
พลังงานสุทธิที่สะสม	43.3	53.4
พลังงานใช้ประโยชน์ (กินได้-ดำรงชีวิต)	62	74
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อผลผลิต	0.70	0.72

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

[3/] ภาคผนวก ก

ตารางที่ 5.11 แสดงความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) (กรัมต่อตัวต่อวัน) ของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบผสม TMR[3/]

	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มทดลองที่ 2[2/]
ความต้องการ RDP	930	1014
RDP ที่ได้รับจากอาหาร	841	877
ขาด/เกิน	-89	-104
โปรตีนที่ได้จากจุลินทรีย์โปรตีน	506	552
ความต้องการโปรตีนทั้งหมด	732	797
โปรตีนที่ต้องการจาก UDP	226	245
เทียบเท่า UDP จากอาหาร	430	467
UDP ที่ได้รับจากอาหาร	777	875
ขาด/เกิน	+347	+408

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

[3/] ภาคผนวก ก

ตารางที่ 5.12 ผลตอบแทนทางการเงิน (บาทต่อตัวต่อวัน)

	กลุ่มทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มทดลองที่ 2[2/]
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์[3/]	13.7	16.4
รายได้จากน้ำนม	154	185
รายจ่ายอาหารผสม TMR[4/]	60	77
ผลตอบแทน	94	108

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

[3/]11.25บาทต่อกิโลกรัมน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์

[4/]ภาคผนวก ก

5.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสม TMR ที่ใช้เลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม คือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มทดลองที่ 2 มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ คุณค่าทางอาหารโดยรวมของทั้งสองกลุ่มทดลองมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้งเปอร์เซ็นต์โปรตีนและเปอร์เซ็นต์ไขมัน แต่จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์เถ้า กลุ่มทดลองที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์เถ้าสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 เพราะว่าเป็นอาหารผสมชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบ เนื่องจากอาจมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ตกค้างอยู่ (Wanapat et al., 1988) ส่วนองค์ประกอบพวก CF, NDF และ ADF ในกลุ่มทดลองที่สองจะมีค่าสูงกว่าในกลุ่มทดลองที่ 1 เพราะว่าชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพมีองค์ประกอบพวก CF, NDF และ ADF อยู่ในปริมาณที่สูงกว่าต้นข้าวโพดสด (40.2 vs 24.7, 75.8 vs 59.0 และ 52.0 vs 26.6) (Suksombat, 1999b)

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสม TMR ทั้งสองกลุ่มทดลอง ที่ใช้เลี้ยงโคนมที่ให้นมในช่วง 14-16 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์โปรตีน จะต่ำกว่าที่ NRC (1988) กำหนดไว้คือ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปอร์เซ็นต์ CF, เปอร์เซ็นต์ NDF และเปอร์เซ็นต์ ADF ที่มีอยู่ในอาหารผสมจะสูงกว่าที่ NRC (1988) กำหนดไว้ คือ 17, 28 และ 21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปริมาณการกินได้โดยอิสระของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบผสม TMR รวมทั้งการกินได้โภชนะต่างๆ คือ การกินได้โปรตีน, การกินได้ CF, การกินได้ NDF, การกินได้ ADF และการกินได้พลังงาน ME ด้วย ใกล้เคียงกัน แต่แนวโน้มของค่าตัวเลขที่ได้กลุ่มทดลองที่สองสูงกว่ากลุ่มทดลองที่หนึ่ง และปริมาณการกินได้โดยอิสระของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบผสม TMR และการกินได้

พลังงาน ME ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของ Suksombat (1998c) ที่ศึกษาโดยใช้ต้นข้าวโพดสด และอาหารหยาบอัดก้อนที่มีชานอ้อยและฟางข้าวเป็นองค์ประกอบ เป็นอาหารโคนมในช่วงระยะกลางการให้นม ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง (11.1 และ 11.4 กก.วัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน vs 15.8 และ 15.3 กก.วัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน) การกินได้พลังงาน ME (111 และ 121 MJME ต่อตัวต่อวัน vs 156 และ 152 MJME ต่อตัวต่อวัน) ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่การกินได้อิสระและการกินได้พลังงาน ME ต่ำกว่านั้น อาจเป็นเพราะว่า ในการทดลองอาหารผสม TMR ให้โคนมกินอาหารตามความต้องการ เพียงเพื่อให้สามารถผลิตน้ำนมได้ แต่การทดลองของ Suksombat (1998c) ให้โคนมกินอาหารข้น แล้วให้อาหารหยาบกินเต็มที่ จึงทำให้การกินได้สูงกว่า นอกจากนี้การย่อยได้ของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR ทั้งสองกลุ่มทดลองที่ศึกษาทั้งแบบ Total collection และวิธีใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักก็ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าอาหารผสม TMR มีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดใกล้เคียงกัน (TDN) จึงทำให้การย่อยได้ใกล้เคียงกัน ยกเว้นสัมประสิทธิ์การย่อยได้ CF, NDF และ ADF จะเห็นว่ากลุ่มทดลองที่ 2 สามารถย่อยได้ดีกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 อาจเป็นผลมาจากในอาหารหยาบผสม TMR ของกลุ่มทดลองที่ 2 มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว ซึ่งสามารถย่อยสลาย CF, NDF และ ADF ได้สูง

ในส่วนของผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนมต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างโคนมทั้งสองกลุ่มทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Suksombat (1999b, c) ที่ศึกษาการใช้ต้นข้าวโพดสดและอาหารหยาบผสมที่มีชานอ้อยเป็นส่วนประกอบเป็นอาหารในโคนมระยะกลางของการให้นม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าปริมาณการกินได้อาหารผสม TMR ของโคนมทั้งสองกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกัน แต่จากค่าตัวเลขที่ได้พบว่าในโคนมกลุ่มทดลองที่ 2 สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 ทั้งปริมาณน้ำนมและโปรตีนในน้ำนม อาจเป็นผลต่อเนื่องจากตัวเลขการกินได้รวมทั้งการย่อยได้สูงกว่าด้วย

ส่วนปริมาณไขมัน และปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มทดลองที่ 2 สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อาจเป็นเพราะว่าในอาหารผสม TMR ของกลุ่มทดลองที่ 2 มีองค์ประกอบของไขมันสูงกว่า (2.93 vs 2.63 เปอร์เซ็นต์) โดยปกติแล้วไขมันในน้ำนมสังเคราะห์โดยตรงมาจากไขมันที่โคได้รับจากอาหารและไขมันที่เก็บไว้ที่เนื้อเยื่อไขมัน (Holmes and Wilson, 1987, quoted in Suksombat, 1998a)

การกินได้ RDP และ UDP โคนมทั้งสองกลุ่มทดลองได้รับ RDP ไม่เพียงพอต่อความต้องการ เนื่องจากความต้องการ RDP ขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างขบวนการหมักย่อย Dietary organic matter ในกระเพาะหมัก (Suksombat, 1996) ซึ่งการกินได้พลังงาน ME ของทั้งสองกลุ่มทดลองค่อนข้างต่ำ (111 และ 121 MJ) การเพิ่ม RDP ในอาหาร โดยการประกอบสูตร

อาหารให้มีค่า dg สูงขึ้น ซึ่งแหล่งโปรตีนที่มี dg สูงคือ ยูเรีย ดังนั้นถ้าเพิ่มยูเรียในสูตรอาหารอีกเพียงเล็กน้อยจะทำให้ dg ของอาหารเพิ่มขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงความเป็นพิษของยูเรียด้วย ถ้าหากใส่มากเกินไป โดยปกติจะใช้ยูเรียไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์

ผลตอบแทนทางด้านการเงิน โคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR ที่มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบให้ผลตอบแทนทางการเงินเท่ากับ 94 บาทต่อตัวต่อวัน ส่วนโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR ที่มีชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบให้ผลตอบแทนทางการเงินเท่ากับ 108 บาทต่อตัวต่อวัน ดังนั้นชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพจึงสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีประโยชน์ สามารถใช้เลี้ยงโคนมในช่วงระยะต้นของการให้นมได้ดี และเป็นทางเลือกอีกหนึ่งทางสำหรับกลุ่มผู้เลี้ยงโคนมในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งของทุกๆ ปี ที่ขาดแคลนพืชอาหารสัตว์สด

5.7 สรุป

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสม TMR ที่ใช้เลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม คือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มทดลองที่ 2 มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ คุณค่าทางอาหารโดยรวมของทั้งสองกลุ่มทดลองมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน ไขมัน พลังงานรวม GE ยกเว้นส่วนองค์ประกอบพวก CF, NDF และ ADF ในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ

ปริมาณการกินได้โดยอิสระของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR รวมทั้งการกินได้โภชนะต่างๆ คือ การกินได้โปรตีน, การกินได้ CF, การกินได้ NDF, การกินได้ ADF และการกินได้พลังงาน ME ด้วย มีค่าใกล้เคียงกัน

การย่อยได้โภชนะต่างๆ ของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบผสม TMR ทั้งสองกลุ่มทดลองส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้นการย่อยได้ CF, NDF และ ADF ซึ่งกลุ่มทดลองที่ 2 สามารถย่อยได้สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ในส่วนของผลผลิตน้ำนม ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างโคนมทั้งสองกลุ่มทดลอง ยกเว้นปริมาณไขมัน ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็งรวมในนม กลุ่มทดลองที่ 2 สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (

ผลตอบแทนทางการเงิน โคนมทั้งสองกลุ่มทดลองให้ผลตอบแทนทางการเงินใกล้เคียงกัน และอาหารผสม TMR ที่มีชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ สามารถใช้เลี้ยงโคนมในช่วงระยะต้นของการให้นมได้ดีเท่าๆ กับโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR ที่มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ ดังนั้นชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพจึงสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีประโยชน์ และเป็นแนวทางเลือกสำหรับกลุ่มผู้เลี้ยงโคนมในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้วที่ขาดแคลนพืชอาหารสัตว์สดของทุกๆ ปี

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมี เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งของโคนมโดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายของชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพ ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการต่างๆ ทางเคมี และ ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพและอาหารหยาบสดต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม พบว่า

1. องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยก่อนการปรับปรุงคุณภาพ จะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมัน ค่อนข้างต่ำมาก (1.4 เปอร์เซ็นต์ และ 0.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่มีองค์ประกอบพวก CF, NDF และ ADF อยู่สูง (41.7 เปอร์เซ็นต์, 87.6 เปอร์เซ็นต์ และ 54.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนการย่อยสลายได้ของชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพก็ค่อนข้างต่ำเช่นกัน

2. องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังจากปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนจะสูงในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วยยูเรีย แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันจะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเปอร์เซ็นต์ CF, NDF และ ADF จะต่ำในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนการย่อยสลายได้ จะสูงที่สุดในกลุ่มทดลองที่ปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย ได้แก่ การปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีการย่อยสลายได้สูงที่สุด

3. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสม TMR ที่ใช้เลี้ยงโคนมทดลองระยะต้นของการให้นม คือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ และกลุ่มทดลองที่ 2 มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ คุณค่าทางอาหารโดยรวมของทั้งสองกลุ่มทดลองมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน เช่น โปรตีน ไขมัน พลังงานรวม GE ยกเว้นองค์ประกอบพวก CF, NDF และ ADF สูงกว่าในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ (18.34 vs 23.18, 44.15 vs 49.54, 21.33 vs 28.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

3.1 ปริมาณการกินได้โดยอิสระของโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR ของทั้งโคนมทั้งสองกลุ่ม คือ 11.1 และ 11.4 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันและการกินได้พลังงาน ME เท่ากับ 111 และ 121 MJME ต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ สำหรับการย่อยได้โภชนะต่างๆ ของโคนมแบบ Total collection ที่ได้รับอาหารหยาบผสม TMR ทั้งสองกลุ่ม ทดลองส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ยกเว้นการย่อยได้ CF, NDF และ ADF ซึ่งกลุ่มทดลองที่มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ สามารถย่อยได้สูงกว่ากลุ่มทดลองที่มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (56.15 vs 72.78 เปอร์เซ็นต์, 65.60 vs 74.98 เปอร์เซ็นต์, 48.25 vs 65.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

3.2 ในส่วนของผลผลิตน้ำนม ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างโคนมทั้งสองกลุ่มทดลอง ยกเว้นปริมาณไขมัน ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็งรวมในนม กลุ่มทดลองที่มีชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ สูงกว่ากลุ่มทดลองที่มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (529 vs 670 กรัมต่อตัวต่อวัน, 13.7 vs 16.4 กก.ต่อตัวต่อวัน, 1,759 vs 2,109 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ)

3.3 ผลตอบแทนทางการเงิน โคนมทั้งสองกลุ่มทดลองให้ผลตอบแทนทางการเงินใกล้เคียงกัน (94 และ 108 บาท ตามลำดับ) และอาหารผสม TMR ที่มีชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ สามารถใช้เลี้ยงโคนมในช่วงระยะต้นของการให้นมได้ดีเท่าๆ กับโคนมที่ได้รับอาหารผสม TMR ที่มีต้นข้าวโพดสดเป็นแหล่งอาหารหยาบ ดังนั้นชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพจึงสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีประโยชน์และเป็นแนวทางเลือกสำหรับกลุ่มผู้เลี้ยงโคนมในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งที่ขาดแคลนพืชอาหารสัตว์สด ของทุกๆ ปี

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยโดยวิธีการทางเคมี เพื่อทดแทนการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งของโคนมโดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายของชานอ้อยก่อนปรับปรุงคุณภาพ ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการต่างๆ ทางเคมี และศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพและอาหารหยาบสดต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นม

เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยที่เลือก คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถทำให้ชานอ้อยมีการย่อยสลายได้สูงที่สุดในการทดลอง และการที่จะนำใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างแก่ ไปใช้ต่อไป จึงมีข้อควรพิจารณาดังนี้ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเคมีที่มีราคาค่อนข้างแพง และอาจเป็นอันตรายต่อผิวหนังถ้าใช้อย่างไม่ระมัดระวัง เพราะฉะนั้นในการใช้ควรที่จะใส่ถุงมือยางเพื่อป้องกันอันตรายดังกล่าว นอกจากนี้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อนำไปเป็นอาหารโคนมก็ยังทำให้โคกินได้ในปริมาณที่น้อยกว่าอาหารหยาบสด เช่น หญ้า หรือต้นข้าวโพดสด เนื่องด้วยผลมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์

สำหรับข้อแนะนำในการทำการวิจัยในครั้งนี้ ที่ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพและอาหารหยาบสดต่อผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะต้นของการให้นมนั้น ได้ให้อาหารโคนมแบบเป็นกลุ่ม (Group feeding) ดังนั้นจึงเกิดปัญหาเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลการกินได้ของโคนม เนื่องจากไม่สามารถเก็บเป็นรายตัวได้เพราะให้อาหารเป็นกลุ่ม และเหตุผลที่ทำให้การทำวิจัยนี้เลี้ยงโคนมเป็นกลุ่ม เพราะว่าขาดเงินทุนในการสร้างคอกขังเดี่ยว

จากการทดลองนำใช้ชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ไปใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสดสำหรับโคนม ผลคือชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วสามารถใช้ทดแทนอาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด) ได้ แต่ต้นทุนการผลิตในการทดลองค่อนข้างสูง และสำหรับการนำชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วไปใช้เป็นอาหารสำหรับโคนมต่อไปนั้น มีข้อเสนอแนะ คือ ควรจะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วไปทำเป็นอาหารหยาบผสม (Roughage mixed ration) เพื่อลดต้นทุนในการผลิต คือ การเสริมวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่นๆ ที่มีราคาถูกแต่มีโภชนะเพียงพอ เช่น กากมัน กากเบียร์ มันเส้น เป็นต้น ในการหมักรวม เพื่อเป็นแหล่งอาหารหยาบในการให้ ทดแทนอาหารหยาบสดในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้ควรศึกษาในรูปของอาหารหยาบหมักรวมในรูป TMR ด้วย ซึ่งใช้อาหารในรูป TMR ในโคนมจะมีข้อดี คือ สามารถลดแรงงานและสะดวกในการจัดการด้านการให้อาหาร โดยเฉพาะในฟาร์มที่มีโคนมจำนวนมาก

นอกจากผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ได้ศึกษากันอยู่ เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น ยังมีผลพลอยได้ทางการเกษตรอื่นๆ ที่น่าสนใจอีก เช่น เปลือกข้าวโพดและซังข้าวโพด โดยอาจนำมาทำเป็นอาหารหยาบหมัก เสริมวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่นๆ เพื่อให้มีคุณค่าทางอาหารเพียงพอที่จะนำไปเป็นแนวทางเลือกของแหล่งอาหารหยาบ สำหรับโคนม ของกลุ่มผู้เลี้ยงโคนมต่อไป

รายการอ้างอิง

เกษตร วิทยานุภาพยืนยง และพิเชฐ ศักดิ์พิทักษ์กุล. (2531). **คู่มือการเลี้ยงโคนม**. จำนวน 2000 เล่ม. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย: กรุงเทพฯ.

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

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2541). **โภชนะศาสตร์สัตว์**. จำนวน 1200 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 6. ธนบรรณการพิมพ์: เชียงใหม่.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ, ฉันทนา น่วมนวล, และไกรสิทธิ วสุเพ็ญ. (2541). **การทำนายคุณค่าทางอาหารของฟางข้าว หญ้ารูซี่ และใบกระถิน ที่นิยมใช้เลี้ยงโคนมด้วยวิธีใช้ถุงไนล่อน**. ผลงานวิจัยการหาความต้องการโภชนะของโคนมไทย. 1: 1-15.

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). **โภชนะศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดฟันนี่พับบลิชชิ่ง.

วิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ และ ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. (2534). **การผลิตโคนม**. จำนวน 2000 เล่ม. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ.

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

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2538). **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาโภชนะศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง**. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุเมธ ประทุมสุวรรณ. (2540). คุณภาพน้ำนมดิบสู่โรงงาน. **วารสารโคนม**. 16: 55-60.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2541). การใช้ประโยชน์ของกากอ้อย. **วารสารน้ำตาล**. 34(3): 4-22.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2541) สถานการณ์การผลิตอ้อยและน้ำตาลทรายของไทยและของโลก. **วารสารน้ำตาล**. 34(4): 1-7.

AFRC. (1992). **Energy and Protein Requirements of Ruminants**. AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. Centre for Agricultural Bioscience International.

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

Agricultural Research Council. (1984). **The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock**. (Supplement) Commonwealth Agricultural Bureaux. The Gresham Press, Surrey. 45 p.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1990). **Official Methods of Analysis**. 15th Ed. AOAC. Virginia, USA. 1298 p.

Badve, V.C., Nisal,P.R., Joshi, A.L., and Rangnekar, D.V. (1987). **Studies on the use of lignocellulose degrading fungi to improbe the nutritive value of sugar cane bagasse and sorghum straw**. In:Proceedings of the international workshop on biological, chemical and physical treatment of fibrous crop residues for use as animal feed, indian council of agriculral research, Krishi Bhavan, New Delhi, India. pp.112-125.

Blackburn, F. (1984). **Sugar –cane**. Longnan London and New York. pp. 414.

Bruckental, I., Holtzman, M., Kaim, M., Aharomi, Y., Zamwell, S., Voet, H., and Arieli, A. (2000). Effect of mount of undegradable crude protein in the diets of high-yielding dairy cows energy balance and reproduction. **Livestock Production Science**. 63: 131-140.

Cabello, A.B. (1994). **Sugar cane by-products for animal feeding. Research and fevelopment results at the cuban research institute of sugar cane by-products (ICIDCA)**. In:Utilisation of sugar cane by-products for animal feeding. International society of sugar cane technologist. pp.14-27.

Capper, M.S., Morgan, D.J., and Parr, W.H. (1977). Alkali-treated roughages for feeding ruminants: a review. **Tropical Science**. 19: 73-88.

Chesson, A, and Orskov, E.R. (1984). **Microbial degradation in the digestive tract**. In:Straw and other fibrous by-products as feeds. Edition by F. Sunstol and E. Owen. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo. pp.140-144.

Choung, C.C., and McManus, W.R. (1976). Studies on forage cell walls. 3. Effects of feeding alkali-treated rice hulls to sheep. **Journal of Agricultural Science (Cambridge)**. 86: 517-530.

Clark, J.H., and Davis, C.L. (1980). Some aspects to feeding high producting dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 63: 873-885.

Devendra, C. (1979). The digestibility of chemically treated bagasse in molasses based diets for sheep and goats. **MARD research bulletin**. 7:103-115.

Devendra, C. (1981). **Non-conventional feed resources and fibrous agricaltural residues**. Strategies for Expanded Utilization. International Development Research Centre Indian Corncil of Agricultural Research. 194 p.

Djajanegara, A., Doyle, P.T., and Molina, B.T. (1985). **Fibre digestion and mineral balances in sheep fed calcium hydroxide-treated wheat straw**. In:The utilisation of fibrous agricultural residues as animal feeds. Edited by P.T. Doyle. Proceedings of the 4th annual workshop of the Australian-Asia fibrous agricaltural residues research network. Khonkaen. Thailand. pp. 94-102.

Doyle, P.T., Devedra, C., and Pearce, G.R. (1986). **Rice straw as a feed for ruminants**. International development programme of Australian Universities and Colleges. Canberra. Australia. 117p.

Edwards, J.S, Bartley, E.E., and Dayton, A.D. (1980). Effects to dietary protein concentration on lactating cows. **Journal of Dairy Science**. 63: 243-248.

Feist, W.C., Baker, A.J., and Tarkow, H. (1970). Alkali requirements for improving the digestibility of hardwoods by rumen micro-organisms. **Journal of Animal Science**. 30: 832-835.

Foldager, J., and Huber, J.T. (1979). Influence of protein percent and source on cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**. 62: 954-964.

Georing, H.K., and Van Soest, P.J. (1970). **Forage Fiber Analysis**. Agricultural Handbook, Agricultural Research Council. Jacket No. 379. Washington, D.C. USDA.

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.

Holden, A.L., Muller, L.D., Lykos, T., and Cassidy, W.T. (1995). Effect of corn silage supplementation on intake and milk production in cows grazing grass pasture. **Journal of Dairy Science**. 78: 154-160.

Huber, J.T., and Kung Limin, JR. (1981). Protein and nonprotein nitrogen utilization in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. 64: 1170-1195.

Ibrahim, M.N.M. (1981). **Physical, physico-chemical and biological treatments of crop residues**. Coconut Research Institute, Lunuwila, Sri Lanka. pp. 53-68.

Ibrahim, M.N.M., and Pearce, G.R. (1980). Effects of gamma irradiation on the composition and. *In vitro* digestibility of crop byproducts. **Agricultural Wastes**. 2: 253-259.

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

Ibrahim, M.N.M., and Pearce, G.R. (1993). Effects of white rot fungi on the composition and *in vitro* digestibility of crop byproducts. **Agricultural Wastes**. 2: 253-259.

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

Klopfenstein, T. (1978). Chemical treatment of crop residues. **Journal of Animal Science**. 46: 841-848.

Kolver, S.E., and Muller, L.D. (1998). Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. **Journal of Dairy Science**. 81: 1403-1411.

Leathewood, J.M., Mochzie, R.D., and Thomas, N.E. (1960). Some effects of a supplementary cellulose preparation on feed utilization by ruminants. **Journal of Dairy Science**. 43: 1460-1464.

Lindberg, J.E. (1985). Estimation of rumen degradability of feed proteins with the in sacco technique and various in vitro methods. A review. **Acta Agriculturae Scandinavica. Supplement**. 25: 64-97.

Maclcod, G.K., and Wood, A.S. (1972). Influenec of amount and degree of saturation of dietary fat on yield and quality of milk. **Journal of Dairy Science**. 55: 439.

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

Ololade, B.C., and Mowat, D.N. (1975). Influence of whole-plant barley reconstituted with sodium hydroxide on digestibility, rumen fluid and plasma metabolism of sheep. **Journal of Animal Science**. 40: 351-357.

∅rskov, E.R. (1995). โปรแกรมสำเร็จรูป NEWWAY EXCEL.

∅rskov, E.R., and McDonald, I. (1978). The estimate of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage**. Journal of Agricultural Science, (Cambridge)**. 92: 499-503.

Palmquist, D.L. and Maltos, W. (1978). Thurnover of lippoproteins are transfer of milk fat of dietary (1-carbon-14) linoleic in lactating cows. **Journal of Dairy Science** . 61: 561-565.

Piatkowski, B., Bolduan, G., Zwierz, P., and Lengerken, J.V. (1974a). Untersuchungen zum Aufschluss von Getreidstroh. 4. Beziehungen zwischen der NaOH-Konzentration im behandelten Stroh, dem Saurefallbaaren Ligninanteil und der Verdaulichkeit in vivo und in bitro, Arch, **Tierernah**r. 24: 513-522.

Ralston, A.T., Church, D.C., and Oldfield, J.F. (1962). Effect of enzymes on digestibility of low quality roughage. **Journal of Animal Science**. 21: 306-308.

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

Rangnekar, D.V., Badve, V.C., Kharat, S.T., Soble, B.N., and Joshi, A.L. (1982). Effect of high pressure steam treatment on chemical composition and digestibility *in vitro* of roughages. **Animal Feed Science and Technology**. 7:61-70.

Rexen, F., and Thomsen, K.V. (1976). The effect on digestibility of a new technique for alkali treatment of straw. **Animal Feed Science and Technology**. 1: 73-83.

Roffler, R.E., Satter, L.D., Hardee, A.R., and Tyler, W.J. (1978). Influence of dietary protein concentration on milk product by dairy cattle during early lactation. **Journal of Dairy Science**. 61: 1422.

SAS. (1985). **SAS User's Guide : Statistics**. Version 5 edition. Cary, NC : SAS institute Inc.

Schmidt, G.H., and Van Vleck, L.D. (1974). **Principles of Dairy Science**. W.H. Freeman and Co., San Francisco. 558 p.

Shem, M.N., Ørskov, E.R., and Kimanbo, A.E. (1995). Prediction of voluntary dry-matter intake, digestible dry-matter intake and growth rate of cattle from the degradation characteristics of tropical foods. **Journal of Animal Science**. 60: 65-74.

Shin, H.T., Garrigus, U.S., and Owens, F.N. (1975). Nylon bag studies of NaOH treated wheat straw. **Journal of Animal Science**. 41: 339 (abstract).

Spahr, S.L. (1977). Optimum rations for group feeding. **Journal of Dairy Science**. 60: 1337.

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

Suksombat, W. (1996). The effect four different roughage-mixed on dairy cow performance in late lactation. **Suranaree Journal of Technology**. 3(3):139-145.

Suksombat, W. (1998a). Effect of feeding fresh forage and 3 roughage-mixed rations on dairy cow performance in early lactation during rainy season. **Suranaree Journal of Technology**. 5(2): 80-87.

Suksombat, W. (1998b). Effect of feeding fresh forage and 3 roughage-mixed rations on dairy cow performance in mid lactation during rainy season. **Thai Journal of Agricultural Science**. 31(2): 224-234.

Suksombat, W. (1998c). Effect of feeding fresh forage and roughage-mixed rations on dairy cow performance in mid lactation: University's Farm. **Suranaree Journal of Technology**. 5(3): 179-187.

Suksombat, W. (1999a). Effect of feeding fresh forage and roughage-mixed rations on dairy cow performance in mid lactation: Farmer's Farm. **Suranaree Journal of Technology**. 6(2): 104-113.

Suksombat, W. (1999b). Effect of feeding fresh forage and 3 roughage-mixed rations on dairy cow performance in early lactation during dry season. **Suranaree Journal of Technology**. 6(3): 150-157.

Theander, O., and Aman, P. (1984). **Anatomical and chemical characteristics**. In:Straw and other fibrous by-products as feeds. Edition by F. Sunstol and E. Owen. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo. pp.45-78.

Thomas, J.W. (1971). Protein requirements of milking cows. Journal of Dairy Science. 54: 1629.

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

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

Whistler, R.K., and Teng, J. (1970)**. Cellulose chemistry.** In: K.W. Britt Editor. Handbook of Pulp and Paper Technology. Second editioin. Van Nostrand Reinhold Company. New York. Pp. 13-23.

ภาคผนวก ก

1. การศึกษาต้นทุนการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย

ก่อนทำการศึกษาต้นทุนการผลิตชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพ ต้องทำการบันทึกต้นทุนของบ่อคอนกรีตที่ใช้ในการหมักชานอ้อย เพื่อนำมาคำนวณหาค่าเสื่อมราคาของบ่อคอนกรีต

บ่อคอนกรีตที่ก่อสร้างขึ้นประกอบด้วย พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 เมตร ก่อคอนกรีต บล็อคแบ่งเป็น 3 บ่อย่อย ขนาด 4x4x1 เมตร^3 โดยทำการก่อคอนกรีตบล็อคเพียง 3 ด้านที่มุมด้านหนึ่งของพื้นคอนกรีต อีกด้านหนึ่งกันไว้เป็นพื้นที่สำหรับผสมคลุกเคล้าชานอ้อยกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนบรรจุลงบ่อคอนกรีต

รายการการลงทุนก่อสร้างบ่อคอนกรีตปรากฏในตารางที่ 1 ซึ่งมีเงินลงทุนรวมกันทั้งสิ้น 13590 บาท ต่อ 3 บ่อย่อย หรือเท่ากับ 4530 บาท ต่อบ่อคอนกรีต 1 บ่อ ถ้าประเมินอายุการใช้งานของบ่อคอนกรีตเป็น 10 ปี จะคิดเป็นค่าเสื่อมราคา 453 บาทต่อบ่อคอนกรีตต่อปี (52 สัปดาห์) แต่การใช้บ่อคอนกรีตในรอบ 1 ปี จะใช้เพียง 6 เดือน หรือ 26 สัปดาห์ ในช่วงฤดูแล้งเท่านั้น หรือค่าเสื่อมราคาบ่อคอนกรีตต่อ 26 สัปดาห์เท่ากับ 453 บาทต่อบ่อคอนกรีต

ในการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย จะต้องใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 7-14 วัน รวมทั้งการนำออกใช้จนกระทั่งหมดบ่อคอนกรีตคิดเป็นระยะเวลาเฉลี่ย 3 สัปดาห์ ดังนั้นคิดค่าเสื่อมราคาบ่อคอนกรีตต่อ 3 สัปดาห์ได้เท่ากับ 52.27 บาทต่อบ่อคอนกรีต

ในการใช้ผ้าพลาสติกคลุมปิดบ่อคอนกรีตแต่ละบ่อนั้นจะใช้ผ้าพลาสติกขนาด 5x5 เมตร^2 ราคาตารางเมตรละ 20 บาท รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 500 บาทต่อผืนผ้าพลาสติก ซึ่งผ้าพลาสติกนี้สามารถใช้ได้ถึง 10 ครั้ง คิดเป็นค่าเสื่อมต่อครั้งได้เท่ากับ 50 บาทต่อบ่อคอนกรีต สำหรับต้นทุนชานอ้อย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ยูเรีย และค่าแรงจ้างเหมาประเมินตามที่จ่ายจริง

ตารางที่ 1 ต้นทุนการก่อสร้างบ่อคอนกรีต

รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
1. คอนกรีตผสมสำเร็จรูปสำหรับเทพื้น	6 เมตร^3	1,200	7,200
2. Wiremesh	60 เมตร^2	20	1,200
3. คอนกรีตบล็อค	350 ก้อน	3	1,050
4. ปูนซีเมนต์	5 ถุง	100	500
5. ทรายหยาบ	2 เมตร^3	220	440
6. ค่าแรงเทพื้น	60 เมตร^2	30	1,800
7. ค่าแรงก่อคอนกรีตบล็อคพร้อมฉาบปูน	28 เมตร^2	50	1,400
รวม			13,590
ค่าเสื่อมราคาต่อ 26 สัปดาห์			453
ค่าเสื่อมราคาต่อ 3 สัปดาห์			52.27

ตารางที่ 2 ต้นทุนการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยโดยวิธีการต่างๆ ทางเคมี ต่อ 1 บ่อคอนกรีต ระยะเวลา 3 สัปดาห์

รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	กลุ่มทดลองที่[1/]								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. ชานอ้อย	4,364 กก.	0.25	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091
2.โซเดียมไฮดรอกไซด์	*	23	0	1,656	3312	0	0	1656	1656	3312	3312
3. ยูเรีย	*	6	0	0	0	432	864	432	864	432	864
4.ค่าแรงงานเหมา	1 หลุม	900	0	900	900	900	900	900	900	900	900
5. ค่าเสื่อมราคาบ่อคอนกรีต	1 หลุม	52.27	0	52.27	52.27	52.27	52.27	52.27	52.27	52.27	52.27
6. ค่าเสื่อมราคาพลาสติกปิดหลุม	1 หลุม	50	0	50	50	50	50	50	50	50	50
รวม			1,091	3,749.3	5,405.3	2,525.3	2,957.3	4,181.3	4,613.3	5,837.3	6,269.3
ต้นทุนต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (55 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)			0.25	0.86	1.24	0.58	0.78	0.96	1.06	1.34	1.44
ต้นทุนต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง			0.45	1.56	2.25	1.05	1.23	1.74	1.92	2.44	2.61

หมายเหตุ *ปริมาณสารเคมีตามกลุ่มทดลอง

[1/] กลุ่มทดลองที่ 1 –9 ดูได้ในตารางที่ 4.1

2. การคำนวณค่า dg หรือ effective protein degradability ของอาหารผสม TMR

การหาค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (DM) และโปรตีนในกระเพาะหมักโดยวิธีใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมัก ที่เวลา 0, 3, 6, 1, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง แล้วนำมาคำนวณอัตราการย่อยสลายโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWWAY EXCEL ซึ่งสามารถคำนวณได้ค่า a, b และ c และนำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสมการข้างล่าง ค่าที่คำนวณได้เรียกว่า Effective rumen degradability

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

เมื่อ dg = Effective protein degradability

k = Fractional outflow rate of digesta per hour = 0.046/hr. (∅rskov and McDonald, 1979)

กลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ ได้ค่าต่างๆ ดังนี้

วัตถุแห้ง (DM) ค่า a = 33.81, b = 54.18, c = 0.0215

ดังนั้น ค่า dg = [33.81+(54.18*0.0215)/(0.0215+0.046)]*100

= 0.51

โปรตีน ค่า a = 32.08, b = 43.86, c= 0.0395

ดังนั้น ค่า dg = [32.08+(43.86*0.0395)/(0.0395+0.046)]*100

= 0.52

กลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ ได้ค่าต่างๆ ดังนี้

วัตถุแห้ง (DM) ค่า a = 39.46, b = 57.87, c = 0.0208

ดังนั้น ค่า dg = [39.46+(57.87*0.0208)/(0.0208+0.046)]*100

= 0.57

โปรตีน ค่า a = 37.51, b = 56.01, c= 0.0146

ดังนั้น ค่า dg = [37.51+(56.01*0.0146)/(0.0146+0.046)]*100

= 0.51

3. การคำนวณการได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) ของอาหารผสม TMR

การที่จะทราบค่า RDP และ UDP จากอาหาร ต้องทราบค่าการย่อยสลายของโปรตีน (dg) ของอาหารชนิดนั้นก่อน แล้วนำมาคำนวณค่า RDP และ UDP ในสมการ ดังนี้

RDP = CP *dg และ UDP = CP-RDP

กลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ ได้ค่าต่างๆ ดังนี้

โคนมกลุ่มทดลองที่ 1 ได้กินอาหารผสม TMR วันละ 12.62 กิโลกรัมวัตถุแห้ง และอาหารผสม TMR ดังกล่าวมีโปรตีน 12.82 เปอร์เซ็นต์ ค่า dg = 0.52

ในอาหาร 1 kgDM มีโปรตีน = 128.2 กรัม ดังนั้น ในอาหาร 12.62 kgDM มีโปรตีน = 1618 กรัม

ดังนั้น RDP = 1618*0.52 = 841 กรัม/วัน

และ UDP = 1618-841 = 777 กรัม/วัน

กลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ ได้ค่าต่างๆ ดังนี้

โคนมกลุ่มทดลองที่ 2 ได้กินอาหารผสม TMR วันละ 12.97 กิโลกรัมวัตถุแห้ง และอาหารผสม TMR ดังกล่าวมีโปรตีน 13.76 เปอร์เซ็นต์ ค่า dg = 0.51

ในอาหาร 1 kgDM มีโปรตีน = 137.6 กรัม ดังนั้น ในอาหาร 12.97 kgDM มีโปรตีน = 1785 กรัม

ดังนั้น RDP = 1785*0.51 = 910 กรัม/วัน

และ UDP = 1785-910 = 875 กรัม/วัน

4. การคำนวณความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนม

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

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

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

NE_l (MJ/kg milk) = 0.0406 (Fat) + 1.509 (Tyrrell and Reid, 1965)

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

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

k_g (Growing ruminant) = 0.78q + 0.006 (AFRC, 1992)

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

ค่าของ q ในสมการข้างต้น คือ ค่าของ metabolisbility ซึ่งหมายถึงสัดส่วนของพลังงาน ME/GE ในอาหารสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่ง

$NP_R = NP_m + NP_g + NP_l$

และ $NP_m = 2.3g/kgLW^{0.75}$ (g/day)

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

NP_l = milk yield (kg/day) * milk protein content (g/kg milk)

RDP requirement = 8.38 ME intake (ARC, 1984)

$TP_{mp} = RDP_R*(0.80*0.85*0.80)$

$UDP_R = NP_R - TP_{mp}$

UDP_R จากอาหาร = $UDP_R/(0.70*0.75)$

ความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมกลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ

โคนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 447.5 กิโลกรัม (97.3 $kg^{0.75}$) ให้น้ำนมเฉลี่ย 14.5 กิโลกรัม น้ำนมมีไขมันเฉลี่ย 3.71 เปอร์เซ็นต์ โคนมมีน้ำหนักตัวลดลงวันละ 44 กรัม โคนมได้รับอาหารหยาบผสม TMR ที่มีต้นข้าวโพดสด เป็นแหล่งอาหารหยาบ ที่มี metabolisability (q) = 0.57 การกินได้พลังงาน ME(ME intake) = 111 MJ/day

จากสมการ

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

ค่า q = ME/GE = 0.82*DE/GE = (0.82*12.20)/17.54 = 0.57

$NE_m = 0.53(LW/1.08)^{0.67} + 0.0095LW$

$= 0.53(447.5/1.08)^{0.67} + 0.0095*447.5 = 30.05+4.25 = 34.3$ MJ/day

NE_g = 16 MJ/kg Loss

$NE_l = [(0.0406*37.1) + 1.508] * 14.5 = 43.72$ MJ/day

$k_m = 0.35*(0.57)+0.503 = 0.703$

k_g (lactating ruminants) $= 0.95*(0.620) = 0.589$

$k_l = 0.35*(0.57)+0.420 = 0.620$

ดังนั้น $ME_R = (34.3/0.703)+(16/0.589)+(43.72/0.620) = 48.83+27.16+70.56 = 147$ MJ/day

จากสมการ

$NP_R = NP_m + NP_g + NP_l$

$NP_m = 2.3*97.3 = 223.79$ g/day

NP_g = 112 g/kg Loss

$NP_l = 14.5*27.3 = 395.85$ g/day

ดังนั้น $NP_R = 223.78+112+395.85 = 732$ g/day

จากสมการ

RDP requirement = 8.38 ME intake = 8.38*111 = 930 g/day

$TP_{mp} = RDP_R*(0.80*0.85*0.80) = 930*0.80*0.85*0.80 = 506$ g/day

$UDP_R = NP_R - TP_{mp} = 732-506 = 226$ g/day

UDP_R จากอาหาร $= UDP_R/(0.70*0.75) = 430$ g/day

ความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ

โคนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 436.5 กิโลกรัม ($95.5\ kg^{0.75}$) ให้น้ำนมเฉลี่ย 15.9 กิโลกรัม น้ำนมมีไขมันเฉลี่ย 4.27 เปอร์เซ็นต์ โคนมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 75 กรัม โคนมได้รับอาหารหยาบผสม TMR ที่มีชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารหยาบ ที่มี metabolisability (q) = 0.62 การกินได้พลังงาน ME(ME intake) = 121 MJ/day

จากสมการ

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

ค่า q = ME/GE = 0.82*DE/GE = (0.82*12.94)/17.19 = 0.62

$NE_m = 0.53(LW/1.08)^{0.67} + 0.0095LW$

$= 0.53(436.5/1.08)^{0.67} + 0.0095*436.5 = 29.56+4.15 = 33.71$ MJ/day

NE_g = 19 MJ/kg Gain

$NE_l = [(0.0406*26.9) + 1.508] * 15.9 = 51.56$ MJ/day

$k_m = 0.35*(0.62)+0.503 = 0.719$

k_g (lactating ruminants) $= 0.95*(0.636) = 0.604$

$k_l = 0.35*(0.62)+0.420 = 0.636$

ดังนั้น $ME_R = (33.71/0.719)+(19/0.604)+(51.56/0.636) = 46.87+31.46+81.06 = 159$ MJ/day

จากสมการ

$NP_R = NP_m + NP_g + NP_l$

$NP_m = 2.3*95.5 = 219.64$ g/day

NP_g = 150 g/kg Gain

$NP_l = 15.9*26.9 = 427.71$ g/day

ดังนั้น $NP_R = 219.64+150+427.71 = 797$ g/day

จากสมการ

RDP requirement = 8.38 ME intake = 8.38*121 = 1014 g/day

$TP_{mp} = RDP_R*(0.80*0.85*0.80) = 1014*0.80*0.85*0.80 = 552$ g/day

$UDP_R = NP_R - TP_{mp} = 797-552 = 245$ g/day

UDP_R จากอาหาร $= UDP_R/(0.70*0.75) = 467$ g/day

5. คำนวณผลตอบแทนทางการเงิน (บาทต่อตัวต่อวัน) ของอาหารผสม TMR ทั้งสองกลุ่มทดลอง

	ราคาต่อ กก. (บาท)	กลุ่มทดลองที่ 1[2/]		กลุ่มทดลองที่ 2[2/]	
		จำนวน	ราคา	จำนวน	ราคา
คิดเป็น กิโลกรัมน้ำหนักสดต่อตัวต่อวัน					
อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)	0.5	23.5	11.75	-	-
ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 % NaOH	1.24	-	-	13.3	16.49
กากถั่วเหลือง	9.2	2.64	24.29	3.3	30.36
ข้าวโพดบด	5.0	4.09	20.45	4.54	22.7
กากน้ำตาล	3.0	-	-	1.25	3.75
ยูเรีย	6.0	-	-	0.1	0.6
แร่ธาตุ[3/]	16.0	0.2	3.2	0.2	3.2
รวม			**60**		**77**

หมายเหตุ [1/]กลุ่มทดลองที่ 1 คือ อาหารหยาบสด (ต้นข้าวโพดสด)

[2/]กลุ่มทดลองที่ 2 คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์

ภาคผนวก ข

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely random design, CRD)

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

เมื่อ X_{ij} คือ ค่าสังเกตแต่ละค่า

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตที่ j ในทรีตเมนต์ที่ i

α_i = ผลของทรีตเมนต์ที่ i

และ i = 1, 2, 3,…,k (ให้ k เป็นจำนวนทรีตเมนต์)

j = 1, 2, 3,…,n (ให้ n เป็นจำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีตเมนต์)

2. การทดลองแบบรวมกลุ่ม (Group comparision)

ในการทดลองการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มทำโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม คือ X_1-X_2 ซึ่งมีการประมาณความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร คือ ระหว่าง μ_1-μ_2 การตรวจสอบทำได้โดยใช้ T-TEST

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

ในการคำนวณ t นี้กำหนดว่าทั้งสองตัวแทนมีวาเรียนซ์เท่ากัน คือ s^2 และ df = 2(n-1)

ตารางภาคผนวกที่ 1 การวิเคราะห์วาเรียนซ์องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ (N = 4)

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
วัตถุแห้ง (DM)					
Treatment	8	266.472	33.309	20.68	0.0001
Error	27	43.496	1.611		
Total	35	309.968			
R^2 = 0.86	C.V. = 2.1				
เถ้า					
Treatment	8	496.363	62.045	24.54	0.0001
Error	27	68.267	2.528		
Total	35	564.629			
R^2 = 0.88	C.V. = 22.3				
โปรตีน					
Treatment	8	787.952	62.045	77.68	0.0001
Error	27	34.235	2.528		
Total	35	822.187			
R^2 = 0.96	C.V. = 17.67				
ไขมัน					
Treatment	8	3.673	0.459	10.09	0.0001
Error	27	1.229	0.046		
Total	35	4.902			
R^2 = 0.75	C.V. = 39.1				
CF					
Treatment	8	60.096	7.512	4.64	0.0012
Error	27	43.674	1.618		
Total	35	103.771			
R^2 = 0.58	C.V. = 3.1				

ตารางภาคผนวกที่ 1 ต่อ

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
NDF					
Treatment	8	1292.331	161.541	17.84	0.0001
Error	27	244.428	9.053		
Total	35	1536.759			
R^2 = 0.84	C.V. = 3.7				
ADF					
Treatment	8	209.837	26.230	13.67	0.0001
Error	27	51.817	1.919		
Total	35	261.654			
R^2 = 0.80	C.V. = 2.6				

ตารางภาคผนวกที่ 2 การวิเคราะห์วาเรียนซ์การย่อยสลายวัตถุแห้งของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ (N = 3)

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
วัตถุแห้ง 0 ชั่วโมง					
Model	8	508.484	63.560	21.90	0.0001
Error	18	52.248	2.903		
Total	26	560.732			
R^2 = 0.91	C.V. = 14.2				
วัตถุแห้ง 6 ชั่วโมง					
Model	8	694.393	86.799	35.03	0.0001
Error	18	44.596	2.478		
Total	26	738.990			
R^2 = 0.94	C.V. = 10.2				
วัตถุแห้ง 12 ชั่วโมง					
Model	8	501.404	62.676	9.83	0.0001
Error	18	114.773	6.376		
Total	26	616.177			
R^2 = 0.81	C.V. = 14.3				
วัตถุแห้ง 24 ชั่วโมง					
Model	8	999.632	124.954	9.81	0.0001
Error	18	229.376	12.743		
Total	26	1229.008			
R^2 = 0.81	C.V. = 13.9				
วัตถุแห้ง 48 ชั่วโมง					
Model	8	1470.583	183.823	8.28	0.0012
Error	18	399.692	22.205		
Total	26	1870.275			
R^2 = 0.79	C.V. = 12.0				

ตารางภาคผนวกที่ 2 ต่อ

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
วัตถุแห้ง 72 ชั่วโมง					
Model	8	1928.188	241.024	21.21	0.0001
Error	18	204.505	11.361		
Total	26	2132.693			
R^2 = 0.90	C.V. = 7.4				
วัตถุแห้ง 96 ชั่วโมง					
Model	8	2182.234	272.779	23.77	0.0001
Error	18	206.561	11.476		
Total	26	2388.796			
R^2 = 0.91	C.V. = 6.8				

ตารางภาคผนวกที่ 3 การวิเคราะห์วาเรียนซ์การย่อยสลาย CF, NDF และ ADF ในกระเพาะหมักของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมีต่างๆ (N = 4)

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
CF 48 ชั่วโมง					
Model	8	856.478	107.060	7.72	0.0001
Error	27	374.647	13.876		
Total	35	1231.125			
R^2 = 0.70	C.V. = 14.0				
CF 72 ชั่วโมง					
Model	8	1395.510	174.439	8.57	0.0001
Error	27	549.381	20.347		
Total	35	1944.891			
R^2 = 0.72	C.V. = 12.8				
NDF 48 ชั่วโมง					
Model	8	866.790	108.349	8.40	0.0001
Error	27	348.332	12.901		
Total	35	1215.123			
R^2 = 0.71	C.V. = 12.4				
NDF 72 ชั่วโมง					
Model	8	1165.589	145.699	6.46	0.0001
Error	27	609.410	22.571		
Total	35	1774.998			
R^2 = 0.66	C.V. = 13.3				
ADF 48 ชั่วโมง					
Model	8	1114.995	139.374	10.29	0.0001
Error	27	365.761	13.547		
Total	35	1480.756			
R^2 = 0.75	C.V. = 12.7				

ตารางภาคผนวกที่ 3 ต่อ

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
ADF 72 ชั่วโมง					
Model	8	1653.973	206.747	7.86	0.0001
Error	27	709.807	26.289		
Total	35	2363.780			
$R^2 = 0.70$	C.V. = 14.1				

ประวัติผู้เขียน

นางสาวคู่ขวัญ จุลละนันทน์ เกิดเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2519 จังหวัดชัยภูมิ เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2540 และได้ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2541