



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตอาหารรวมที่มีประสิทธิภาพจากขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว  
และแนวทางประเมินความต้องการโภชนาการของโคนม  
(Efficient Total Mixed Ration Production from Treated Bagasse and  
Evaluation of Nutrient Requirement of Dairy Cattle in Thailand)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตอาหารรวมที่มีประสิทธิภาพจากขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว  
และแนวทางประเมินความต้องการโภชนาของโคนม  
(Efficient Total Mixed Ration Production from Treated Bagasse and  
Evaluation of Nutrient Requirement of Dairy Cattle in Thailand)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นางสาวนวลปรานค์ อุทัยดา

นายสุวิทย์ เพ็ญสังกะ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย  
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2544

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มีนโยบายสนับสนุนให้บุคลากรมีโอกาทำงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งมีสิ่งอำนวยความสะดวกที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยอย่างเพียงพอสำหรับงบประมาณการวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) จึงขอขอบพระคุณไว้ในโอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญล้อม ชีวะอิสระกุล พร้อมทั้งทีมงานวิจัยและนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการจัดให้มีการประชุมเชิงปฏิบัติการหรือแนวทางการวิจัย รวมทั้งรายละเอียดในการทำวิจัยในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พีรเดช ทองอำไพ ผู้อำนวยการฝ่าย 2 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการ (รองศาสตราจารย์ ดร. วรพจน์ ขำพิศ) ตลอดจนบุคลากรของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในการอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ นางสาว รัชนิกร มูลปา นายเกียรติศักดิ์ ศรีพันธุ์บุตร และ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในการให้ความร่วมมือในการทำวิจัย และการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จนกระทั่งงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดียิ่ง

คณะผู้วิจัย

14 กันยายน 2544

## บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้เพื่อที่จะประเมินความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมที่ให้นมปานกลางที่ได้รับชานอ้อยและฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพเป็นอาหารหยาบหลัก เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์จึงได้ทำการทดลองทั้งสิ้น 6 การทดลองเป็นระยะเวลา 2 ปี ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การทดลองแรก (บทที่ 4) ได้ดำเนินการเพื่อที่จะวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยและฟางข้าวที่ยังไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ตัวอย่างชนิดละ 9 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์พบว่าชานอ้อยและฟางข้าวเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีคุณค่าทางอาหารต่ำ กล่าวคือมีโปรตีน ไขมัน และการย่อยสลายได้ต่ำ แต่กลับมีเยื่อใยอยู่สูง การทดลองนี้ยังได้ให้ค่าประเมินพลังงาน รวมทั้งสมการในการทำนาย DMI และ DDMI จากค่าการย่อยสลาย

การทดลองที่ 2 (บทที่ 5) ได้ดำเนินการเพื่อประเมินผลของการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยและฟางข้าวด้วยวิธีการทางเคมีต่างๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมัก กลุ่มการทดลองประกอบด้วย untreated control; 3% NaOH treatment; 6% NaOH treatment; 3% urea treatment; 6% urea treatment; 3% NaOH + 3% urea treatment; 3% NaOH + 6% urea treatment; 6% NaOH + 3% urea treatment; 6% NaOH + 6% urea treatment ผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าเพิ่มขึ้นในกลุ่มการทดลองที่ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยเฉพาะกลุ่มที่ใช้ NaOH เปอร์เซ็นต์โปรตีนเพิ่มขึ้นในกลุ่มการทดลองที่ใช้ยูเรีย อย่างไรก็ตามการใช้ NaOH เพียงอย่างเดียวไม่เพิ่มเปอร์เซ็นต์โปรตีน การย่อยสลาย DM และ CF เพิ่มขึ้นในกลุ่มการทดลองที่ใช้ NaOH หรือใช้ NaOH ร่วมกับยูเรีย ในกรณีของชานอ้อยการใช้ยูเรียเพียงอย่างเดียวไม่เพิ่มการย่อยสลายในกระเพาะหมัก แต่ถ้าใส่เมล็ดถั่วเหลืองดิบบด ซึ่งมีเอนไซม์ยูเรียส่วมด้วย จะสามารถเพิ่มการย่อยสลายวัตถุแห้งของชานอ้อยได้

การทดลองที่ 3 (บทที่ 6) ได้ดำเนินการเพื่อการกินได้และการย่อยได้ของผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการทางเคมีต่างๆ ด้วยวิธี regression การทดลองเริ่มแรกใช้โคที่ไม่ได้ให้นมสายพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียนจำนวน 12 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มการกลุ่มละ 4 ตัว ตามอายุและน้ำหนักตัว โคทั้ง 3 กลุ่มจะได้รับฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพด้วย 6%NaOH เป็นสัดส่วนกับกากถั่วเหลือง 3 ระดับ ดังนี้ 85/25, 75/25 และ 65/35 เปอร์เซนต์วัตถุแห้ง ผลการทดลองพบว่า การย่อยได้โปรตีนเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของกากถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ regression พบว่าค่า intercept ของกากถั่วเหลืองที่ได้สามารถนำไปประมาณค่าการย่อยได้ของผลพลอยได้ทางการเกษตรอื่นๆ ในการทดลองนี้ได้เป็นอย่างดี

บทที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของชานอ้อย/ฟางข้าวที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพกับชานอ้อย/ฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว ทั้งที่หมักในถุงและที่หมักในบ่อคอนกรีต การปรับปรุงคุณภาพทั้งที่ทำในถุงและทำในบ่อคอนกรีตล้วนเพิ่มคุณค่าทางอาหารของชานอ้อย/ฟางข้าว

บทที่ 8 เปรียบเทียบต้นทุนในการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยและฟางข้าว ด้วยเหตุที่ฟางข้าวนั้นทำการปรับปรุงด้วยยูเรียในขณะที่ชานอ้อยทำการปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH ซึ่งมีราคาแพงกว่า จึงทำให้ต้นทุนการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อยสูงกว่าการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าว

การทดลองสุดท้าย (บทที่ 9) ได้ดำเนินการเพื่อประเมินผลของการให้โครีดนมได้รับพลังงานและโปรตีนต่างระดับกันต่อผลผลิตของโคนม การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 4 การทดลองย่อย แต่ละการทดลองย่อยใช้โครีดนมที่ให้นมปานกลางจำนวน 24 ตัว (กลุ่มการทดลองละ 6 ตัว) การทดลองที่ 1 และ 2 ใช้ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6%NaOH เป็นอาหารหยาบหลักร่วมกับกากถั่วเหลืองและข้าวโพดบด ในขณะที่การทดลองย่อยที่ 3 และ 4 ใช้ฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพด้วย 5% urea เป็นอาหารหยาบหลักร่วมกับกากถั่วเหลืองและข้าวโพดบด กลุ่มการทดลองในการทดลองย่อยที่ 1 และที่ 3 ประกอบด้วยระดับพลังงานและโปรตีนที่ 0.9 และ 0.9, 0.9 และ 1.0, 1.0 และ 0.9, 1.0 และ 1.0 ของที่ NRC (1988) กำหนด ตามลำดับ ส่วนการทดลองย่อยที่ 2 และที่ 4 ประกอบด้วยระดับพลังงานและโปรตีนที่ 1.0 และ 1.0, 1.0 และ 1.1, 1.1 และ 1.0, 1.1 และ 1.1 ของที่ NRC (1988) กำหนด ตามลำดับ ทุกการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มการทดลองของผลผลิตโคนมที่ทำการศึกษา อย่างไรก็ตามการทดลองทั้ง 4 นี้ให้ค่าการทำนาย  $NE_M$  สูงกว่าที่ NRC (1988) แนะนำไว้ประมาณร้อยละ 26

โครงการวิจัยนี้พบในเบื้องต้นว่าควรมีการปรับปรุงความต้องการโภชนาการของโคนมไทยให้เป็นของประเทศไทยเอง ทั้งนี้ต้องการความร่วมมือจากสถาบันต่างๆอย่างเร่งด่วนเพื่อที่จะได้ดำเนินการต่อไปในด้านการกำหนดให้มีความต้องการโภชนาการของโคนมไทย

## Abstract

The objectives of the present research project were to evaluate the energy and protein requirements of the medium producing lactating dairy cows fed total mixed rations containing alkali treated bagasse or rice straw as a roughage source. To meet the research aims, 6 experiments were carried out for two years at Suranaree University of Technology.

The first experiment (Chapter 4) was conducted to determine chemical composition and nylon bag degradability of untreated bagasse and rice straw. Each 9 samples of untreated bagasse and rice straw was analysed for chemical composition and degradability. Both untreated bagasse and rice straw were low in protein, fat and degradability values but they are high in CF, ADF and NDF. The most promising equations to predict DMI and DDMI from degradation characteristics were given. An evaluation of energy was also given.

The second experiment was carried out to evaluate the effects of different alkali treatments on the chemical composition and the degradability of bagasse and rice straw. The 9 treatments were: untreated control; 3% NaOH treatment; 6% NaOH treatment; 3% urea treatment; 6% urea treatment; 3% NaOH + 3% urea treatment; 3% NaOH + 6% urea treatment; 6% NaOH + 3% urea treatment; 6% NaOH + 6% urea treatment. Ash contents were increased by treatments particularly those treatments with NaOH. Crude protein contents were increased by treatments containing urea while those treatments with NaOH alone did not increase crude protein contents. Degradability study showed that the DM and CF degradabilities of bagasse and rice straw were increased by NaOH and NaOH plus urea treatments. However, in case of bagasse, the treatments with urea alone did not increased DM and CF degradability. When ground raw soy bean seed was added, DM degradability of bagasse was increased.

The third experiment (Chapter 6) was conducted to determine the feed intake and the digestibility of 6% NaOH treated rice straw, 6% NaOH treated bagasse, 5% urea treated rice straw and soybean meal using regression method. Twelve Holstein Friesian cross non-lactating cows, balanced for age and body weight, were assigned into 3 treatments (4 cows each). The 6% NaOH treated straw was fed with soybean meal at 3 ratios on DM basis of 85/15, 75/25 and 65/35 respectively. The results indicate that the digestibility of CP of the diets significantly increased with the increasing soybean meal. Regression analysis showed the values of intercepts should be used for estimating the digestibility of 6% NaOH treated rice straw and further be used for predicting the digestibility of other feeds.

The fourth experiment (Chapter 7) were conducted to compare nutritive value of untreated bagasse and rice straw with treated bagasse and rice straw placed in plastic bag and in the small concrete silo. The treatment improved nutritive value of both bagasse and rice straw in plastic bag and in small concrete silo.

The fifth experiment (Chapter 8) compared the cost of treatment of bagasse and rice straw ensiled in the small concrete silo. Because of the different alkali used to treat bagasse and rice straw, the treatment with urea resulted in less cost than that treatment with NaOH.

The final experiment (Chapter 9) was carried out to evaluate the effects of different level of protein and energy applied to the treatment groups on performances of lactating dairy cows. In this experiment comprised of 4 sub-trials. Each sub-trial used 24 medium producing lactating dairy cows (6 cows in each treatment). The sub-trials I and II, the 6% NaOH treated bagasse were fed with soybean meal and ground corn as total mixed rations according to the treatments imposed. The sub-trials III and IV, the 5% urea treated rice straw were fed with soybean meal and ground corn as total mixed rations according to the treatments imposed. The treatments in sub-trial I and III were 0.9 and 0.9, 0.9 and 1.0, 1.0 and 0.9, and 1.0 and 1.0 of energy and protein of NRC (1988) recommendation respectively. The treatments in sub-trial II and IV were 1.0 and 1.0, 1.0 and 1.1, 1.1 and 1.0, and 1.1 and 1.1 of energy and protein of NRC (1988) recommendation respectively. No significant different between the treatment groups in all performances measured. However, the prediction of  $NE_M$  in the present study was higher (26%) than that recommended by NRC (1988).

The present research project found that the nutrient requirement of dairy cattle in Thailand should be improved. The cooperation between academic institutes and others is badly needed if the exact evaluation of nutrient requirement of Thai dairy cattle is required.

## สารบัญ

|                                                                                             | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| กิตติกรรมประกาศ.....                                                                        | i    |
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                                                        | ii   |
| ...                                                                                         | iv   |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                                                     | vi   |
| สารบัญ.....                                                                                 | ix   |
| สารบัญตาราง.....                                                                            |      |
| บทที่ 1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....                                              | 1    |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                                                                | 5    |
| ขอบเขตของการวิจัย.....                                                                      | 5    |
| ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....                                                           | 5    |
| บทที่ 2 การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                             | 7    |
| 2.1 ระบบการประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารและความต้องการพลังงาน<br>ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง..... | 9    |
| 2.1.1 การวัดและคำนวณ ME content ในอาหารสัตว์.....                                           | 10   |
| 2.1.2 สรุบบระบบพลังงานที่ใช้ในสหราชอาณาจักรและสหรัฐอเมริกา....                              | 12   |
| 2.1.3 การประเมินคุณค่าทางพลังงานที่นำเสนอใหม่.....                                          | 14   |
| 2.2 ระบบการประเมินคุณค่าของโปรตีนและความต้องการโปรตีนของสัตว์<br>เคี้ยวเอื้อง.....          | 17   |
| .                                                                                           |      |
| 2.2.1 การย่อยและการดูดซึมโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง.....                                     | 17   |
| 2.2.2 ระบบการประเมินโปรตีนใหม่: หลักการและคำจำกัดความ.....                                  | 18   |
| 2.2.3 การวัดค่าการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง.....                            | 20   |
| 2.2.4 สรุบบระบบการประเมินโปรตีนที่ใช้ในสหราชอาณาจักรและ<br>สหรัฐอเมริกา.....                | 21   |
| .                                                                                           |      |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....                                                             | 24   |
| บทที่ 4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของซานอ้อยและฟางข้าวก่อนปรับปรุงคุณภาพ....                 | 25   |
| 4.1 คำนำ.....                                                                               | 25   |
| 4.2 วัตถุประสงค์.....                                                                       | 25   |
| 4.3 อุปกรณ์และวิธีการ.....                                                                  | 25   |



|         |                                                                                                                                               |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4     | ผลการทดลอง.....                                                                                                                               | 25 |
| 4.5     | สรุปและวิจารณ์.....                                                                                                                           | 27 |
| บทที่ 5 | การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงคุณภาพขานอ้อยและฟางข้าวโดยวิธีการทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อยและฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว..... | 31 |
| 5.1     | คำนำ.....                                                                                                                                     | 31 |
| 5.2     | วัตถุประสงค์.....                                                                                                                             | 31 |
| 5.3     | อุปกรณ์และวิธีการ.....                                                                                                                        | 31 |
| 5.4     | ผลการทดลอง.....                                                                                                                               | 32 |
| 5.5     | สรุปและวิจารณ์.....                                                                                                                           | 35 |
| บทที่ 6 | ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพขานอ้อยและฟางข้าวในระดับ large scale: การกินได้และการย่อยได้ในโคนม.....                                            | 38 |
| 6.1     | คำนำ.....                                                                                                                                     | 38 |
| 6.2     | วัตถุประสงค์.....                                                                                                                             | 38 |
| 6.3     | อุปกรณ์และวิธีการ.....                                                                                                                        | 38 |
| 6.3.1   | การปรับปรุงคุณภาพฟางข้าว/ขานอ้อย.....                                                                                                         | 38 |
| 6.3.2   | ผลการศึกษาการกินได้และการย่อยได้.....                                                                                                         | 39 |
| 6.4     | ผลการทดลอง.....                                                                                                                               | 40 |
| 6.5     | สรุปและวิจารณ์.....                                                                                                                           | 44 |
| บทที่ 7 | ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพขานอ้อยและฟางข้าวในระดับ large scale.....                                                                          | 46 |
| 7.1     | คำนำ.....                                                                                                                                     | 46 |
| 7.2     | วัตถุประสงค์.....                                                                                                                             | 46 |
| 7.3     | อุปกรณ์และวิธีการ.....                                                                                                                        | 46 |
| 7.4     | ผลการทดลอง.....                                                                                                                               | 47 |
| 7.5     | สรุปและวิจารณ์.....                                                                                                                           | 49 |
| บทที่ 8 | ผลศึกษาด้านทุนการปรับปรุงคุณภาพขานอ้อยและฟางข้าวในระดับ large scale...                                                                        | 50 |
| 8.1     | คำนำ.....                                                                                                                                     | 50 |
| 8.2     | วัตถุประสงค์.....                                                                                                                             | 50 |
| 8.3     | อุปกรณ์และวิธีการ.....                                                                                                                        | 50 |
| 8.4     | ผลการทดลอง.....                                                                                                                               | 50 |
| 8.5     | สรุปและวิจารณ์.....                                                                                                                           | 51 |

|            |                                                                            |    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| บทที่ 9    | การศึกษาการตอบสนองด้านการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารรวม (TMR)..... | 53 |
| 9.1        | คำนำ.....                                                                  | 53 |
| 9.2        | วัตถุประสงค์.....                                                          | 53 |
| 9.3        | อุปกรณ์และวิธีการ.....                                                     | 53 |
| 9.4        | ผลการทดลอง.....                                                            | 58 |
| 9.5        | สรุปและวิจารณ์.....                                                        | 66 |
| บทที่ 10   | บทสรุป.....                                                                | 75 |
| 10.1       | องค์ประกอบท่าเคมีของขานอ้อยและฟางข้าว.....                                 | 75 |
| 10.2       | การปรับปรุงคุณภาพขานอ้อยและฟางข้าวโดยวิธีการทางเคมี.....                   | 75 |
| 10.3       | การประเมินคุณค่าพลังงานในอาหารสัตว์.....                                   | 75 |
|            | ...                                                                        |    |
| 10.4       | การประเมินความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆในโคนม.....                   | 76 |
| 10.5       | การประเมินความต้องการโปรตีนเพื่อกิจกรรมต่างๆในโคนม.....                    | 78 |
| 10.3       | อาหารผสมครบส่วน (TMR) ที่ควรแนะนำ.....                                     | 79 |
| บรรณานุกรม | .....                                                                      | 80 |

## สารบัญตาราง

|              | หน้า                                                                                                                        |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ตารางที่ 2.1 | สมการในการประเมินค่าพลังงานจากผลวิเคราะห์.....                                                                              |
| ตารางที่ 2.2 | Factors in the utilisation of protein by ruminants.....                                                                     |
| ตารางที่ 4.1 | องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมัก.....                                                                           |
| ตารางที่ 4.2 | องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว/ชานอ้อยที่ได้มีรายงานไว้.....                                                                   |
| ตารางที่ 4.3 | แสดงค่าการย่อยสลายวัตถุแห้งของฟางข้าว/ชานอ้อยชนิดต่างๆในถุงใน<br>ลอน                                                        |
| ตารางที่ 4.4 | Observed DMI and DDMI compared with calculated DMI and DDMI                                                                 |
| ตารางที่ 5.1 | กลุ่มการทดลองวิธีการทางเคมีที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย/ฟาง<br>ข้าว.....                                                     |
| ตารางที่ 5.2 | องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยหลัง<br>ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการทางเคมีต่างๆ.....                    |
| ตารางที่ 5.3 | องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของฟางข้าวหลัง<br>ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการทางเคมีต่างๆ.....                    |
| ตารางที่ 5.4 | การย่อยสลายวัตถุแห้งของชานอ้อยและชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพ.....                                                                 |
| ตารางที่ 6.1 | การกินได้และการย่อยได้ <i>in vivo</i> ของฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพ (6%NaOH)<br>รวมกากถั่วเหลืองระดับต่างๆ.....                  |
| ตารางที่ 6.2 | แสดงค่า intercept, coefficient of X และ $R^2$ ที่ได้จากการหาด้วยวิธี<br>regression.....                                     |
| ตารางที่ 6.3 | การกินได้และการย่อยได้ <i>in vivo</i> ของฟางข้าว/ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพ<br>(6%NaOH) รวมกากถั่วเหลือง.....                    |
| ตารางที่ 6.4 | การย่อยได้ของฟางข้าว/ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพ (6%NaOH) ที่ได้จากการ<br>คำนวณโดยใช้ค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง.....           |
| ตารางที่ 6.5 | การกินได้และการย่อยได้ <i>in vivo</i> ของฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพ (5%Urea)<br>ไม่เสริมและเสริมกากถั่วเหลือง 15% วัตถุแห้ง..... |

|               |                                                                                                                                     |    |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 6.6  | การย่อยได้ของฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพ (5%Urea) ไม่เสริมและเสริมกากถั่วเหลือง ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง..... | 43 |
| ตารางที่ 6.7  | Digestibility and total digestible nutrient of untreated and treated bagasse/ rice straw.....                                       | 45 |
| ตารางที่ 7.1  | เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายของชานอ้อยธรรมชาติและชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพ (6%NaOH) หมักในถุงและหมักในบ่อคอนกรีต.....     | 48 |
| ตารางที่ 7.2  | เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายของฟางข้าวธรรมชาติและฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพ (5%Urea) หมักในถุงและหมักในบ่อคอนกรีต.....     | 49 |
| ตารางที่ 8.1  | ต้นทุนการก่อสร้างบ่อคอนกรีต.....                                                                                                    | 52 |
| ตารางที่ 8.2  | ต้นทุนการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย.....                                                                                                 | 52 |
| ตารางที่ 8.3  | ต้นทุนการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าว.....                                                                                                 | 52 |
| ตารางที่ 9.1  | Ingredient composition of TMRs used in Trial I (Treated bagasse)                                                                    | 54 |
| ตารางที่ 9.2  | Ingredient composition of TMRs used in Trial III (Treated rice straw)                                                               | 54 |
| ตารางที่ 9.3  | Pre-experimental performances of dairy cows used in Trial I                                                                         | 55 |
| ตารางที่ 9.4  | Pre-experimental performances of dairy cows used in Trial III                                                                       | 55 |
| ตารางที่ 9.5  | Ingredient composition of TMRs used in Trial II (Treated bagasse)                                                                   | 57 |
| ตารางที่ 9.6  | Ingredient composition of TMRs used in Trial IV (Treated rice straw)                                                                | 57 |
| ตารางที่ 9.7  | Pre-experimental performances of dairy cows used in Trial II                                                                        | 57 |
| ตารางที่ 9.8  | Pre-experimental performances of dairy cows used in Trial IV                                                                        | 58 |
| ตารางที่ 9.9  | Nutrient composition of TMRs used in Trial I (Treated bagasse)                                                                      | 59 |
| ตารางที่ 9.10 | Nutrient composition of TMRs used in Trial II (Treated bagasse)                                                                     | 59 |
| ตารางที่ 9.11 | Feed intake of cows in Trial I (Treated bagasse)                                                                                    | 60 |
| ตารางที่ 9.12 | Performances of dairy cows in Trial I (Treated bagasse)                                                                             | 60 |
| ตารางที่ 9.13 | Feed intake of cows in Trial II (Treated bagasse)                                                                                   | 61 |
| ตารางที่ 9.14 | Performances of dairy cows in Trial II (Treated bagasse)                                                                            | 61 |
| ตารางที่ 9.15 | Nutrient composition of TMRs used in Trial III (Treated rice straw)                                                                 | 63 |
| ตารางที่ 9.16 | Nutrient composition of TMRs used in Trial IV (Treated rice straw)                                                                  | 63 |
| ตารางที่ 9.17 | Feed intake of cows in Trial III (Treated rice straw)                                                                               | 64 |

|               |                                                                                    |    |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 9.18 | Performances of dairy cows in Trial III (Treated rice straw)                       | 65 |
| ตารางที่ 9.19 | Feed intake of cows in Trial IV (Treated rice straw)                               | 65 |
| ตารางที่ 9.20 | Performances of dairy cows in Trial IV (Treated rice straw)                        | 66 |
| ตารางที่ 9.21 | Multiple regression equation between milk yield or $NE_L$ , and NEL, RDP...        | 68 |
| ตารางที่ 9.22 | Partitioning of net energy intake of experimental cows in Trial I.                 | 69 |
| ตารางที่ 9.23 | Partitioning of net energy intake of experimental cows in Trial II.                | 70 |
| ตารางที่ 9.24 | Partitioning of net energy intake of experimental cows in Trial III.               | 70 |
| ตารางที่ 9.25 | Partitioning of net energy intake of experimental cows in Trial IV.                | 71 |
| ตารางที่ 9.26 | RDP and UDP supply by TMRs, and RDP and UDP requirements by cows in Trial I.....   | 71 |
| ตารางที่ 9.27 | RDP and UDP supply by TMRs, and RDP and UDP requirements by cows in Trial II.....  | 72 |
| ตารางที่ 9.28 | RDP and UDP supply by TMRs, and RDP and UDP requirements by cows in Trial III..... | 72 |
| ตารางที่ 9.29 | RDP and UDP supply by TMRs, and RDP and UDP requirements by cows in Trial IV.....  | 73 |
| ตารางที่ 10.1 | Evaluation of energy value from DMD.....                                           | 76 |
| ตารางที่ 10.2 | Evaluation of TDN from proposed new energy concept.....                            | 77 |
| ตารางที่ 10.3 | Comparison of $NE_M$ proposed by NRC and those calculated from data .....          | 77 |
| ตารางที่ 10.4 | Total mixed ration based on 6%NaOH treated bagasse                                 | 79 |
| ตารางที่ 10.5 | Total mixed ration based on 5%Urea treated rice straw                              | 79 |

## บทที่ 1

### ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ถึงแม้การเลี้ยงโคนมในประเทศไทยได้ดำเนินการมากกว่า 35 ปีแล้ว อย่างไรก็ตามการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมเป็นไปอย่างล่าช้า จะเห็นได้จากปัจจุบันเกษตรกรไทยทั่วประเทศเลี้ยงโคนมรวมกันถึง 328,008 ตัว ในจำนวนนี้เป็นโคที่กำลังรีดนม 139,456 ตัว ผลิตน้ำนมดิบรวมกันได้ปีละ 442,304 ตัน หรือคิดเป็น 1,212 ตันต่อวัน ปริมาณการผลิตน้ำนมดิบนี้เทียบได้เพียงร้อยละ 35 ของความต้องการบริโภคภายในประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2542) จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการให้น้ำนมเฉลี่ยของโคนมตัวหนึ่งๆนั้นเท่ากับ 9 กิโลกรัมต่อวันเท่านั้น ซึ่งค่าเฉลี่ยการให้นมของโคนมนี้เท่ากับเมื่อ 20 ปีก่อน

การพัฒนาการเลี้ยงโคนมที่ผ่านมาเป็นการพัฒนาในเชิงปริมาณ (Quantitative development) มากกว่าการพัฒนาในเชิงคุณภาพ (Qualitative development) อย่างไรก็ตามเป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบันว่าพันธุกรรมของโคนมในประเทศไทยนั้นน่าจะมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการให้น้ำนมเฉลี่ยวันละกว่า 15 กิโลกรัมต่อตัว แต่ที่เป็นอยู่ในปัจจุบันขึ้นอยู่กับสาเหตุและปัจจัยหลายๆประการ กล่าวคือ การจัดการด้านอาหารยังไม่ถูกต้อง ปริมาณอาหารที่ให้กับโคนมเพียงพอกับความต้องการ ขาดแคลนอาหารโดยเฉพาะอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้ง การจัดการด้านการสุขาภิบาลยังไม่ดีพอ เป็นต้น

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการปลูกพืชเศรษฐกิจหลายชนิดในทุกๆภาคของประเทศ อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งในอุตสาหกรรมการทำน้ำตาลทราย ศูนย์สถิติการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2542) ได้รายงานการปลูกอ้อยในปีเพาะปลูก 2537/2538 มีพื้นที่ปลูกรวมกันทั้งประเทศประมาณ 6,149,729 ไร่ ให้ผลผลิตทั้งสิ้น 52,886,872 ตัน พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยคิดเป็นร้อยละ 46 และ 31 ตามลำดับ จากปริมาณผลผลิตอ้อยทั้งประเทศดังกล่าว ถ้านำเข้าโรงงานทำน้ำตาลทราย จะให้ผลพลอยได้ในรูปกากน้ำตาลและขานอ้อยคิดเป็นจำนวน 1,958,773 และ 11,623,488 ตัน ตามลำดับ (ใช้อัตราส่วนต้นอ้อย:กากน้ำตาล เท่ากับ 25:1 และต้นอ้อย:ขานอ้อย เท่ากับ 4.55:1 ตามลำดับ; Devendra, 1981)

ประชากรโคนมได้เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา อีกทั้งรัฐบาลมีนโยบายที่จะเพิ่มจำนวนโคนมขึ้นอีกระหว่างแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 8 (ปี 2540-2544) เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำนมดิบภายในประเทศ และเพื่อทดแทนการนำเข้าผลิตภัณฑ์นมจากต่างประเทศ การเพิ่มขึ้นของประชากรโคนมย่อมมีผลกระทบต่อความต้องการอาหารโดยรวมโดยเฉพาะอาหารหยาบซึ่งจัดเป็นอาหารหลักสำหรับโคนม การปลูกพืชอาหารสัตว์กระทำได้ในปริมาณค่อนข้างจำกัดเพราะพื้นที่การเกษตรบางส่วนได้ถูกปรับเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เพื่อการอุตสาหกรรม ฉะนั้นจึงมักพบว่าเกิดการขาดแคลน

อาหารหยาบสำหรับโคนมอยู่เนืองๆ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง การนำใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ทางการเกษตรจึงนับวันจะทวีความสำคัญยิ่งขึ้น ชานอ้อยเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรชนิดหนึ่ง ถึงแม้จะมีคุณค่าทางอาหารต่ำ แต่มีในปริมาณมากดังได้กล่าวข้างต้น ถ้าสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารโคนมได้ จะช่วยบรรเทาการขาดแคลนอาหารหยาบในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับฤดูการหีบอ้อยได้เป็นอย่างมาก

ผลพลอยได้ทางการเกษตร อาทิ ยอดอ้อย ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด ได้มีการนำมาใช้เลี้ยงโคนมในรูปแบบต่างๆ แต่โดยที่ผลพลอยได้ทางการเกษตรเหล่านี้มีคุณค่าทางอาหารต่ำ ย่อยได้ยาก การนำไปใช้เลี้ยงโคนมจึงมีข้อจำกัด โดยต้องใช้ร่วมกับอาหารหยาบอื่นๆ เช่น ฟางข้าว ซึ่งได้มีการวิจัยว่าสามารถใช้ทำอาหารอัดก้อนสำหรับโคนมได้เป็นอย่างดี (Suksombat, 1997; 1998a; 1998b) อย่างไรก็ตาม ใดก็ตามที่โคนมที่ให้ผลผลิตปานกลาง (15 กิโลกรัมขึ้นไป) การใช้ชานอ้อยจำเป็นต้องเพิ่มพลังงานในอาหารหยาบ จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารและเพิ่มการย่อยได้ การปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรสามารถกระทำได้หลายวิธี ทั้งการปรับปรุงทางกายภาพและทางเคมี แต่งานวิจัยส่วนใหญ่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าว การวิจัยทางด้านการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยมีน้อยมากในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะมีการวิจัยในประเทศที่ผลิตอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจหลัก เช่น ในประเทศคิวบา เปอเตอริก อินเดีย และฟิลิปปินส์ การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการปรับปรุงคุณภาพของชานอ้อยเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับโคนมที่ให้น้ำนมในระดับปานกลาง

ในการที่จะจัดการด้านอาหารเพื่อให้โคนมให้ผลผลิตน้ำนมสูงๆ ต้องแน่ใจว่าอาหารที่ให้แก่โคนมนั้นประกอบไปด้วยโภชนะต่างๆ อาทิ พลังงาน โปรตีน แร่ธาตุและวิตามินที่เพียงพอกับความต้องการ อย่างไรก็ตาม โภชนะหลักที่สำคัญที่โคนมมีความต้องการในปริมาณมากคือพลังงานและโปรตีน ส่วนแร่ธาตุและวิตามินนั้นสัตว์มีความต้องการในปริมาณที่น้อย และส่วนใหญ่สามารถเสริมในอาหารได้ในรูปของแร่ธาตุหรือวิตามินผสมสำเร็จรูป อาหารหลักที่ใช้เลี้ยงโคนมได้แก่พืชอาหารสัตว์ เมล็ดธัญพืช และผลพลอยได้ทางการเกษตร อาหารสัตว์เหล่านี้จะให้คุณค่าทางพลังงานและโปรตีนที่แตกต่างกัน และมีความผันแปรในอาหารชนิดเดียวกันค่อนข้างมาก ถ้าสามารถทราบคุณค่าทางโภชนะที่แท้จริงของอาหารสัตว์นี้ได้ การคำนวณการให้อาหารแก่โคนมให้เพียงพอกับความต้องการสามารถกระทำได้แม่นยำยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในด้านอาหารได้อีกด้วย

ในปัจจุบันนักวิชาการด้านอาหารสัตว์จำเป็นต้องใช้ข้อมูลมาตรฐานการให้อาหารจากประเทศที่พัฒนาแล้ว อาทิ จากประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council, 1988) และสหราชอาณาจักร (Agricultural Research Council, 1980; 1984) เป็นต้น โดยปกติแล้วคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์จะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืชอาหารสัตว์นั้นๆ สภาพภูมิอากาศ สภาพการเจริญเติบโต และอื่นๆ ฉะนั้นอาหารสัตว์ที่ปลูกอยู่ในประเทศไทยย่อมมีคุณค่าทางโภชนะแตกต่างจากอาหารสัตว์ที่ปลูกในเขตอื่นๆ ของโลก อาหารสัตว์ในเขตร้อนมักจะมีโปรตีนและการย่อยได้โปรตีนและพลังงานต่ำกว่าอาหารสัตว์ในเขตอบอุ่น (Minson, 1980) ฉะนั้นการอ้างอิงข้อมูลทางโภชนะซึ่งส่วนใหญ่ได้ทำการวิเคราะห์และรวบรวม

รวมในเขตอบอุ่น (ARC, 1980,1984; NRC, 1988) มาใช้ในการคำนวณการให้อาหารในเมืองไทย อาจเป็นเหตุให้สูตรอาหารนั้นไม่ตรงกับความต้องการที่แท้จริงของสัตว์ ซึ่งอาจเป็นผลให้สัตว์ให้ผลผลิตต่ำกว่าที่คาดไว้ หรือเกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจในส่วนที่เกินและสัตว์ไม่ได้ใช้ประโยชน์

ความเข้มข้นของพลังงานทั้งหมดในอาหารสัตว์มีชื่อเรียกว่า "พลังงานรวม" หรือ Gross energy (GE) ส่วนประกอบของอาหารที่ให้พลังงานได้แก่ ไขมัน โปรตีน และ คาร์โบไฮเดรต GE ในอาหารสัตว์จึงผันแปรตามส่วนประกอบดังกล่าว เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไป ส่วนของ GE เพียงบางส่วนเท่านั้นที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อและสร้างผลผลิต ทั้งนี้เป็นเพราะในระหว่างเกิดขบวนการย่อย (digestion) และเมตาบอลิซึม (metabolism) ภายในร่างกายจะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป พลังงานในอุจจาระ (faecal energy, FE) เป็นส่วนหนึ่งของ GE ในอาหารที่ไม่ถูกย่อย การวัดพลังงานในอุจจาระสามารถวัดได้โดยการวัดปริมาณอุจจาระที่ขับถ่ายออกมา (kgDM) และวัดความเข้มข้นของพลังงานในอุจจาระโดยใช้ bomb calorimeter ส่วนแตกต่างระหว่าง GE ที่สัตว์กินเข้าไปกับพลังงานในอุจจาระ (FE) คือพลังงานย่อยได้ (digestible energy, DE) DE เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการสลายตัว ขณะเดียวกันจะมีพลังงานบางส่วนถูกขับออกภายนอกร่างกายโดยที่สัตว์ไม่ได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานส่วนนี้ ได้แก่พลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ (urinary energy) และพลังงานที่ขับออกในรูปของแก๊ส (gaseous หรือ methane energy) ฉะนั้นส่วนของ DE ที่ไม่ปรากฏในปัสสาวะและแก๊สมีเทน คือ พลังงานใช้ประโยชน์ (metabolisable energy, ME) ME intake สามารถคำนวณได้โดยวัดค่าพลังงานในอุจจาระ ปัสสาวะ และ methane สำหรับการวัดค่า urinary และ methane energy ก่อนข้างซับซ้อนและใช้เวลาและค่าใช้จ่ายมาก แต่โดยทั่วไปแล้ว urinary energy และ methane energy ปกติจะมีค่าเป็นสัดส่วนค่อนข้างคงที่กับ digestible energy (~19%) ฉะนั้นสามารถประมาณค่า ME ได้โดยประมาณเท่ากับ 0.81DE และสัดส่วนของ ME ต่อ GE เรียกว่า metabolisability (q, ME/GE)

ในการอธิบายถึงการใช้ประโยชน์ของพลังงานจากอาหารนิยมใช้ ME ทั้งในระบบ NRC และ ARC อย่างไรก็ตามทั้งสองระบบยังได้กล่าวถึงการใช้พลังงานสุทธิ (net energy) เช่น การใช้ net energy เพื่อการดำรงชีพ (net energy for maintenance) การใช้ net energy เพื่อการสะสมในร่างกาย (net energy for tissue gain) การใช้ net energy เพื่อการอุ้มท้อง (net energy for pregnancy) และการใช้ net energy เพื่อการให้ผลผลิต (net energy for production) ทั้งนี้ net energy จะมีค่าเป็นเท่าไรขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพเพื่อการใช้ ME เพื่อการนั้นๆ (the efficiency which with ME is utilised for such function, k)

การอธิบายถึงการใช้ประโยชน์ของพลังงานจากอาหารอีกวิธีหนึ่งคือการใช้ค่าโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient, TDN) ซึ่งจะคล้ายๆกับการใช้ค่า DE แต่ไม่เท่าเทียมกันทีเดียว การประมาณค่า TDN กระทำได้โดยการรวมค่าย่อยได้ของ CF, CP, EE และ NFE เข้าด้วยกัน สำหรับในประเทศไทยแล้วมีข้อมูลด้านการประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารสัตว์น้อยมาก หรือแทบจะไม่มีเลย (Holm, 1973; Cheva-Isarakul and Cheva-Isarakul, 1991; Promma *et al.*, 1994) อย่างไรก็ตามถึงแม้ระบบ TDN จะมีข้อจำกัดทางทฤษฎีอยู่มาก แต่การวัดค่า TDN ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และค่อนข้างกระทำ



ได้ง่ายในหลายหน่วยงาน ในแง่ของการปฏิบัติความแม่นยำในการใช้ค่า TDN จะเหมือนกับการใช้ค่า NE ในการทำนายผลผลิตสัตว์ เหตุผลที่ว่าการใช้ค่า TDN มีความแม่นยำพอๆกับการใช้ค่า NE เพราะว่าค่า NE ของอาหารสัตว์ที่ใช้อยู่ใน USA คำนวณมาจากค่า TDN (NRC, 1988) ข้อดีอีกประการหนึ่งของค่า TDN คือ คำนี้นี้ได้มาจากการรวมโภชนะแต่ละชนิด และโภชนะแต่ละชนิดก็ให้พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ด้วยประสิทธิภาพที่ต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น พลังงานจาก digestible fat จะถูกใช้ประโยชน์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าพลังงานจาก digestible proteins และ digestible carbohydrates ฉะนั้นการพัฒนาสมการเพื่อการทำนายค่า NE อาจอาศัยการทำนายผ่านค่าโภชนะย่อยได้

อย่างไรก็ตามค่า NE และ TDN ส่วนใหญ่จะเป็นค่าที่ระดับการกินได้คงที่ที่ระดับใดระดับหนึ่ง กล่าวคือ ถ้าระดับการกินได้เพิ่มขึ้น retention time จะลดลง ซึ่งเป็นเหตุให้การย่อยได้พลังงานลดลงด้วย (NRC, 1988) ปัจจัยซึ่งระดับการกินได้มีต่อการย่อยได้พลังงานจะขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยได้ (rate of digestion) กล่าวคือ ถ้าอาหารใดมีอัตราการย่อยได้ช้าจะมีผลกระทบจากระดับการกินได้อย่างมาก ในขณะที่อาหารที่มีอัตราการย่อยได้เร็วอาจจะไม่มีผลจากระดับการกินได้ อิทธิพลรวมจากชนิดของอาหารก็มีผลต่อการย่อยได้พลังงาน (NRC, 1988) เช่น การย่อยได้อาหารประเภท fibre จะลดลง เมื่ออาหารประกอบด้วย non-structural carbohydrates (NSC) มากเกินไป (Weiss and Shockey, 1991) ถ้าเป็นเช่นนี้การประเมินค่า NE ในพืชอาหารสัตว์ หรือ อาหารที่ประกอบด้วย fibre อื่นๆ อาจสูงกว่าที่เป็นจริง ฉะนั้นการพัฒนาการสร้างสมการเพื่อการทำนายค่าพลังงานจะต้องเป็นแบบ kinetic models ซึ่งประกอบด้วย parameters ต่างๆ อาทิ rate of digestion, intake และ rumen pH

เกษตรกรและนักวิชาการต้องทราบถึงพลังงานในอาหารสัตว์ที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จึงจะสามารถคำนวณการให้อาหารได้อย่างถูกต้อง แต่การที่จะวิเคราะห์หาค่าพลังงานนั้นๆเป็นประจําต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง โดยทั่วไปแล้วจะใช้วิธีการประเมินค่าพลังงานที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จากอาหารชนิดต่างๆ การประเมินค่าทางพลังงานส่วนใหญ่มักจะใช้การประเมินจากส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร หรือ ค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ เช่น crude fibre, ADF, NDF, ADL หรือจาก enzyme digestibility หรือค่าการย่อยได้ *in vitro* ด้วยวิธีการต่างๆ รวมทั้ง gas production technique (GPT) [Menke *et al.*, 1979; Weiss, 1994] อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้ต้องได้รับการปรับก่อนนำมาใช้ วิธีการปรับคือการใส่ค่าที่วัดได้โดยวิธี *in vivo* กับค่าที่ประมาณได้จากสมการ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองวิจัยในครั้งนี้จะนำมาสู่การพัฒนาวิธีการใหม่ในการประเมินค่าพลังงานในอาหารสัตว์ในประเทศไทย

ระบบการประเมินค่าโปรตีนในอาหารในระยะเริ่มแรกจะใช้การประเมินจากค่าโปรตีนหยาบในอาหาร (dietary crude protein) ในระยะต่อมาจะใช้การประเมินจากโปรตีนย่อยได้ (digestible protein) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการนำวิธีการประเมินจากส่วนของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะ rumen (rumen degradable protein) และที่ไหลผ่านกระเพาะ rumen (bypass protein) มาใช้ หรือแม้กระทั่งนำส่วนของโปรตีนใช้ประโยชน์ (metabolisable protein) และ amino acids มาใช้ในการ

ประเมิน การย่อยได้ของโปรตีนในอาหารสัตว์ในเขตอบอุ่น (temperate) ค่อนข้างจะคงที่ ผันแปรอยู่ระหว่าง 90-95% ยกเว้นกรณีของอาหารสัตว์ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน เช่น hay, silage และ by-products การย่อยได้ของโปรตีนในอาหารสัตว์คุณภาพต่ำซึ่งมักจะมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่น้อยก็มักจะต่ำด้วย ความต้องการ CP ในระบบ NRC จะขึ้นอยู่กับค่าการย่อยได้ของ CP ในอาหารนั้นๆ ซึ่งอาจจะไม่เหมือนกับอาหารสัตว์คุณภาพต่ำอย่างเช่นในเขตร้อน ปัจจุบันความต้องการข้อมูลรายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับการย่อยได้ การละลายได้ และการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารสัตว์ที่ใช้อยู่ในประเทศไทยเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งเพื่อการคำนวณการให้อาหารสัตว์จะได้ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น และข้อมูลเหล่านี้จำเป็นต่อการนำระบบ metabolisable protein มาใช้ในอนาคต

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากรรมวิธีและขบวนการผลิตขานอ้อยและฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพที่มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นอาหารโคนม
2. เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตขานอ้อยและฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพในเชิงอุตสาหกรรม
- 3 เพื่อประเมินคุณค่าทางอาหารในแง่พลังงานและโปรตีนของขานอ้อยและฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว
- 4 เพื่อสร้างสูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีประสิทธิภาพสำหรับโคให้นมปานกลาง โดยใช้ขานอ้อยและฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพเป็นหลัก
5. เพื่อศึกษาการตอบสนองด้านการให้นมของโคนมต่อการให้อาหารระดับต่างๆ
6. เพื่อหาความต้องการโภชนะของโคที่ให้นมปานกลางในแง่พลังงานและโปรตีน

### ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นถึงการศึกษากรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพขานอ้อยในเชิงอุตสาหกรรม การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร และทดลองหาการย่อยได้ในตัวสัตว์ เพื่อที่จะนำมาประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหาร รวมถึงการประเมินความต้องการโภชนะของโคนมที่ให้นมปานกลาง โดยอาศัยการสร้างสมการเพื่อทำนายค่าต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับโคนมของประเทศไทย

### ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้ทราบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี การกินได้ การย่อยได้ พลังงานของอาหาร ขานอ้อย ฟางข้าว ขานอ้อยและฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพ เพื่อที่จะนำไปประกอบสูตรอาหารสำหรับโคนม

2. ทำให้ทราบกรรมวิธีและกระบวนการผลิตขานอ้อย/ฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพทำให้ทราบผลการตอบสนองต่อการให้อาหารในช่วง Early, mid & late lactation ทำให้ทราบปริมาณการกินได้และการย่อยได้อาหาร พลังงานและโปรตีน
3. ทำให้ทราบความต้องการอาหารพลังงานและโปรตีนของโคนม ซึ่งจะช่วยพัฒนาการประกอบสูตรอาหารและการให้อาหารโคนมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
4. ได้องค์ความรู้เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนางานวิจัย การผลิตบัณฑิต และการส่งเสริมเผยแพร่ข้อมูลที่ถูกต้องให้แก่เกษตรกร สหกรณ์ และผู้ประกอบการผลิตอาหารสัตว์
5. ได้มีการพัฒนานักวิจัย และนักวิชาการทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพ

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชานอ้อยเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรจากอุตสาหกรรมการทำน้ำตาลทราย ถึงแม้ชานอ้อยจะมีคุณค่าทางอาหารต่ำ (2.0-2.5%CP, 15-25% digestibility; Ibrahim and Pearce, 1983) แต่มีในปริมาณมาก ซึ่งน่าจะนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารหยาบสำหรับโคนมได้ โดยเฉพาะในช่วงที่อาหารหยาบขาดแคลน การนำชานอ้อยมาใช้ประโยชน์อาจทำได้โดยนำชานอ้อยมาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ โดยการเสริมด้วยอาหารประเภทที่มีพลังงานและโปรตีนอยู่สูง เพื่อให้เกิดสมดุลทางโภชนาการ (Balanced Nutrients) และเพิ่มความน่ากิน (Palatability) โดยการปรับปรุงคุณค่าด้วยวิธีการทางเคมีและทางชีวภาพ เพื่อเพิ่มการย่อยได้วัตถุแห้ง (DM Digestibility) และเพิ่มโปรตีน นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้โดยเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์สำเร็จรูป (Complete Feeds)

ชานอ้อยจะมีส่วนประกอบของ Lignocellulosic materials มีการสะสมของ lignin (Lignification) และมี cellulose ที่อยู่ในรูปผลึก (Crystalline cellulose) ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันการเข้าย่อยสลาย cellulose และ hemicellulose โดยเอนไซม์ที่ขับออกมาโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Rumen micro-organisms) อย่างไรก็ตามชานอ้อยก็เป็นเช่นเดียวกับผลพลอยได้ทางการเกษตรอื่นๆ ที่มีเยื่อใยมาก ที่ตอบสนองต่อการปรับปรุงด้วยวิธีการต่างๆ (Cabello, 1994) การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของชานอ้อยสามารถกระทำได้หลายวิธี อาทิ วิธีการปรับปรุงทางกายภาพ (Physical pretreatments) ด้วยการจุ่มแช่น้ำ (Soaking/Wetting) ด้วยการหั่นให้มีขนาดชิ้นเล็กลง (Chopping) ด้วยการบดและอัดเม็ด (Grinding and Pelleting) ด้วยการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Steaming under pressure) หรือด้วยการใช้รังสีแกมมา (Gamma irradiation) วิธีการปรับปรุงทางเคมี (Chemical pretreatments) ด้วยการใส่สารที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง (Pretreatment with alkalis) ด้วยการใส่สารที่มีคุณสมบัติเร่งปฏิกิริยา (Pretreatment with oxidative reagents) ด้วยการใส่สารละลายกรด (Pretreatment with acids) วิธีการปรับปรุงทางชีวภาพ (Biological pretreatments) ด้วยการหมักย่อย (Composting) ด้วยการหมัก (Ensilage) ด้วยการใส่ราบางชนิด (Fungal growth) และด้วยการใช้เอนไซม์ (Enzyme additions) รายละเอียดวิธีการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรด้วยวิธีการต่างๆดังกล่าว ได้มีการรายงานไว้โดยนักวิจัยหลายท่าน อาทิ Sundstol (1984) Wanapat (1984) และ Doyle *et al.* (1986)

วิธีการที่นิยมมากที่สุดเป็นวิธีการทางเคมีที่ใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสารเหล่านี้จะทำละลาย Hemicellulose (Klopfenstein, 1978) ทำให้สาร

กลุ่ม Free uronic acids เป็นกลาง และสารเหล่านี้อาจทำลาย lignin ที่เชื่อม hemicellulose ที่อยู่ใน cell wall materials (Theander and Aman, 1984) Chesson และ Orskov (1984) แนะนำว่า สารที่มีคุณสมบัติที่เป็นต่างนอกจากจะ hydrolyse hemicellulose-lignin linkages แล้ว อาจทำลาย bonds ต่างๆ ที่อยู่ในโมเลกุลของ lignin เป็นผลให้น้ำหนักโมเลกุลของ lignin ลดลงและทำให้การเชื่อมระหว่าง hemicellulose และ lignin อ่อนแอลง ยังผลให้ ทำละลาย hemicellulose เพิ่มการบวมตัวของ cell wall ทำให้ microbial enzymes สามารถที่จะเข้าทำการย่อย Structural carbohydrates.

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามที่มีรายงานส่วนใหญ่เป็นเรื่องการศึกษาการปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของฟางข้าวด้วยวิธีการทางเคมี Wanapat *et al.* (1985) ศึกษาเปรียบเทียบการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวบาร์เลย์ด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง 16 วิธี และได้สรุปว่าการย่อยได้อินทรีย์วัตถุของฟางข้าวบาร์เลย์เพิ่มขึ้นเรียงลำดับจากมากที่สุด ตามกลุ่มวิธีการที่ใช้ดังนี้ 1) การทำให้เปียกชื้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Wet treatment with NaOH; 20-22 units) 2) การสเปรย์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Dry treatment with NaOH; 15 units) 3) การใช้แอมโมเนียในรูปแบบ anhydrous และ aqueous (Anhydrous/aqueous ammonia treatment; 6-15 units) 4) การใช้ยูเรีย (Urea treatment; 4-7 units) ส่วนการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวสาลีนั้นสามารถเพิ่มการย่อยได้อินทรีย์วัตถุประมาณ 8 units (Djajanegara *et al.*, 1985)

Doyle *et al.* (1986) ได้รวบรวมผลงานวิจัยการใช้วิธีการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าว อาทิ การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ การใช้แอมโมเนียหรือยูเรีย การใช้ Oxidative reagents การใช้สารละลายกรด การหมักย่อย การหมัก การใช้เชื้อราบางชนิด และการใช้เอนไซม์ และได้สรุปว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเพิ่มการย่อยได้วัตถุแห้งของฟางข้าวระหว่าง 8-39% units การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มระหว่าง 7-22% units การใช้แอมโมเนียหรือยูเรียเพิ่มระหว่าง 2-35% units การใช้ oxidative reagents เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โอโซน และ โซเดียมคลอไรท์ เพิ่มระหว่าง 4-19% units การใช้สารละลายกรด เช่น กรดซัลฟูริก และ กรดไฮโดรคลอริก เพิ่มระหว่าง 10-19% units ส่วนการใช้การหมัก (Ensilage) ไม่เพิ่มการย่อยได้แต่ทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุแห้ง อย่างไรก็ตามการหมักฟางข้าวด้วยการเสริมโภชนาประเภพล้างงานและโปรตีนสามารถเพิ่มความเข้มข้นของโภชนาในฟางข้าวให้เพียงพอความต้องการของโคได้ โดยเฉพาะในช่วงขาดแคลนอาหารหยาบ การใช้เชื้อราสามารถเพิ่มการย่อยได้ของฟางข้าวประมาณ 10% units และสามารถลดปริมาณลิกนินลงจาก 6% เหลือเพียง 3% แต่เหมือนกับการหมักคือเกิดการสูญเสียวัตถุแห้งระหว่างการเจริญของเชื้อรา การใช้เชื้อราเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทางการเกษตรยังต้องศึกษาอีกมาก โดยเฉพาะการคัดเลือกเชื้อราให้เหมาะสม และเชื้อรานั้นๆจะต้องไม่ก่อให้เกิดสารที่เป็นพิษกับสัตว์ได้ งานวิจัยต่างๆที่ Doyle *et al.* (1986) ได้รวบรวมมาให้ความเข้มข้นของสารเคมี และวิธีการต่างๆที่แตกต่างกัน การจะนำมาทดลองปฏิบัติต้องเลือกวิธีการที่มีแนวโน้มสามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาได้มากและคุ้มกับการลงทุน โดยเฉพาะในแง่การนำมาปฏิบัติได้จริงและคุ้มกับการลงทุนในเชิงเศรษฐกิจ

สำหรับการวิจัยปรับปรุงคุณภาพขานอ้อยนั้นมีน้อยมาก การวิจัยในประเทศคิวบา ได้ถูกรวบรวมโดย Cabello (1994) และสรุปว่า การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 กรัมต่อ 100 กรัมวัตถุดิบขานอ้อย สามารถเพิ่มการย่อยได้ 3-4 เท่า คือจาก 14.0% เป็น 56.2% ในขณะที่ใช้กรดซัลฟูริก 10 กรัมต่อ 100 กรัมวัตถุดิบขานอ้อย ที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 30 นาที การย่อยได้จะเพิ่มเป็น 51.2% Devendra (1979) รายงานว่าการปรับปรุงคุณภาพของขานอ้อยโดยใช้ Caustic soda จะเพิ่มการย่อยได้ แต่การใช้ยูเรีย-แอมโมเนีย ไม่เพิ่มการย่อยได้ เหตุผลที่ขานอ้อยไม่ตอบสนองต่อการใช้ยูเรีย-แอมโมเนีย เหมือนกับฟางข้าวยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเป็นเพราะว่าขานอ้อยไม่มีเอนไซม์ urease เหมือนในฟางข้าว อย่างไรก็ตามถ้าหากใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นด่างควบคู่กับยูเรียน่าจะบังเกิดผลดีทั้งเพิ่มการย่อยได้และเพิ่มไนโตรเจนในขานอ้อย สำหรับการใช้วิธีการอบด้วยไอน้ำภายใต้ความดันสูงให้ผลเพิ่มความน่ากินและการย่อยได้ของขานอ้อย (Rangnekar *et al.*, 1982) การใช้ Caustic soda หรือ ยูเรียร่วมกับการอบไอน้ำที่ความดันสูงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพขานอ้อย การปรับปรุงคุณภาพขานอ้อยอีกวิธีหนึ่งคือการใช้กระบวนการทางชีวภาพ หรือ Bio-fermentation technology โดยการใช้เชื้อราจำพวก *Pleurotus* และ *Coprinus* ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการที่เด่นชัดในการใช้เชื้อราดังกล่าว (Badve *et al.*, 1987)

การใช้ขานอ้อยเป็นอาหารเลี้ยงโคในเมืองไทยยังมีการวิจัยน้อยมาก เมื่อไม่นานมานี้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส) ร่วมกับสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ได้ทำการศึกษาการนำขานอ้อยมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นอาหารสำหรับโคนม ขานอ้อยที่นำมาใช้ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้เพราะการปรับปรุงคุณภาพต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายซึ่งกำลังดำเนินการขอสนับสนุนทุนวิจัยอยู่ การทดลองเบื้องต้นจึงนำขานอ้อยที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมการทำน้ำตาลในจังหวัดนครราชสีมาของกลุ่มวังขนายมาตากแห้ง แล้วนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยการเสริมอาหารประเภทพลังงานและโปรตีน Suksombat (1997) ทดลองใช้ขานอ้อย 20% ในสูตรอาหารหยาบผสม 4 สูตร ซึ่งสร้างความสมดุลย์ทางโภชนาการให้เพียงพอกับความต้องการของโครีดนมโดยการเสริมมันสำปะหลัง กากเมล็ดฝ้าย กากน้ำตาลและยูเรีย เลี้ยงโครีดนมในช่วงปลายระยะให้นม ผลปรากฏว่าโครีดนมทุกกลุ่มการทดลองให้ผลผลิตน้ำนมอยู่ในเกณฑ์ดี กล่าวคือให้น้ำนมเฉลี่ย 8.3-9.3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งนับว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ การทดลองต่อมา (Suksombat, 1998a, b; 1999a, b; 2000a) ใช้ขานอ้อยระดับต่างๆตั้งแต่ 32% ถึง 64% เป็นส่วนประกอบในอาหารหยาบผสมที่เสริมด้วยมันสำปะหลังและกากเมล็ดฝ้ายเลี้ยงโครีดนมในระยะให้นมต่างๆเปรียบเทียบกับหญ้าสด ทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ทั้งในฟาร์มของมหาวิทยาลัยและฟาร์มของเกษตรกร รวมทั้งศึกษาการยอมรับของเกษตรกรที่มีต่ออาหารหยาบผสมที่มีขานอ้อยเป็นส่วนประกอบ ผลปรากฏว่าการใช้อาหารหยาบผสมที่มีขานอ้อยเป็นส่วนประกอบอยู่ในระดับต่างๆดังกล่าว สามารถใช้ทดแทนหญ้าสดได้ทั้งหมดหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสามารถใช้อาหารหยาบผสมเลี้ยงโครีดนมแทนหญ้าสดได้ 100% โดยไม่ต้องใช้หญ้าสด

## 2.1 ระบบการประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารและความต้องการพลังงานของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

เมื่อประมาณสามทศวรรษก่อนหน้านี้นี้ประเทศในแถบยุโรปจะใช้ระบบประเมินคุณค่าทางพลังงาน ของ Kellner starch-equivalent system (Kellner, 1905 อ้างโดย van der Honing and Alderman, 1988) หรือระบบ fodder units ซึ่ง Kellner ได้ให้คำจำกัดความของคำ “starch-equivalent” ว่า “ศักยภาพของ 1 kg digestible starch ในการผลิตไขมันในโคเนื้อเพศผู้โตเต็มที่ตอน” ฉะนั้นอาหารจะถูกประเมินในรูปของ net energy for fattening ( $NE_f$ ) และ fodder unit (FU) หมายถึง starch equivalent (SE) ของ 1 kg barley as fed สำหรับอาหารสัตว์ชนิดอื่นจะอธิบายโดยการใช้อย่างส่วนต่อ SE ของ barley เช่น maize มีค่า SE เท่ากับ 1.07 เมื่อเทียบกับ barley ต่อมาในระหว่างคริสต์ศักราช 1970-1980 Blaxter ได้นำเสนอระบบประเมินพลังงานแบบใหม่ คือ metabolisable energy (ME) ซึ่งหมายถึง พลังงานรวม (gross energy; GE) หักลบด้วยพลังงานในอุจจาระ (faecal energy; FE) พลังงานสูญเสียทางปัสสาวะ (urinary energy; UE) และพลังงานสูญเสียในรูปของแก๊สมีเทน (methane energy) นอกจากนี้ Blaxter (1962) ยังได้เสนอการคำนวณ net energy for growth, pregnancy และ lactation จาก the measured ME available above maintenance requirements ( $ME_{intake} - ME_m$ ) ซึ่งได้ตีพิมพ์ใน ARC (1965) กล่าวคือ

$$\text{Efficiency for maintenance (\%), } k_m = 1.6 \text{ M/D} + 54.6$$

$$\text{Efficiency for fattening (\%), } k_g = 4.4 \text{ M/D} + 3.0$$

เมื่อ M/D คือ ME content/kgDM of feed (MJME/kgDM)

ในขณะที่  $k_f$  มีค่าผันแปรจาก 62 ถึง 70% และมีความสัมพันธ์แบบ curvilinear กับ M/D

Moe *et al.* (1972) ตีพิมพ์  $NE_L$  system โดยอาศัยพื้นฐานข้อมูลจำนวนมากจากการทดลองทำ energy balance ในโคนม ในระบบนี้ ค่า ME วัดจาก production level และแปลงเป็นค่า  $NE_L$  โดยสมการ

$$NE_L \text{ (MJ/kgDM)} = 0.703 \text{ ME} - 0.795$$

ในที่นี้ efficiency for lactation,  $k_l$  ผันแปรอยู่ระหว่าง 0.59-0.64

จากผลการดำเนินงานของ EAAP Working Group นำโดย van ES ในต้นคริสต์ทศวรรษที่ 1970 ได้สร้างพื้นฐานในการประเมินระบบพลังงานใหม่ดังกล่าวข้างต้น และได้ถูกนำไปใช้โดย The Netherlands, France, Belgium และ Switzerland ในปี 1977 ตามด้วย Germany ในปี 1981, Yugoslavia และ Greece ในปี 1984

### 2.1.1 การวัดและการคำนวณ ME content ในอาหารสัตว์

การประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่ง มีวิธีการโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า bomb calorimeter เพื่อทำการหาค่า GE ในอาหารที่สัตว์กินเข้าไปและในอุจจาระ เมื่อหักลบกันแล้วจะได้ค่า DE ทำการวัดค่าพลังงานที่สูญเสียไปในปัสสาวะและในรูปแก๊ส methane โดย respiration

calorimeter จะสามารถคำนวณค่า ME ได้ แต่ทั้งนี้ต้องใช้สัตว์ทดลองเพื่อหา DE และ ME แต่วิธีการที่ต้องเกี่ยวข้องกับการใช้สัตว์ทดลองเป็นวิธีที่ยุ่งยากและซับซ้อน เสียเวลาและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ในปัจจุบันนักวิจัยจึงได้มีความพยายามหาวิธีการที่ง่ายและสะดวกเพื่อที่จะประเมินคุณค่าทางพลังงานต่างๆของอาหารสัตว์ โดยการคำนวณ methane energy จาก organic matter digestibility (OMD; Blaxter and Clapperton, 1965) หรือ methane และ urinary energy จากค่าคงที่คือ 0.19 ของ DE (Armstrong, 1964) นอกจากนี้ยังสามารถประมาณค่าทางพลังงานได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่าง GE กับ ส่วนประกอบทางเคมีที่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธี proximate และระหว่าง ME กับค่าการย่อยได้ของ dry matter (DM) หรือ organic matter (OM) หรือ modified acid detergent fibre (MADF)

ตัวอย่างสมการทำนายค่าทางพลังงานได้สรุปไว้ดังนี้

$$GE = 5.77 CP + 8.74 EE + 5.0 CF + 4.06 NFE - 1.05 \text{ sugars}$$

เมื่อ GE มีหน่วยเป็น kcal/kgDM, CP, EE, CF, NFE และ sugars มีหน่วยเป็น g/kgDM (Schiemann *et al.*, 1971 อ้างโดย van der Honing and Anderman, 1988)

การคำนวณค่า ME โดยคำนวณจากการที่ ME เป็นสัดส่วนคงที่ของ DE

$$ME = 0.81 DE \text{ (Armstrong, 1964)}$$

การคำนวณค่า ME จาก DOMD โดยทั่วไป OM ของเมล็ดธัญพืชและพืชอาหารสัตว์จะมี GE อยู่ประมาณ 19 MJ/kgDM; จากสมการข้างต้น ( $ME = 0.81 DE$ ) สามารถที่จะใช้ general conversion factor ควบคู่กับผลที่ได้จากการทำ digestibility trials (*in vivo* digestibility) และ *in vitro* digestibility (Tilley and Terry, 1963) คือ

$$ME \text{ (MJ/kgDM)} = 0.015 \text{ DOMD (g/kgDM)} \text{ [Morgan and Barber, 1979]}$$

อีกทางเลือกหนึ่ง ผลที่ได้จากการทำ digestibility trials และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ proximate analyses ในอาหารสัตว์และในมูลสัตว์ สามารถนำมาสร้างสมการในการคำนวณหาค่า ME ในอาหารสัตว์ได้ โดยใช้ regression equations ตัวอย่างสมการที่ใช้ในประเทศต่างๆได้แสดงดังนี้

$$\text{สมการหลัก } ME = a \text{ DCP} + b \text{ DEE} + c \text{ DCF} + d \text{ DNFE} + e$$

| Country | System | Equation                                                                                                   |
|---------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| U.K.    | ME     | $ME \text{ (kJ/kgDM)} = 15.2 \text{ DCP} + 34.2 \text{ DEE} + 12.8 \text{ DCF} + 15.9 \text{ DNFE}$        |
| U.S.A.  | NE     | $ME \text{ (kJ/kgDM)} = 18.6 \text{ DCP} + 41.9 \text{ DEE} + 18.6 \text{ DCF} + 18.6 \text{ DNFE} - 1883$ |

(อ้างโดย van der Honing and Anderman, 1988)

นอกจากนี้ยังมีสมการอื่นๆที่ทำนายค่าพลังงานอีกดังนี้

$$ME \text{ (Mcal/kgDM)} = 3.63 \text{ DCP} + 8.17 \text{ DEE} + 3.06 \text{ DCF} + 3.87 \text{ DNFE} \text{ (Nehring, 1969)}$$

$$ME \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.044 \text{ DMD} - 0.599 \quad (\text{Armstrong, 1964})$$

$$DE \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.043 \text{ DMD} - 0.114 \quad (\text{Minson and Milford, 1966})$$



$$DE \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.0418 \text{ DMD} + 0.219 \quad (\text{Butterworth, 1964})$$

$$DE \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.0462 \text{ DMD} - 0.158 \quad (\text{Moir, 1961})$$

### ตารางที่ 2.1 สมการในการประมาณค่าพลังงานจากผลวิเคราะห์ต่างๆ

| Type of feeds                 | (MJ/kgDM)                       | (Mcal/kgDM)                      |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Fresh grass                   | $= 16.2 - 0.0185(\text{MADF})$  | $= 3.87 - 0.0044(\text{MADF})$   |
| (Givens <i>et al.</i> , 1990) | $= -0.46 + 0.017(\text{DOMD})$  | $= -0.11 + 0.0041(\text{DOMD})$  |
| Grass hay                     | $= 2.63 + 0.0109(\text{DOMD})$  | $= 0.63 + 0.0026(\text{DOMD})$   |
| (Moss and Givens, 1990)       |                                 |                                  |
| Grass silage                  | $= 15.0 - 0.014(\text{MADF})$   | $= 3.585 - 0.003(\text{MADF})$   |
| (Givens <i>et al.</i> , 1989) | $= 2.91 + 0.012(\text{DOMD})$   | $= 0.696 + 0.0029(\text{DOMD})$  |
| Maize silage                  | $= 13.38 - 0.0113(\text{MADF})$ | $= 3.20 - 0.0027(\text{MADF})$   |
| (Givens, 1990)                |                                 |                                  |
| Cereal straws                 | $= 0.53 + 0.0142(\text{DOMD})$  | $= 0.127 + 0.0034(\text{DOMD})$  |
| (Givens <i>et al.</i> , 1988) |                                 |                                  |
| Ammoniated cereal straws      | $= 2.24 + 0.0098(\text{DOMD})$  | $= 0.535 + 0.0023(\text{DOMD})$  |
| (Givens <i>et al.</i> , 1988) |                                 |                                  |
| Alkali treated straws         | $= 2.54 + 0.0093 (\text{DOMD})$ | $= 0.607 + 0.0022 (\text{DOMD})$ |
| (Moss <i>et al.</i> , 1990)   |                                 |                                  |

### 2.1.2 สูตรระบบพลังงานที่ใช้ในสหราชอาณาจักรและสหรัฐอเมริกา

1) *British metabolisable energy, ME, system used in the U.K.*

ระบบ ME ได้เริ่มใช้ในปี 1976 โดยมีพื้นฐานจากรายงานความต้องการโภชนะต่างๆของสัตว์เคี้ยวเอื้องของ A.R.C. (1965) ซึ่งได้ปรับปรุงให้เหมาะสมกับผลที่ได้จากการทดลอง feeding trials

#### Nutritive value

การคำนวณค่า ME คำนวณได้จากสมการ

$$ME \text{ (kJ/kgDM)} = 15.2 \text{ DCP} + 34.2 \text{ DEE} + 12.8 \text{ DCF} + 15.9 \text{ DNFE}$$

หรือ

$$ME = 0.15 \text{ DOMD}$$

$$ME = 0.81 \text{ DE}$$

หรือประมาณจากผลวิเคราะห์ทางเคมี และการวิเคราะห์ *in vitro*

Efficiency of ME utilisation: maintenance,  $k_m = 0.72$ ; lactation,  $k_l = 0.62$ ; growth,  $k_g = 0.0435$   
x ME/DM

### Requirements

#### *Milk production:*

Maintenance:  $(8.3 + 0.091LW)$  MJ ME

For each kg fat-corrected milk (4%fat): 5.3 MJ ME

Plane of nutrition effects: no allowance made.

Energy value of liveweight change in cows: 20 MJ/kg Change

Efficiency of utilisation of mobilised body energy for milk: 0.82

Efficiency of ME utilisation for gain for lactating cow: 0.62

#### Requirement according to The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock, A.R.C. (1980)

#### *Maintenance and milk production.*

Requirement for maintenance =  $Z/k_m$  where fasting metabolism,  $Z = [0.53(LW/1.08)^{0.67} + 0.0043LW]$  and  $k_m = 0.35q + 0.503$ .

For milk production,  $Z$  is calculated as above.

Energy retention in milk,  $R = M \times (1.509 + 0.0406 F)$  where  $F = g \text{ Fat/kg}$

$$k_l = 0.35q - 0.420$$

Level of feeding,  $FL = 1 + (R/k_l)/(Z/k_m)$

Correction for level of feeding:  $1 + 0.018(FL-1)$

Total requirement =  $[1 + 0.018 (FL-1)] (R/k_l + Z/k_m)$

#### *Growth and fattening*

Maintenance requirements for castrates and heifers as above, 15% more for bulls.

Energy value of liveweight gain,  $EV_g$ , as MJ/kg

$$EV_g = (4.1 + 0.0332LW - 0.000009LW^2)/(1 - 0.1475LWG)$$

where LWG is liveweight gain as kg/day

Estimate is to be reduced by 15% for bulls and for large breeds, or increased by 15% for heifers and for small breeds.

Energy retention ( $ER$ ) =  $EV_g/k_f$ , where  $k_f = 0.78q + 0.006$

## 2) Net energy lactating cow, $NE_L$ , N.R.C. (1978)

Net energy lactation,  $NE_L$ , expressed as Mcal/kgDM, calculated from TDN, DE or ME values

### Nutritive value

$$NE_L \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.703 ME - 0.19$$

$$NE_L \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.710 DE - 0.51$$

$$NE_L \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.0245 \%TDN - 0.12$$

(assuming 1 kgTDN = 4.409 Mcal DE)

### Requirements

*Milk production:*

Maintenance:  $0.08 LW^{0.75}$  Mcal  $NE_L$

For each kg fat-corrected milk (4% fat): 0.74 Mcal  $NE_L$

For each kg liveweight gain: + 5.12 Mcal

For each kg liveweight loss: - 4.92 Mcal

### 2.1.3 การประเมินคุณค่าทางพลังงานที่นำเสนอใหม่

ถึงแม้ระบบการประเมินคุณค่าทางโภชนาโดยใช้ค่า NE จะเป็นระบบที่ดี แต่ทำการวัดโดยตรงได้ยาก ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก ตลอดจนต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่งยากซับซ้อน ประเทศต่างๆจึงคิดค้นสมการมาใช้ในการคำนวณ โดยใช้การประเมินค่าทางพลังงานจากองค์ประกอบทางเคมี เช่นในประเทศเยอรมันคำนวณค่า  $NE_L$  จาก GE และ ME ประเทศสหรัฐอเมริกาคำนวณจาก TDN อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งค่าต่างๆในการทำนายคุณค่าทางพลังงานก็มีหลากหลาย บางสมการใช้ได้เฉพาะอาหารบางชนิด เช่น อาหารข้น บางสมการใช้ได้เฉพาะกับอาหารหยาบ จนกระทั่งในปี 1992 Weiss และคณะ (Weiss *et al.*, 1992) จึงทำการปรับปรุงสมการที่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าทางพลังงานกับอาหารหลายชนิดรวมทั้ง by-products และ heat-damaged forages ได้ หลักการของสมการนี้ยึดหลักที่ว่า โภชนาชนิดใดที่ให้พลังงานได้ต้องนำมาคำนวณด้วย ซึ่งโภชนาดังกล่าวประกอบด้วย CP, Fat, NFC และ NDF การคำนวณต้องอาศัย true digestibility (TD) ของโภชนาเหล่านั้นๆ จากนั้นจะได้ค่า TDN ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า NE ได้โดยอาศัยสมการต่างๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

### พลังงานจากโปรตีน

โปรตีนเป็น uniform feed fraction เพราะค่า true digestibility (TD) ของ crude protein (CP) เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ ในพืชส่วนมากมีค่าผันแปรระหว่าง 0.9-1.0 เฉลี่ย 0.93 (Holter and Reid, 1959) สำหรับอาหารข้นที่ไม่ได้ผ่านความร้อน (unheated concentrate) ค่า  $TD_{CP}$  จะมีค่าประมาณ 1.0 (Fonnesbeck *et al.*, 1984) อาหารที่ถูกความร้อน ค่า  $TD_{CP}$  จะมีค่าลดลง เนื่องจากการย่อยได้ของ CP และอัตราการถูกทำลายด้วยความร้อน (heat damage) มีความสัมพันธ์กับ acid detergent insoluble

nitrogen (ADIN) ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่า  $TD_{CP}$  ได้จากค่า ADIN แต่เนื่องจากความสัมพันธ์ในอาหารข้นและในอาหารหยาบมีไม่เท่ากัน จึงต้องอาศัยสมการคำนวณที่แตกต่างกันดังนี้

$$\text{Concentrate: } TD_{CP-C} = 1 - 0.004 \text{ ADIN (Nakamura et al., 1994)}$$

โดย ADIN คิดเป็นสัดส่วนของ N ทั้งหมด การวิเคราะห์ค่า ADIN จะทำเฉพาะในตัวอย่างอาหารข้นที่ผ่านความร้อนเท่านั้น

$$\text{Roughage: } TD_{CP-F} = e^{-0.012 \text{ ADIN}} \text{ (Weiss et al., 1983)}$$

เมื่อ  $e$  เป็นฐานของ natural logarithm และ ADIN แทนค่าเป็นสัดส่วนของ total N โดยทั่วไปสัดส่วนของ N ใน ADIN ของพืชที่ไม่ถูกความร้อนจะเท่ากับ 0.07

เมื่อได้ค่า  $TD_{CP}$  แล้ว จึงคำนวณค่าพลังงานของ CP ( $E_{CP}$ ) ดังนี้

$$E_{CP} = TD_{CP} \times CP$$

#### พลังงานจากไขมัน

ค่า ether extract (EE) ในอาหารประกอบด้วยกรดไขมัน (รวมทั้ง triglycerides), waxes, pigments และอื่นๆอีกเล็กน้อย Palmquist (1990) แนะนำว่าในการหาปริมาณไขมันควรวิเคราะห์ fatty acids (FA) มากกว่าการวิเคราะห์ EE ทั้งนี้เนื่องจาก FA เป็นค่าที่ uniform ในขณะที่ EE ไม่ uniform แต่เครื่องมือในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หา EE ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จึงยังคงนิยมวิเคราะห์ค่า EE อยู่ อย่างไรก็ตามการคำนวณหาค่า FA สามารถทำได้โดยการคำนวณจากค่า EE ทั้งนี้เพราะไขมันที่ไม่ใช่ FA มีประมาณ 1.5% ของ DM ในอาหารเท่านั้น

$$FA = EE - 1.5$$

ค่า TD ของ FA ขึ้นอยู่กับปริมาณของ FA ในอาหาร อาหารโคนมโดยทั่วไปมี FA อยู่ประมาณ 3% และมีค่า TD ประมาณ 0.94 ถ้าค่า FA เพิ่มขึ้น 1% ค่า TD ของ FA จะลดลง 0.03 (Palmquist, 1991) ฉะนั้น

$$E_{FA} = [1.03 - (0.03 \text{ FA})] \times 2.25 \text{ FA}$$

ค่า 2.25 เป็นค่าพลังงานของไขมันที่สูงกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า

#### พลังงานจาก NDF

NDF ไม่ใช่ค่าที่ uniform แต่ NDF ส่วนที่อาจย่อยได้ (potential digestible NDF หรือ pdNDF) เป็นค่าที่ uniform โดยมีการย่อยได้เท่ากับ 1.0 Conrad et al. (1984) ได้สร้างสมการประเมินค่า pdNDF โดยอาศัย lignified surface area ทั้งนี้เพราะ lignin ย่อยไม่ได้ จึงควรนำมาหักลบออกจาก NDF เพื่อให้ได้ค่า lignin-free NDF นอกจากนี้ lignin ยังไปขัดขวางการย่อยได้ของ cellulose และ hemicellulose จึง

ควรคำนวณค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิว NDF ที่ถูกปกคลุมด้วย lignin เพื่อนำมาหักลบออก ดังนั้นค่า pdNDF คำนวณได้จากสมการ

$$\text{pdNDF} = (\text{NDF} - \text{Lignin}) [1 - (\text{Lignin}/\text{NDF})^{0.667}]$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % ของ DM และ lignin วิเคราะห์โดยวิธี ADF - sulphuric สมการข้างต้นนี้ใช้ได้กับพืชแทบทุกชนิด แต่ใน by-product หลายชนิด อาจมีส่วนของ CP ปนมาในค่า NDF มาก ทำให้มีค่า NDF สูงเกินไป ดังนั้นจึงควรวิเคราะห์ neutral detergent insoluble nitrogen (NDIN) ด้วยเพื่อคำนวณค่า NDF ที่ปราศจาก N แล้ว ( $\text{NDF}_N$ ) ดังนี้

$$\text{NDF}_N = \text{NDF} - \text{NDICP}$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % และ NDICP เท่ากับ  $\text{NDIN} \times 6.25$

พลังงานจาก NDF คำนวณโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประมาณว่าการย่อยได้ของ pdNDF ในสัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับ maintenance มีค่าเท่ากับ 0.75

$$E_{\text{NDF}} = 0.75 (\text{NDF}_N - \text{Lignin}) [1 - \text{Lignin}/\text{NDF}_N]^{0.667}]$$

#### พลังงานจาก NFC

โดยปกติ NFC เป็น uniform feed fraction ที่มีค่า TD ประมาณ 0.98 ถ้าสัตว์ได้รับอาหารที่ระดับ maintenance NFC คำนวณได้โดยการหักลบค่า ash, CP,  $\text{NDF}_N$  และ EE จาก 100 ที่ต้องใช้ค่า  $\text{NDF}_N$  แทนค่า NDF ก็เพื่อไม่ให้ CP ถูกหักออกซ้ำกันถึง 2 ครั้ง มิฉะนั้นจะทำให้ค่า NFC ต่ำไป การคำนวณพลังงานจาก NFC คำนวณได้ดังสมการ

$$E_{\text{NFC}} = 0.98 [100 - \text{NDF}_N - \text{CP} - \text{Ash} - (\text{FA} + 1.5)]$$

#### สมการคำนวณค่า TDN

ค่า TDN คำนวณได้จากการรวมพลังงาน CP, FA, NDF และ NFC เข้าด้วยกัน แต่เนื่องจากพลังงานจากองค์ประกอบเหล่านี้ได้มาจากค่า true digestibility ในขณะที่ค่า TDN เป็นค่าที่คิดจาก apparent digestibility ดังนั้นจึงต้องนำค่าพลังงานจาก metabolic faecal material มาหักลบออก ซึ่งข้อมูลจากแหล่งต่างๆสรุปได้ว่า metabolic TDN มีค่าประมาณ 7 ดังนั้นสมการคำนวณค่า TDN จะเป็นดังนี้

$$\text{TDN} = E_{\text{CP}} + E_{\text{FA}} + E_{\text{NDF}} + E_{\text{NFC}} - 7$$

#### การปรับค่าพลังงานจากไขมัน

เนื่องจากการเปลี่ยน DE เป็น NE ในกรณีของไขมันมีประสิทธิภาพประมาณ 0.64 แต่ในกรณีของคาร์โบไฮเดรตมีค่า 0.52 (Andrews *et al.*, 1991) แสดงว่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยน DE หรือ TDN ไปเป็น NE ในไขมันสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต 23% แต่ในสูตร TDN ดังเดิมไม่ได้คำนึงถึงจุดนี้ คำนึงถึง

เฉพาะพลังงานในไขมันมีมากกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า เมื่อวิเคราะห์ด้วย bomb calorimeter เท่านั้น ดังนั้นเพื่อความถูกต้องในการคำนวณค่า ME หรือ NE จึงควรเปลี่ยน factor 2.25 เป็น 2.8 (ซึ่งมาจาก  $2.25 \times 1.23$ ) ได้สมการดังนี้

$$E_{FA} = 0.97 \times FA \times 2.8$$

การคำนวณค่า  $NE_L$  จาก TDN, ME และ NDF

สมการต่อไปนี้เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่า NE จาก TDN, ME และ NDF

$$NE_L \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.0245 \text{ TDN} - 0.12$$

$$ME \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.0362 \text{ TDN}$$

$$DE \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.04409 \text{ TDN}$$

$$ME = 1.01 \text{ DE} - 0.45$$

$$NE_M \text{ (Mcal/kgDM)} = -1.2 + 1.37 \text{ ME} - 0.138 \text{ ME}^2 + 0.0105 \text{ ME}^3$$

$$NE_G \text{ (Mcal/kgDM)} = -1.65 + 1.42 \text{ ME} - 1.74 \text{ ME}^2 + 0.0122 \text{ ME}^3$$

$$NE_G \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.85 \text{ ME} - 0.09$$

$$NE_G \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.58 \text{ ME} - 0.01 \text{ NDF} + 0.08$$

## 2.2 ระบบการประเมินคุณค่าของโปรตีนในอาหารและความต้องการโปรตีนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการตีพิมพ์ระบบการประเมินความต้องการโปรตีนของสัตว์เคี้ยวเอื้องใหม่โดยนักวิจัยจำนวนมากทั้งในสหรัฐอเมริกาและในยุโรป ระบบเหล่านี้ต้องการวิธีการใหม่ๆ ในการประเมินส่วนประกอบของโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งระบบใหม่นี้จะนำมาทดแทนระบบ digestible crude protein (DCP) ที่ใช้ในยุโรปมาเกือบศตวรรษ

การวัดค่า crude protein ในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์หาค่า nitrogen (N) ในอาหาร แล้วคูณด้วย factor 6.25 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสัดส่วน protein ต่อ nitrogen ในอาหารสัตว์ สารประกอบ non-protein nitrogen (NPN) เช่น urea, ammonia และ nitrate จะถูกรวมอยู่ด้วยในการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ประโยชน์จาก NPN เหล่านี้ได้บางส่วนในกระเพาะ rumen

### 2.2.1 การย่อยและการดูดซึมโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งประกอบด้วยกระเพาะ 4 กระเพาะ กระเพาะ rumen เป็นกระเพาะที่ใหญ่ที่สุด มีความจุประมาณร้อยละ 85 ของความจุกระเพาะทั้งหมด ภายในกระเพาะมีจุลินทรีย์มากมายหลายชนิด ที่มีมากได้แก่ bacteria และ protozoa ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้มีหน้าที่ช่วยในการย่อยอาหารที่สัตว์กิน

เข้าไป และผลิต metabolites ต่างๆซึ่งสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ขบวนการย่อย cellulose, starch และ sugars ในอาหารจะให้ผลผลิต VFAs (acetic, propionic และ butyric acids) ซึ่งจะถูกลดซึมและใช้ประโยชน์โดยสัตว์ต่อไป proteins ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลาย (degraded) ให้เป็น peptides, amino acids และ ammonia ซึ่งบางส่วนจะถูกใช้ในการสังเคราะห์ microbial protein ซึ่งไม่สามารถถูกลดซึมได้ในกระเพาะ rumen ประมาณว่าร้อยละ 65 ของ DOM ในอาหารจะถูกย่อยสลายในกระเพาะ rumen

ส่วนของอาหารภายในกระเพาะ rumen จะไหลผ่านไปยังกระเพาะส่วนล่าง (abomasum) และผ่านต่อไปยังลำไส้เล็ก (small intestine) ซึ่งการย่อยจะเป็นเช่นเดียวกับการย่อยของสัตว์กระเพาะเดี่ยว (non-ruminants) คือย่อยโดย enzymes ที่ขับออกมาจากกระเพาะและลำไส้เล็ก ส่วนของโปรตีนที่ไหลผ่านมายังกระเพาะส่วนล่างจะประกอบด้วยส่วนผสมของโปรตีนในอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะ rumen (undegraded dietary protein) และส่วนของจุลินทรีย์โปรตีน (microbial crude protein) ซึ่งส่วนของ microbial crude protein จะมีอยู่ประมาณร้อยละ 50-70 ของโปรตีนที่ผ่านไปยังลำไส้เล็ก microbial protein จะประกอบไปด้วย amino acids ซึ่งเหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ ด้วยความสามารถพิเศษนี้ ruminants จึงสามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งอาหารที่มีโปรตีนต่ำได้ดีกว่าสัตว์ชนิดอื่นๆ แต่ยังคงสามารถผลิตโปรตีนที่มีคุณภาพสูงเช่น นมและเนื้อได้ ruminants ยังสามารถใช้แหล่งของ NPN เช่น urea และ ammonia ได้โดยอาศัยจุลินทรีย์ในกระเพาะ rumen ทั้งนี้ต้องมีพลังงานที่ได้จากการหมักย่อยของ carbohydrates ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ด้วย ความสัมพันธ์ของ energy supply และ microbial protein synthesis นี้คือหัวใจสำคัญของ protein metabolism ใน ruminants ซึ่งความสัมพันธ์นี้ไม่สามารถอธิบายได้ในระบบ digestible crude protein เดิม

### 2.2.2 ระบบการประเมินโปรตีนใหม่: หลักการและคำจำกัดความ

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1977 เป็นต้นมา ได้มีการเสนอ protein requirement system ใหม่ถึง 6 ระบบ ที่ใช้ในแต่ละประเทศดังนี้คือ (1) the British RDP/UDP system (Roy *et al.*, 1977; subsequently published as A.R.C., 1980 and revised A.R.C., 1984); (2) the French "Protein Digested in the Intestine" หรือ PDI system (I.N.R.A., 1978; revised 1987 อ้างโดย van der Honing and Anderman, 1988); (3) the Swiss "Absorbable Protein in the Intestine" หรือ API system (Landis, 1979; 1984 อ้างโดย van der Honing and Anderman, 1988) derived from the French PDI system; (4) the F.R.G. "Crude Protein Flow at the Duodenum" system (Rohr *et al.*, 1986); (5) the Nordic AAT-PBV system, based on "Amino Acids Truly Absorbed in the Small Intestine" (AAT) และ "Protein Balance in the Rumen" (PBV) [NKJ/NFF, 1985]; (6) the U.S. N.R.C. "Absorbed Protein" (AP) system, based on absorbed true protein requirements (N.R.C., 1985)

ระบบการประเมินคุณค่าของโปรตีนที่กล่าวมานี้มีพื้นฐานหลักการเดียวกัน ซึ่งคำจำกัดความของค่าต่างๆที่ใช้สรุปไว้โดย Waldo and Glenn (1982)

(a) *Degraded dietary crude protein; rumen degradable protein; RDP*

Crude protein ส่วนนี้จะถูก metabolise ด้วย rumen microbes ได้ peptides และ ammonia ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกสังเคราะห์เป็น microbial crude protein (MCP)

(b) *Microbial crude protein; MCP*

ประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ microbial crude protein ขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่เพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะได้จากการย่อยสลายของ carbohydrates ในอาหาร MCP นี้สามารถทำนายได้จาก energy intake ในรูปของ ME หรือ NE (MJ/day) หรือ ทำนายจาก digestible organic matter (DOM; kg/day) ME หรือ NE และ DOM มีสหสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ซึ่งค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปแล้ว 1 kgDOM จะเทียบได้กับ 15.6 MJ ME หรือ 9.4 MJ NE<sub>L</sub>

(c) *Efficiency of conversion of RDP to MCP, MCP/RDP*

เกือบทุกระบบกำหนดค่าประสิทธิภาพในการใช้ N จากโปรตีนในอาหารเพื่อการสังเคราะห์ microbial crude protein มีค่าเท่ากับ 1.0 เมื่อ CP intake ถูกจำกัด ยกเว้น the U.S. N.R.C. system ซึ่งกำหนดค่าที่ต่ำกว่า คือ 0.9 เมื่อ CP intake เกินกว่าความต้องการ ประสิทธิภาพจะมีค่าน้อยกว่า 1.0 ทั้งนี้การสังเคราะห์ MCP จะถูกจำกัดโดยปริมาณพลังงาน ประสิทธิภาพในการ capture NPN ถูกกำหนดให้มีค่าเพียง 0.8 (A.R.C., 1980)

(d) *Undegraded dietary crude protein, undegradable protein, UDP*

Protein ส่วนนี้คือ protein ในอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายโดยการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะ rumen แล้วผ่านไปยัง abomasum และ intestines ถูกย่อยด้วย enzymes ต่างๆได้ amino acids ซึ่งจะถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในร่างกายสัตว์ต่อไป

(e) *Proportion of true protein in microbial crude protein, MTP/MCP*

Microbial crude protein จะประกอบไปด้วย nucleic acid N (NAN) ในสัดส่วนต่างๆกัน ซึ่ง NAN นี้สัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการสังเคราะห์ tissue protein หรือ นำนมได้

(f) *Digestibility of microbial true protein, DMTP/MTP*

MTP จะถูกย่อยและดูดซึมใน intestines ได้แตกต่างกันผันแปรอยู่ระหว่าง 0.80-0.85

(g) *Digestibility of undegraded dietary protein, DUDP/UDP*

ส่วนประกอบและการย่อยได้ใน abomasum และ intestines ของ UDP ในอาหารสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอาหารสัตว์ชนิดนั้นๆและการ treat อาหารนั้นๆ อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่จะใช้ค่าคงที่คือ 0.8 หรือ 0.85



(h) *Efficiency of utilisation of absorbed amino acids*

ประสิทธิภาพการใช้ amino acids ที่ถูกดูดซึมจะถูกกำหนดบนสมมุติฐานที่ว่า absorbed amino acids ทั้งหมดจะถูกใช้เพื่อการสังเคราะห์โปรตีนในอวัยวะต่างๆเท่านั้น ไม่ได้ใช้เพื่อการอื่นๆ อาทิ การสังเคราะห์ไขมัน

### 2.2.3 การวัดค่าการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การวัดค่าการย่อยสลายของโปรตีนในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มักจะใช้การวัดค่าการละลายได้ของโปรตีน (protein solubility) ใน buffer solution (Burroughs *et al.*, 1975; Crooker *et al.*, 1978) แต่ในปัจจุบันนิยมใช้และเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางคือการใช้ *in situ* dacron bag technique ซึ่งแนะนำโดย Orskov and Mehrez (1977) การวัดนี้จะวัดส่วนของ nitrogen ในอาหารที่หายไปจาก dacron bag ที่จุ่มแช่ในกระเพาะ rumen เป็นระยะเวลาต่างๆ จนถึง 72 ชั่วโมง ส่วนของ nitrogen ที่หายไปเป็นเวลา 0 ชั่วโมงวัดได้จากการล้างถุงในน้ำเย็นธรรมดา ส่วนค่าที่ได้จากเวลาอื่นๆ จะนำมาเข้าสมการ exponential เพื่อหาค่าการย่อยสลายของ nitrogen (degradability,  $dg$ ) ดังนี้คือ (Orskov and Mehrez, 1977)

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

เมื่อ  $dg$  = degradability;  $a$  = cold-water-soluble N;  $(a + b)$  = asymptote of curve, the potential maximum degradable N;  $c$  = rate of disappearance of N per hour;  $t$  = time in hours

นอกจากนี้ในระยะต่อมา Orskov *et al.* (1979) ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการนำค่า outflow rate ของ feed particles ในกระเพาะ rumen มาร่วมในการคำนวณเพื่อปรับค่า degradability ให้ใกล้เคียง *in vivo* study ยิ่งขึ้น ซึ่งค่า outflow rate จะผันแปรจาก 0.02/h เมื่อสัตว์ได้รับอาหารในระดับ maintenance จนถึง 0.08/h เมื่อสัตว์ได้รับอาหารมากๆ เช่นในโคนมที่ให้ผลผลิตสูง การคำนวณใช้สมการข้างล่าง และค่า degradability ที่ได้เรียกว่า effective degradability ( $p$ ) และ outflow rate ใช้สัญลักษณ์  $k$

$$p = a + bc/(c + k)$$

**Table 2.2 Factors in the utilisation of protein by ruminants**

| Factor                                                           | Protein system |        |
|------------------------------------------------------------------|----------------|--------|
|                                                                  | A.R.C.         | N.R.C. |
| Microbial crude protein/degraded dietary crude protein           | 0.8-1.0        | 0.9    |
| Microbial crude protein/digestible organic matter                | 0.130          | 0.14   |
| Microbial crude protein (g/MJ metabolisable energy)              | 8.4            | 9.6    |
| Microbial true protein/microbial crude protein                   | 0.80           | 0.80   |
| Digestible microbial true protein/microbial true protein         | 0.85           | 0.80   |
| Digestible microbial true protein/microbial crude protein        | 0.68           | 0.64   |
| Digestible undegraded dietary protein/undegraded dietary protein | 0.85           | 0.80   |
| Tissue protein (amino acids)/absorbed amino acids                |                |        |
| Maintenance                                                      | 0.79           | 0.67   |
| Lactation                                                        | 0.80           | 0.65   |
| Growth                                                           | 0.80           | 0.50   |

## 2.3 ระบบการประเมินโปรตีนที่ใช้ในสหราชอาณาจักรและสหรัฐอเมริกา

1) *Degraded dietary crude protein/undegraded dietary protein, RDP/UDP, used in the U.K.*

Crude protein (CP, g/kgDM); degraded dietary crude protein (RDP, g/kgDM); undegraded dietary protein (UDP, g/kgDM)

### Nutritive value

From the *in situ* dacron bag measurements of N loss from feed with time, Orskov and Mehrez (1977), corrected for outflow rate, Then  $RDP = p \text{ CP (g/kgDM)}$ , and  $UDP = CP - RDP \text{ (g/kgDM)}$

*Calculation of dietary specification:*

$$RDP \text{ (g/day)} = 8.38 \text{ ME intake (MJ/day)}$$

$$UDP \text{ (g/day)} = 1.47TP - 10.32 \text{ ME intake (MJ/day)}$$

where TP is tissue protein (g/day)

$$CP \text{ (g/day)} = RDP + UDP$$

Degradability of dietary protein required,  $p = RDP/CP$ .

### Requirements

#### *Milk production*

Maintenance protein,  $TP = 2.3 \text{ g/kg LW}^{0.75} \text{ (g/day)}$

Milk tissue protein,  $TP = 3.3 \text{ (g/kg milk)}$

Liveweight gain or loss,  $TP = 150 \text{ or } 112 \text{ (g/kg)}$

#### *Growth and fattening*

Maintenance tissue protein,  $TP = 2.3 \text{ g/kg LW}^{0.75} \text{ (g/day)}$

Liveweight gain tissue protein,  $TP = 100 - 220 \text{ (g/day)}$

Sources: (A.R.C., 1980; 1984)

#### *2) Absorbed true protein, AP, system used in the U.S.A. (N.R.C., 1985)*

Absorbed true protein (AP, g/day)

### Nutritive value

The AP value of a diet is calculated from:

(1) microbial crude protein (MCP) calculated from the  $NE_L$ , TDN, or ME content::

$$MCP \text{ (g/day)} = 7.16 \text{ } NE_L \text{ (Mcal)} - 193$$

$$MCP \text{ (g/day)} = 10.6 \text{ ME (MJ)} - 193$$

For diets with less than 40% forage, an alternative function is suggested, with a term for forage and concentrate intake as percentage of liveweight (see N.R.C., 1985)

(2) undegraded protein content (UDP, g/day) calculated from *in situ* dacron bag measurements, corrected for outflow rate, as in the U.K. system.

(3) metabolic faecal protein (FCP, g/kg of indigestible dry matter, IDM) calculated from TDN value of diet:  $FCP = 90 (1 - 0.92 \text{ TDN}) \text{ [g/day]}$

The following values have been taken, in calculating the digested microbial true protein, DMTP or AP in this system, and digestible UDP, DUDP:  $MTP/MCP = 0.8$ ;  $DMTP/MTP = 0.8$ ;  $DUDP/UDP = 0.8$ . Then  $AP \text{ (g/day)} = 0.64 \text{ MCP} + 0.8 \text{ UDP} - \text{FCP}$ .

### Requirements

The efficiency of capture of RDP by the microbes in the rumen is assumed to have a maximum value of 0.9:  $MCP/RDP = 0.9$ . Allowance is also made for the proportion of recycled protein N, RP, with the function  $RP = 1.22 - 0.012 \text{ CP} + 0.0000324 \text{ CP}^2$ , which for CP levels of 100, 120, 140, 160 g/kgDM gives values for RP of 0.34, 0.25, 0.18 and 0.13, an alternative function is

suggested, with team for forage then  $CP \text{ (g/day)} = (RDP + UDP)/(1 + RP)$ . Or assume value for recycled protein (RP) is 0.15, then  $CP \text{ (g/day)} = (RDP + UDP)/1.15$ .

#### *Milk production*

Maintenance AP (g/day) =  $(EUP + DPL)/0.67 + MFP$ , where EUP (endogenous urinary protein) loss =  $2.75 LW^{0.50}$  (g/day); DPL (dermal protein loss) =  $0.2 LW^{0.60}$  (g/day); and 0.67 is the value for  $k_{nm}$ , the efficiency of utilisation of absorbed amino acids for maintenance.

Milk AP = milk protein 0.65 g/kg milk = 50 g/kg milk; where 0.65 is the value for  $k_{nl}$ , the efficiency of utilisation of AP for milk protein synthesis.

Liveweight loss AP (g/day) = 160 g/kg, assuming an efficiency of 1.0 for mobilisation and utilisation of tissue protein.

#### *Growth and fattening*

Maintenance AP (g/day) =  $(EUP + DPL)/0.67 + MFP$ .

Liveweight gain AP (g/day) = tissue protein in gain/0.5 (g/day)

where TP is 140 - 160 g/kg liveweight change, depending on liveweight, LW, and 0.5 is the value of  $k_{ng}$ , the efficiency of utilisation of AP for lean tissue deposition.

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยการศึกษาทดลองหลายชุดการทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองมีวิธีดำเนินการวิจัยแตกต่างกันไป รายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัยจะระบุไว้ในแต่ละการทดลอง ตั้งแต่บทที่ 4 ถึง บทที่ 9 อย่างไรก็ตาม โครงการวิจัยนี้มีวิธีดำเนินการวิจัยอย่างกว้างๆ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนและวิธีดำเนินการต่างๆ ดังนี้

3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย/ฟางข้าวที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการต่างๆ โดยมุ่งเน้นการใช้วิธีการทางเคมี เช่น การใช้ NaOH, urea หรือ combination ของสารเคมีเหล่านี้

3.1.1 ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี อาทิ DM, Ash, N, EE, GE, NDF, ADF, ADL, ADIN และ NDIN รวมทั้งการย่อยสลายโภชนาด้วยวิธี *in sacco* ของชานอ้อย/ฟางข้าวทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ เพื่อหากรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพที่เหมาะสม

3.1.2 คัดเลือกวิธีการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย/ฟางข้าวที่เหมาะสมเพียง 1 วิธี เพื่อศึกษาหาการย่อยได้แบบ *in vivo* ในโคนมเจาะกระเพาะ โดยใช้สัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้น (กากถั่วเหลือง) 3 ระดับ (regression analysis)

3.2 ศึกษากรรมวิธีการผลิตชานอ้อย/ฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพในระดับ large scale และนำชานอ้อย/ฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วมาเสริมด้วยวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีน (กากถั่วเหลือง) พลังงาน (ข้าวโพดบด) และแร่ธาตุ (สำเร็จรูป) เพื่อให้ได้อาหารรวม (Total mixed ration, TMR) ที่มีชานอ้อย/ฟางข้าวคุณภาพดีเป็นส่วนประกอบ

3.3 ประเมินค่าพลังงานและคุณภาพโปรตีนโดยใช้ข้อมูลจากการทดลอง

3.4 ประกอบสูตรอาหารรวมและศึกษาการตอบสนองด้านการผลิตน้ำนมของโคนมที่ให้นมปานกลาง

3.4.1 ประกอบสูตรอาหารรวม โดยใช้ชานอ้อย/ฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพเป็นหลัก โดยปรับโปรตีนและพลังงานให้เป็น 90, 100 และ 110% ของ NRC

3.4.2 ศึกษาการตอบสนองด้านการให้นม ส่วนประกอบของน้ำนม และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมที่ให้นมปานกลางที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆดังกล่าว

3.5 ประเมินหาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมที่ให้นมปานกลาง

## บทที่ 4

### การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยและฟางข้าวก่อนปรับปรุงคุณภาพ

#### 4.1 คำนำ

ผลพลอยได้ทางการเกษตรที่นิยมนำมาใช้เป็นอาหารของโคนมมีหลายชนิด แต่ที่มีในปริมาณมากและน่าสนใจ คือ ชานอ้อยและฟางข้าว ซึ่งได้มีนักวิจัยทำการศึกษาดังองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างชานอ้อย/ฟางข้าวดังกล่าวข้างต้นแล้ว ทั้งทำการศึกษาวิจัยในเมืองไทยและในต่างประเทศ แต่ผลของการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยและฟางข้าวในเขตพื้นที่ต่างๆ ก็จะแตกต่างกันไป ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยและฟางข้าวที่อยู่ในเขตจังหวัดนครราชสีมา

#### 4.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยและฟางข้าวก่อนปรับปรุงคุณภาพ

#### 4.3 อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการเก็บตัวอย่างชานอ้อยและฟางข้าวในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา อย่างละ 9 ตัวอย่าง ทำตัวอย่างละ 2 ซ้ำ แล้วนำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการบดผ่านตะแกรงขนาด 0.1 และ 0.2 มิลลิเมตร แยกเก็บใส่ภาชนะพลาสติกฝาเกลียว

นำตัวอย่างดังกล่าวข้างต้น มาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี Proximate analysis (AOAC, 1990) และวิเคราะห์หาองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชโดยวิธี Detergent analysis (Goering and Van Soest, 1970) รวมทั้งวิเคราะห์หา Gross energy (Bomb calorimeter) และการย่อยได้ด้วยวิธีการใช้ถุงไนลอน (Nylon bag technique; Orskov and McDonald, 1981; Lindberg, 1985)

#### 4.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมี และการประเมินค่าพลังงานของชานอ้อยและฟางข้าวก่อนการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับที่ได้มีนักวิจัยท่านอื่นๆ ได้รายงานไว้ (ตารางที่ 4.2) อย่างไรก็ตามผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ไขมัน เถ้า NDF และ ADF ที่มีในฟางข้าวในการวิจัยครั้งนี้ค่อนข้างต่ำกว่าที่รายงานไว้ในตารางที่ 4.2 สำหรับชานอ้อยเปอร์เซ็นต์โปรตีน NDF และ ADF ที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำกว่าที่สรุปในตารางที่ 4.2 อย่างไรก็ตามควรค้นคว้าหาผลวิเคราะห์รายงานเพิ่มเติมให้มากกว่านี้ก่อนที่จะสรุปเปรียบเทียบ ทั้งนี้เพราะมีรายงานเสนอเพียง 2 แห่งเท่านั้น

การประเมินพลังงานโดยเฉพาะ %TDN ประเมินจาก Weiss *et al.* (1992) ซึ่งให้ค่าพลังงานก่อน  
ข้างใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด โดยเฉพาะผลพลอยได้ทางการเกษตร (ชานอ้อยและฟางข้าว)

**ตารางที่ 4.1** องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยและฟางข้าวก่อน  
การปรับปรุงคุณภาพ

| Treatment       | Bagasse      | Rice Straw   |
|-----------------|--------------|--------------|
| %DM             | 55.5 ± 15    | 91.8 ± 0.26  |
| %OM             | 98.3 ± 0.01  | 87.1 ± 0.34  |
| %Ash            | 1.71 ± 0.10  | 12.94 ± 0.34 |
| %CP             | 1.40 ± 0.01  | 2.79 ± 0.14  |
| %EE             | 0.47 ± 0.06  | 1.24 ± 0.06  |
| %CF             | 41.7 ± 0.26  | 32.5 ± 0.18  |
| %NDF            | 87.6 ± 0.24  | 71.6 ± 0.65  |
| %ADF            | 54.6 ± 0.19  | 40.9 ± 0.35  |
| %ADL            | 9.45 ± 0.28  | 5.20 ± 0.13  |
| %NDIN           | 0.157 ± 0.01 | 0.260 ± 0.02 |
| %ADIN           | 0.130 ± 0.01 | 0.129 ± 0.01 |
| GE (Mcal/kgDM)  | 4.21 ± 0.004 | 3.59 ± 0.012 |
| %TDN            | 48.4 ± 1.90  | 52.9 ± 1.67  |
| DE (Mcal/kgDM)  | 2.13 ± 0.08  | 2.33 ± 0.07  |
| NEL (Mcal/kgDM) | 1.07 ± 0.07  | 1.18 ± 0.07  |
| % <i>dg</i>     |              |              |
| DM (0 hr.)      | 6.7 ± 0.15   | 12.8 ± 0.35  |
| DM (6 hr.)      | 10.1 ± 0.21  | 14.2 ± 0.56  |
| DM (12 hr.)     | 13.2 ± 0.78  | 15.7 ± 1.14  |
| DM (24 hr.)     | 19.5 ± 1.62  | 18.1 ± 0.78  |
| DM (48 hr.)     | 31.0 ± 0.92  | 23.3 ± 2.50  |
| DM (72 hr.)     | 35.2 ± 3.19  | 37.3 ± 1.60  |
| DM (96 hr.)     | 37.7 ± 2.74  | 46.0 ± 1.20  |
| CF (48 hr.)     | 22.1 ± 0.83  | 31.3 ± 1.58  |
| CF (72 hr.)     | 33.3 ± 1.63  | 45.6 ± 1.63  |
| NDF (48 hr.)    | 33.7 ± 1.12  | 31.8 ± 2.12  |
| NDF (72 hr.)    | 38.4 ± 2.29  | 39.7 ± 2.09  |
| ADF (48 hr.)    | 40.9 ± 0.51  | 34.3 ± 2.34  |
| ADF (72 hr.)    | 48.3 ± 2.01  | 46.0 ± 2.81  |

หมายเหตุ (Mean ± SE, N=9)

%TDN คำนวณจากการประเมินค่าพลังงานที่นำเสนอใหม่ (Weiss *et al.*, 1992)

$$DE = 0.04409(\%TDN) \quad NEL = 0.0245(\%TDN) - 0.12$$

#### 4.5 สรุปและวิจารณ์

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อยและฟางข้าวก่อนการปรับปรุงคุณภาพ พบว่า จะมีปริมาณโปรตีนและไขมันค่อนข้างต่ำ และมีองค์ประกอบจำพวก CF, NDF และ ADF ในปริมาณที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขานอ้อยที่มีอยู่ค่อนข้างน้อย และได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.2 การที่ขานอ้อยและฟางข้าวมีองค์ประกอบจำพวกเยื่อใยสูง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์โปรตีนและการย่อยได้ต่ำ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าทั้งขานอ้อยและฟางข้าวเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ได้มาจากพืชที่โตเต็มที่แล้ว หรือมีอายุมากแล้ว (มากกว่า 10 เดือนในอ้อยและมากกว่า 4 เดือนในข้าว) พืชที่มีอายุมากขึ้น จะมีการสะสมปริมาณเยื่อใยและลิกนินมากขึ้น ในขณะเดียวกันเปอร์เซ็นต์โปรตีนและการย่อยได้จะลดต่ำลง งานวิจัยที่สรุปไว้ในตารางที่ 4.2 และผลจากการวิจัยครั้งนี้มีความแตกต่างกันในด้านองค์ประกอบทางเคมีพอสมควร ทั้งนี้เป็นเพราะขานอ้อยและฟางข้าวที่นำมาศึกษาได้มาจากแหล่งที่แตกต่างกัน และอาจมีความแตกต่างในด้านอื่นๆ อาทิ พันธุ์ การดูแลรักษา การให้ปุ๋ย การรวบรวม การเก็บเกี่ยว อายุเก็บเกี่ยว ซึ่งล้วนแล้วอาจมีส่วนทำให้เกิดความแตกต่างดังกล่าว อย่างไรก็ตามทุกการทดลองให้ผลการศึกษาที่มีแนวโน้มคล้ายกัน

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว/ขานอ้อยที่มีรายงานไว้

| CP      | CF   | EE  | NFE  | Ash  | NDF  | ADF  | Lig. | OMD  | Reference                                |
|---------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------------------------------------------|
| ฟางข้าว |      |     |      |      |      |      |      |      |                                          |
| 2.20    | 34.0 | 2.0 | 49.0 | 13.0 | .    | .    | .    | .    | Vijdnilata and Sanpote (1982)            |
| 2.30    | 38.0 | 2.0 | 40.0 | 17.0 | 86.0 | 63.0 | 5.0  | .    | Cheva-Isarakul and Cheva-Isarakul (1984) |
| 2.40    | .    | .   | .    | .    | 85.0 | 57.0 | 7.0  | .    | Tinnimit (1985)                          |
| 2.60    | .    | .   | .    | 15.0 | 77.0 | 52.0 | 5.0  | .    | Wanapat (1985)                           |
| 2.80    | 38.0 | 2.0 | 32.0 | 15.0 | .    | .    | .    | 50.5 | Promma <i>et al.</i> (1985)              |
| 3.10    | 42.3 | 2.2 | .    | 16.4 | .    | .    | .    | .    | Promma <i>et al.</i> (1985)              |
| 3.12    | 29.7 | 1.3 | 42.8 | 16.3 | 72.1 | 49.3 | 5.9  | .    | วิชัย (2541)                             |
| 3.40    | .    | .   | .    | 17.2 | .    | 43.5 | 5.8  | .    | Sriwattanasombat and Wanapat (1985)      |
| 3.50    | 35.0 | .   | 47.0 | 15.0 | .    | 49.0 | 4.0  | .    | Wanapat <i>et al.</i> (1982)             |
| 3.50    | .    | .   | .    | 15.0 | .    | 49.0 | 4.0  | .    | Wanapat <i>et al.</i> (1984)             |
| 3.50    | .    | 2.3 | .    | 14.1 | 82.4 | 56.4 | .    | .    | Cheva-Isarakul <i>et al.</i> (1998)      |
| 3.80    | .    | .   | .    | 17.0 | .    | 56.0 | .    | .    | Wongsrikeao and Wanapat (1985)           |
| 4.00    | .    | .   | .    | 18.0 | 74.0 | 53.0 | 5.0  | 48.0 | Cheva-Isarakul and Cheva-Isarakul (1985) |
| 4.11    | .    | 1.9 | .    | 18.0 | 75.9 | 56.7 | 5.1  | 52.0 | Cheva-Isarakul and Potikanond (1985)     |
| 4.20    | 40.0 | .   | .    | 16.0 | .    | .    | .    | .    | Suriyajantratong and Wilaipon (1985)     |
| 3.24    | 36.7 | 2.0 | 42.2 | 15.9 | 78.9 | 53.2 | 5.2  | 50.2 | MEAN                                     |
| ขานอ้อย |      |     |      |      |      |      |      |      |                                          |
| 2.12    | 31.9 | 0.7 | 55.3 | 1.7  | 70.2 | 37.6 | 6.9  | .    | วิชัย (2541)                             |



|      |      |     |      |      |      |      |      |   |                  |
|------|------|-----|------|------|------|------|------|---|------------------|
| 2.50 | 48.0 | .   | .    | 3.2  | 70.0 | .    | 12.0 | . | Rangnekar (1988) |
| 2.31 | 40.0 | 0.7 | 55.3 | 2.45 | 70.1 | 37.6 | 9.45 | . | MEAN             |

ส่วนการประเมินค่าทางพลังงานโดยใช้วิธีที่แนะนำโดย Weiss *et al.* (1992) สามารถคำนวณค่า TDN ของขานอ้อยและฟางข้าวได้เท่ากับ  $48.4 \pm 1.90$  และ  $52.9 \pm 1.67$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อทำการคำนวณค่า DE และ NEL ของขานอ้อยและฟางข้าว จะได้ค่าเท่ากับ  $2.13 \pm 0.08$ ,  $2.33 \pm 0.07$ ,  $1.07 \pm 0.07$  และ  $1.18 \pm 0.07$  Mcal/kgDM ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้นี้น่าจะใช้เป็นแนวทางในการนำไปใช้คำนวณสูตรอาหารต่อไป

สำหรับการศึกษาการย่อยสลายของขานอ้อยและฟางข้าวด้วยวิธีการใช้ถุงไนลอนจุ่มแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ ผลปรากฏว่าขานอ้อยมีการย่อยสลายได้ค่อนข้างต่ำ ซึ่งพอจะเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Ibrahim and Pearce (1983) ซึ่งศึกษาการย่อยได้ของขานอ้อยด้วยวิธี *in vitro* และรายงานค่าการย่อยได้อินทรีย์วัตถุ (IVOMD) เท่ากับ 32.8% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ขานอ้อยมีส่วนประกอบของลิกนินและเซลลูโลสที่อยู่ในรูปผลึกอยู่สูง ซึ่งทั้งสองส่วนนี้มีคุณสมบัติป้องกันการเข้าย่อยสลายของเอนไซม์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

Ørskov *et al.* (1988) ใช้ค่าต่างๆที่ได้จากวิธีการใช้ถุงไนลอนในการทำนายปริมาณการกินได้ วัตถุแห้ง (Dry matter intake, DMI) ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ (Digestible dry matter intake, DDMI) และอัตราการเจริญของโคลูกผสมตอน โดยทำการศึกษาในฟางข้าวสาลีและฟางข้าวบาร์เลย์ทั้งที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพด้วย 3% anhydrous ammonia พบว่าเมื่อนำค่า a, b และ c ที่ได้จากวิธีการใช้ถุงไนลอนมาเข้าสมการ multiple regression จะมีสหสัมพันธ์สูงกับค่าดังกล่าวข้างต้น โดยมีค่า R = 0.88, 0.95 และ 0.95 ตามลำดับ ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากวิธีการใช้ถุงไนลอนสามารถใช้ทำนายค่าดังกล่าวได้ดี

การศึกษาทำนองเดียวกัน Shem *et al.* (1995) ใช้วิธีการใช้ถุงไนลอนประเมินคุณค่าทางอาหารของอาหารหยาบ 18 ชนิด ที่เกษตรกรรายย่อยใช้เลี้ยงโคนมในประเทศแทนซาเนีย พบว่าค่า a, b และ c ที่ได้จากวิธีการใช้ถุงไนลอน นอกจากจะมีสหสัมพันธ์สูงกับค่า DMI และ DDMI แล้ว ยังสามารถใช้ทำนายอัตราการเจริญเติบโตของโครุ่นได้ดีอีกด้วย โดยเสนอสมการ multiple regression เพื่อการทำนายดังนี้

$$\text{DMI (kg/d)} = -8.286 + 0.266A + 0.1028B + 17.696c \quad (r = 0.90)$$

$$\text{DDMI (kg/d)} = -7.609 + 0.219A + 0.0800B + 24.191c \quad (r = 0.93)$$

$$\text{Growth rate (kg)} = -0.649 + 0.017A + 0.0060B + 3.87c \quad (r = 0.93)$$

เมื่อ A = washing loss, B = a + b - A

นอกจากนี้ค่า A, B และ c ยังมีสหสัมพันธ์อย่างสูง ( $r = 0.98$ ) กับค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่ทดลองกับตัวสัตว์ (apparent *in vivo* digestibility) ด้วย และเมื่อนำค่า A, B และ c มาใช้ในการคำนวณค่า Index value (=  $A + 0.38B + 66.6c$ ) ก็พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่า DMI (0.90), DMD (0.75), DDMI

(0.92) และอัตราการใช้ธัญพืช (0.89) แสดงว่าวิธีการใช้ธัญพืชในล่อนสามารถให้ค่าที่นำมาประเมินคุณค่าทางอาหารได้ดีเช่นกัน

อย่างไรก็ตามเมื่อมีการนำวิธีนี้มาใช้กับงานวิจัยในเมืองไทย (Cheva-Isarakul *et al.*, 1998) พบว่าค่าที่คำนวณได้ (DMI, DDMI และ Growth rate) ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะงานวิจัยครั้งหลังนี้ทำกับพืชที่แตกต่างจากที่ใช้ในงานวิจัยของ Shem *et al.* (1995)

ผลจากการศึกษาค่าการย่อยสลายวัตถุแห้งในกระเพาะหมักด้วยวิธีการใช้ธัญพืชในล่อนของชานอ้อยและฟางข้าว ทั้งที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ และที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการต่างๆ รวมทั้งเมื่อนำมาทำนายค่าต่างๆ โดยสมการของ Shem *et al.* (1995) แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.3** แสดงค่าการย่อยสลายวัตถุแห้งของฟางข้าว/ชานอ้อยชนิดต่างๆ จากการใช้ธัญพืชในล่อน

|                      | a     | b     | c      | A     | B     | A+B   |
|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Untreated rice straw | 5.69  | 68.28 | 0.023  | 10.44 | 63.52 | 73.97 |
| 6%NaOH rice straw    | 29.15 | 59.87 | 0.023  | 32.47 | 56.54 | 89.02 |
| Untreated bagasse 1  | 4.27  | 50.52 | 0.020  | 6.49  | 48.30 | 54.79 |
| Untreated bagasse 2  | 8.65  | 40.65 | 0.012  | 10.06 | 39.24 | 49.30 |
| 6%NaOH bagasse       | 23.38 | 57.11 | 0.022  | 26.74 | 53.75 | 80.49 |
| 5%Urea bagasse       | 8.46  | 54.32 | 0.0096 | 10.32 | 52.46 | 62.78 |
| 5%Urea + SBM bagasse | 6.41  | 57.41 | 0.0115 | 8.68  | 55.14 | 63.82 |

**ตารางที่ 4.4** Observed DMI and DDMI compared with calculated DMI and DDMI.

|                      | A     | B     | c     | Observed<br>DMI | Observed<br>DDMI | Calculated<br>DMI <sup>1/</sup> | Calculated<br>DDMI <sup>1/</sup> | Index<br>Value |
|----------------------|-------|-------|-------|-----------------|------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------|
| Untreated rice straw | 10.44 | 63.52 | 0.023 | 7.61            | 3.97             | 1.39                            | 0.33                             | 36.11          |
| 6%NaOH rice straw    | 32.47 | 56.54 | 0.023 | 6.11            | 3.92             | 6.53                            | 4.59                             | 55.49          |
| Untreated bagasse 1  | 6.49  | 48.30 | 0.020 | 4.91            | 2.26             | -1.27                           | -1.83                            | 26.18          |
| Untreated bagasse 2  | 10.06 | 39.24 | 0.012 | 4.91            | 2.26             | -1.39                           | -1.97                            | 25.77          |
| 6%NaOH bagasse       | 26.74 | 53.75 | 0.022 | 4.74            | 2.89             | 4.69                            | 3.07                             | 48.63          |

<sup>1/</sup> DMI (kg/day) =  $-8.286 + 0.266A + 0.102B + 17.696c$

DDMI (kg/day) =  $-7.609 + 0.219A + 0.080B + 24.191c$

Index value =  $A + 0.38B + 66.6c$

(Shem *et al.*, 1995)

จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการทำนายโดยสมการของ Shem *et al.* (1995) มีความผันแปรสูงมาก ส่วนที่มีค่าใกล้เคียงกับ Observed DMI และ Observed DDMI มีเพียงเฉพาะในกรณีของ 6%NaOH

treated rice straw และ 6%NaOH treated bagasse ค่าของ index value พอที่จะจัดลำดับคุณภาพของอาหารหยาบได้ดี โดยอาหารหยาบที่มีคุณภาพดีเรียงตามลำดับดังนี้ 6%NaOH treated straw, 6%NaOH treated bagasse, untreated rice straw และ untreated bagasse ส่วนค่าอื่นๆยังไม่สามารถใช้ได้ สรุปได้ว่าสมการที่อ้างถึงมีข้อจำกัดในการนำมาใช้กับอาหารหยาบชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะในสภาพเมืองไทย

อย่างไรก็ตามงานวิจัยครั้งนี้มี **ข้อมูลจำนวนมากเป็นของประเทศไทยเอง** ซึ่งเพียงพอที่จะสามารถนำมาสร้างสมการทำนายค่าต่างๆ ของอาหารหยาบแต่ละชนิด หรืออาจรวมเป็นกลุ่มอาหารหยาบ อาทิ ผลพลอยได้ทางการเกษตร ได้แก่ ชานอ้อย ฟางข้าว รวมทั้งที่ยังไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพและที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว เป็นต้น

เมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.4 ที่มีการเก็บข้อมูลการกินได้ DMI และ DDMI มาเข้าสมการ Multiple regression จะได้สมการดังนี้

$$\text{DMI (kg/day)} = -1.205 - 0.010A + 0.251B - 305.254c \quad r = 0.95$$

$$\text{DDMI (kg/day)} = -1.746 + 0.030A + 0.142B - 157.572c \quad r = 0.96$$

ทั้งสองสมการดังกล่าวข้างต้นมีค่าสหสัมพันธ์สูงมาก กล่าวคือ 0.95 (DMI) และ 0.96 (DDMI) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสมการที่ได้มาจากข้อมูลจำนวนจำกัด ( $n = 5$ ) และมาจากข้อมูลอาหารหยาบที่แตกต่างกัน ควรจะได้มีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลมากกว่านี้ จึงจะสามารถสรุปสมการที่ดีและเหมาะสมต่อไปได้

อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยมีข้อคิดเห็นว่า ถ้าหากงานวิจัยใดๆ ได้ทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นให้ครบถ้วน เมื่อนำข้อมูลมาหาสมการ regression ก็จะได้สมการคล้ายๆข้างต้น และเชื่อมั่นว่าสมการส่วนใหญ่จะให้ค่าสหสัมพันธ์ค่อนข้างสูงเกือบทุกสมการ ทั้งนี้เพราะว่าโดยหลักความจริงที่ว่าอาหารชนิดใดที่มีการย่อยได้เพิ่มมากขึ้น จะทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น ซึ่งเป็นผลจากความสัมพันธ์ของอัตราการย่อยได้ (rate of digestion) อัตราการไหลผ่าน (passage rate) และระยะเวลาที่อาหารถูกเก็บกักในกระเพาะหมัก (retention time) เมื่อนำข้อมูล DM degradation value มาหาความสัมพันธ์กับการกินได้ DM จะได้สมการที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (positive relation) เสมอไป และโดยปกติ ถ้าการบันทึกข้อมูลมีความเที่ยงตรง (accuracy) มากเท่าใด ก็จะทำให้ได้ค่าสหสัมพันธ์ที่สูงมากขึ้นตามไปด้วย

ก่อนที่จะสรุปสมการที่เหมาะสมในการใช้ในการทำนายค่า DMI และ DDMI หรือแม้กระทั่ง Growth rate ควรจะมีข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง จำนวนมากพอ อาจจะกล่าวได้ว่ามีข้อมูลมากกว่า 100 ชุด ถึงแม้จะเป็นข้อมูลจากการทดลองที่ใช้อาหารหยาบต่างชนิดกัน น่าจะสามารถนำมาใช้ร่วมกันได้ การวิจัยครั้งนี้มีข้อมูลจากเพียง 6 ชุดการทดลอง หรือแม้แต่จากรายงานของ Shem *et al.* (1995) ก็มาจากข้อมูลการทดลองเพียง 18 ชุดการทดลองเท่านั้น สมควรที่จะมีการนำข้อมูลประเภทเดียวกันนี้จากงานวิจัย

หลายๆงานที่ทำในเมืองไทยมาวิเคราะห์ร่วมกัน อาจจะได้สมการทางองศาที่เหมาะสมกับการใช้ในการทำนายค่าต่างๆ สำหรับเมืองไทยเอง

## บทที่ 5

### การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงคุณภาพขานอ้อยและฟางข้าวโดยวิธีทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อยและฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว

#### 5.1 คำนำ

การศึกษาค่าองค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อยและฟางข้าว ผลปรากฏว่ามีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างต่ำ (โปรตีนต่ำและย่อยได้ยาก) และการที่จะนำมาใช้เป็นอาหาร โคมนมควรต้องปรับปรุงคุณภาพก่อน ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จะปรับปรุงคุณภาพขานอ้อยและฟางข้าวโดยวิธีการทางเคมี รวมทั้งศึกษาค่าองค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อยและฟางข้าวหลังจากปรับปรุงคุณภาพแล้ว

#### 5.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อยและฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีทางเคมี

#### 5.3 อุปกรณ์และวิธีการ

นำขานอ้อยและฟางข้าว มาทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการทางเคมี ซึ่งจัดการทดลองเป็นแบบ Complete randomized design (CRD) โดยทำการหมักในถุงพลาสติก 2 ชั้น ระยะเวลาในการหมัก 7 หรือ 14 วัน (ถ้าใช้ค้างจะใช้เวลาในการหมัก 7 วัน แต่ถ้าใช้ยูเรียจะใช้เวลาหมัก 14 วัน) โดยจัดเป็น 9 กลุ่มทดลอง ตามสารเคมี โดยในแต่ละกลุ่มการทดลองมี 4 ซ้ำ ดังนี้

ตารางที่ 5.1 กลุ่มการทดลองวิธีการทางเคมีที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพขานอ้อย/ฟางข้าว

| กลุ่มการทดลอง        | ระยะเวลาหมัก (วัน) |
|----------------------|--------------------|
| 1. Untreated control | 7                  |
| 2. 3% NaOH           | 7                  |
| 3. 6%NaOH            | 7                  |
| 4. 3% Urea           | 14                 |
| 5. 6% Urea           | 14                 |
| 6. 3% NaOH & 3% Urea | 7                  |
| 7. 3% NaOH & 6% Urea | 7                  |
| 8. 6% NaOH & 3% Urea | 7                  |

หลังจากปรับปรุงคุณภาพของขานอ้อยและฟางข้าวแล้ว สุ่มตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง หลังจากนั้นบดผ่านตะแกรงขนาด 0.1 หรือ 0.2 มิลลิเมตร เก็บใส่ภาชนะพลาสติกฝาเกลียว เพื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี Proximate analysis (AOAC, 1990) และวิเคราะห์หาองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชโดยวิธี Detergent analysis (Goering and Van Soest, 1970) รวมทั้งวิเคราะห์หา Gross energy (Bomb calorimeter) และการย่อยได้ด้วยวิธีการใช้ฝูงไถ่ (Orskov and McDonald, 1981)

#### 5.4 ผลการทดลอง

**ขานอ้อย** องค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพแล้วแสดงไว้ในตารางที่ 5.2 ขานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพในทุกกลุ่มการทดลอง จะมีเปอร์เซ็นต์ DM เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ OM, EE ผันแปรไม่แน่นอน ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ NDF และ ADF ลดลง เปอร์เซ็นต์เล้าเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนเปอร์เซ็นต์โปรตีนเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ใช้ยูเรีย

สำหรับการย่อยสลายได้ของขานอ้อยหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการทางเคมีต่างๆ (หาด้วยวิธีการใช้ฝูงไถ่) ปรากฏว่ากลุ่มการทดลองที่ 4 (โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6%) ย่อยได้วัตถุแห้ง เยื่อใย NDF และ ADF ทั้งที่ 48 และ 72 ชั่วโมงหลังการจุ่มแช่ในกระเพาะหมักมากที่สุด

**ฟางข้าว** องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวหลังปรับปรุงคุณภาพแล้วแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 ผลของการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และหรือยูเรียต่อองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยได้ (โดยวิธีใช้ฝูงไถ่) ของฟางข้าวค่อนข้างเป็นไปในทางเดียวกันกับในขานอ้อย ยกเว้นในบางกรณีที่ใช้ยูเรียเพียงอย่างเดียว หรือ ใช้ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้ผลของการย่อยได้ไม่แตกต่างจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว

**ตารางที่ 5.2** องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของชานอ้อยหลังปรับปรุงคุณภาพ  
ด้วยวิธีการทางเคมีต่างๆ

| Treatment     | T1                  | T2                  | T3                 | T4                 | T5                  | T6                  | T7                  | T8                  | T9                 | SEM   |
|---------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------|
| %DM           | 55.0 <sup>d</sup>   | 60.6 <sup>c</sup>   | 63.5 <sup>a</sup>  | 61.3 <sup>bc</sup> | 60.0 <sup>d</sup>   | 63.6 <sup>a</sup>   | 63.9 <sup>a</sup>   | 63.2 <sup>ab</sup>  | 63.5 <sup>a</sup>  | 0.9   |
| %OM           | 98.5 <sup>a</sup>   | 92.4 <sup>d</sup>   | 86.8 <sup>f</sup>  | 95.6 <sup>bc</sup> | 97.0 <sup>ab</sup>  | 93.7 <sup>cd</sup>  | 93.9 <sup>cd</sup>  | 88.8 <sup>ef</sup>  | 89.4 <sup>e</sup>  | 1.1   |
| %Ash          | 1.5 <sup>f</sup>    | 7.6 <sup>c</sup>    | 13.2 <sup>a</sup>  | 4.4 <sup>de</sup>  | 3.0 <sup>ef</sup>   | 6.3 <sup>cd</sup>   | 6.1 <sup>cd</sup>   | 11.2 <sup>ab</sup>  | 10.6 <sup>b</sup>  | 1.1   |
| %CP           | 1.4 <sup>c</sup>    | 1.20 <sup>e</sup>   | 1.35 <sup>e</sup>  | 3.44 <sup>d</sup>  | 8.61 <sup>b</sup>   | 6.35 <sup>c</sup>   | 13.26 <sup>a</sup>  | 7.77 <sup>bc</sup>  | 13.94 <sup>a</sup> | 0.8   |
| %EE           | 0.35 <sup>b</sup>   | 0.10 <sup>b</sup>   | 0.19 <sup>b</sup>  | 0.40 <sup>b</sup>  | 0.76 <sup>a</sup>   | 0.95 <sup>a</sup>   | 1.05 <sup>a</sup>   | 0.35 <sup>b</sup>   | 0.76 <sup>a</sup>  | 0.2   |
| %CF           | 41.7 <sup>ab</sup>  | 41.8 <sup>ab</sup>  | 40.2 <sup>bc</sup> | 42.5 <sup>a</sup>  | 42.5 <sup>a</sup>   | 40.5 <sup>bc</sup>  | 39.1 <sup>c</sup>   | 39.0 <sup>c</sup>   | 39.9 <sup>c</sup>  | 0.9   |
| %NDF          | 88.5 <sup>a</sup>   | 82.8 <sup>bc</sup>  | 75.8 <sup>de</sup> | 87.1 <sup>ab</sup> | 87.2 <sup>a</sup>   | 87.0 <sup>ab</sup>  | 80.1 <sup>cd</sup>  | 73.9 <sup>e</sup>   | 72.2 <sup>e</sup>  | 2.1   |
| %ADF          | 55.1 <sup>bc</sup>  | 54.2 <sup>cd</sup>  | 52.0 <sup>e</sup>  | 57.6 <sup>a</sup>  | 56.5 <sup>ab</sup>  | 53.8 <sup>cde</sup> | 52.5 <sup>de</sup>  | 51.9 <sup>e</sup>   | 49.3 <sup>f</sup>  | 1.0   |
| %NDIN         | 0.14 <sup>bc</sup>  | 0.10 <sup>f</sup>   | 0.11 <sup>ef</sup> | 0.12 <sup>de</sup> | 0.16 <sup>a</sup>   | 0.13 <sup>cd</sup>  | 0.16 <sup>a</sup>   | 0.13 <sup>d</sup>   | 0.15 <sup>ab</sup> | 0.006 |
| %ADIN         | 0.13 <sup>c</sup>   | 0.16 <sup>bc</sup>  | 0.19 <sup>ab</sup> | 0.20 <sup>ab</sup> | 0.21 <sup>ab</sup>  | 0.19 <sup>ab</sup>  | 0.23 <sup>a</sup>   | 0.19 <sup>ab</sup>  | 0.22 <sup>a</sup>  | 0.02  |
| GE(Mcal/kg)   | 4.2                 | 4.1                 | 3.9                | 4.2                | 4.2                 | 4.1                 | 4.0                 | 3.9                 | 3.8                | NA    |
| %TDN          | 48.0                | 46.6                | 43.3               | 48.7               | 59.1                | 54.3                | 65.7                | 53.7                | 64.5               | NA    |
| DE (Mcal/kg)  | 2.12                | 2.05                | 1.91               | 2.15               | 2.60                | 2.39                | 2.90                | 2.35                | 2.85               | NA    |
| NEL (Mcal/kg) | 1.10                | 1.0                 | 0.9                | 1.10               | 1.30                | 1.20                | 1.50                | 1.20                | 1.50               | NA    |
| <b>Dg (%)</b> |                     |                     |                    |                    |                     |                     |                     |                     |                    |       |
| DM(0 hr.)     | 6.7 <sup>d</sup>    | 11.1 <sup>bc</sup>  | 17.5 <sup>a</sup>  | 6.1 <sup>d</sup>   | 8.3 <sup>cd</sup>   | 11.8 <sup>b</sup>   | 11.7 <sup>b</sup>   | 18.5 <sup>a</sup>   | 16.4 <sup>a</sup>  | 1.4   |
| DM(6 hr.)     | 10.1 <sup>cd</sup>  | 14.8 <sup>b</sup>   | 22.8 <sup>a</sup>  | 8.2 <sup>d</sup>   | 11.1 <sup>c</sup>   | 14.9 <sup>b</sup>   | 14.1 <sup>b</sup>   | 22.8 <sup>a</sup>   | 20.1 <sup>b</sup>  | 1.3   |
| DM(12 hr.)    | 13.2 <sup>b</sup>   | 16.8 <sup>b</sup>   | 23.1 <sup>a</sup>  | 13.7 <sup>b</sup>  | 13.1 <sup>b</sup>   | 14.8 <sup>b</sup>   | 16.8 <sup>b</sup>   | 24.6 <sup>a</sup>   | 22.5 <sup>b</sup>  | 2.1   |
| DM(24 hr.)    | 19.5 <sup>d</sup>   | 24.2 <sup>cd</sup>  | 37.9 <sup>a</sup>  | 19.7 <sup>d</sup>  | 22.2 <sup>d</sup>   | 22.6 <sup>d</sup>   | 22.1 <sup>d</sup>   | 33.6 <sup>ab</sup>  | 28.8 <sup>bc</sup> | 2.9   |
| DM(48 hr.)    | 31.0 <sup>d</sup>   | 44.5 <sup>b</sup>   | 51.5 <sup>a</sup>  | 29.2 <sup>d</sup>  | 32.1 <sup>d</sup>   | 36.4 <sup>cd</sup>  | 40.9 <sup>bc</sup>  | 48.3 <sup>ab</sup>  | 40.4 <sup>bc</sup> | 3.8   |
| DM(72 hr.)    | 35.2 <sup>ef</sup>  | 51.6 <sup>b</sup>   | 61.2 <sup>a</sup>  | 32.7 <sup>f</sup>  | 40.5 <sup>de</sup>  | 41.5 <sup>cd</sup>  | 47.1 <sup>bc</sup>  | 50.2 <sup>b</sup>   | 50.6 <sup>b</sup>  | 2.8   |
| DM(96 hr.)    | 37.7 <sup>e</sup>   | 52.2 <sup>c</sup>   | 66.3 <sup>a</sup>  | 39.6 <sup>de</sup> | 41.6 <sup>de</sup>  | 44.6 <sup>d</sup>   | 50.6 <sup>c</sup>   | 59.1 <sup>b</sup>   | 54.0 <sup>bc</sup> | 2.8   |
| CF (48 hr.)   | 22.1 <sup>cde</sup> | 25.6 <sup>bcd</sup> | 36.0 <sup>a</sup>  | 29.6 <sup>b</sup>  | 28.4 <sup>b</sup>   | 19.6 <sup>e</sup>   | 21.1 <sup>de</sup>  | 27.2 <sup>bc</sup>  | 30.1 <sup>b</sup>  | 2.6   |
| CF (72 hr.)   | 33.3 <sup>c</sup>   | 31.6 <sup>cd</sup>  | 48.6 <sup>a</sup>  | 32.7 <sup>c</sup>  | 36.4 <sup>bc</sup>  | 25.4 <sup>d</sup>   | 32.7 <sup>c</sup>   | 41.6 <sup>b</sup>   | 34.0 <sup>c</sup>  | 3.2   |
| NDF(48 hr.)   | 33.7 <sup>abc</sup> | 25.1 <sup>def</sup> | 36.4 <sup>a</sup>  | 21.4 <sup>f</sup>  | 23.0 <sup>ef</sup>  | 34.9 <sup>ab</sup>  | 29.4 <sup>bcd</sup> | 28.9 <sup>cd</sup>  | 27.9 <sup>de</sup> | 2.5   |
| NDF (72 hr.)  | 38.4 <sup>abc</sup> | 27.3 <sup>d</sup>   | 45.3 <sup>a</sup>  | 27.2 <sup>d</sup>  | 38.2 <sup>bc</sup>  | 36.0 <sup>bc</sup>  | 36.8 <sup>bc</sup>  | 41.1 <sup>ab</sup>  | 31.9 <sup>cd</sup> | 3.4   |
| ADF (48 hr.)  | 40.9 <sup>a</sup>   | 24.4 <sup>de</sup>  | 34.6 <sup>b</sup>  | 22.6 <sup>e</sup>  | 22.7 <sup>e</sup>   | 29.1 <sup>cd</sup>  | 27.5 <sup>cde</sup> | 30.0 <sup>bc</sup>  | 28.1 <sup>cd</sup> | 2.6   |
| ADF (72 hr.)  | 48.3 <sup>a</sup>   | 28.5 <sup>e</sup>   | 44.2 <sup>ab</sup> | 29.9 <sup>c</sup>  | 38.7 <sup>bcd</sup> | 29.8 <sup>e</sup>   | 34.9 <sup>cde</sup> | 42.1 <sup>abc</sup> | 31.7 <sup>de</sup> | 3.6   |

หมายเหตุ T1-T9 ดูจากตารางที่ 5.1

%TDN คำนวณจากการประเมินค่าพลังงานที่นำเสนอใหม่ (Weiss *et al.*, 1992)

$$DE = 0.04409(\%TDN) \quad NEL = 0.0245(\%TDN) - 0.12$$

ตารางที่ 5.3 องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักของฟางข้าวหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการทางเคมีต่างๆ

| Treatment     | T1                 | T2                 | T3                 | T4                  | T5                  | T6                  | T7                  | T8                  | T9                  | SEM  |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| %DM           | 92.0 <sup>a</sup>  | 73.5 <sup>bc</sup> | 72.0 <sup>cd</sup> | 73.6 <sup>bc</sup>  | 72.4 <sup>bcd</sup> | 70.2 <sup>d</sup>   | 72.2 <sup>bcd</sup> | 73.4 <sup>bc</sup>  | 74.4 <sup>b</sup>   | 1.1  |
| %OM           | 89.2 <sup>a</sup>  | 81.7 <sup>de</sup> | 80.4 <sup>e</sup>  | 83.3 <sup>c</sup>   | 85.0 <sup>b</sup>   | 82.6 <sup>cd</sup>  | 83.0 <sup>c</sup>   | 81.7 <sup>d</sup>   | 82.3 <sup>cd</sup>  | 0.6  |
| %Ash          | 10.8 <sup>c</sup>  | 18.3 <sup>ab</sup> | 19.6 <sup>a</sup>  | 16.7 <sup>c</sup>   | 15.0 <sup>d</sup>   | 17.4 <sup>bc</sup>  | 17.0 <sup>c</sup>   | 18.3 <sup>b</sup>   | 17.7 <sup>bc</sup>  | 0.6  |
| %CP           | 2.3 <sup>d</sup>   | 2.7 <sup>d</sup>   | 2.3 <sup>d</sup>   | 3.4 <sup>d</sup>    | 8.6 <sup>c</sup>    | 9.7 <sup>c</sup>    | 15.9 <sup>a</sup>   | 8.7 <sup>c</sup>    | 14.0 <sup>b</sup>   | 0.7  |
| %EE           | 1.02 <sup>ab</sup> | 0.87 <sup>bc</sup> | 0.59 <sup>d</sup>  | 0.58 <sup>d</sup>   | 0.63 <sup>cd</sup>  | 0.44 <sup>de</sup>  | 0.34 <sup>c</sup>   | 1.16 <sup>a</sup>   | 1.12 <sup>a</sup>   | 0.1  |
| %CF           | 32.5 <sup>bc</sup> | 34.1 <sup>a</sup>  | 33.5 <sup>ab</sup> | 33.6 <sup>ab</sup>  | 32.5 <sup>bc</sup>  | 31.4 <sup>cd</sup>  | 30.3 <sup>d</sup>   | 30.3 <sup>d</sup>   | 30.8 <sup>d</sup>   | 0.7  |
| %NDF          | 70.5 <sup>a</sup>  | 66.9 <sup>bc</sup> | 59.9 <sup>d</sup>  | 70.1 <sup>ab</sup>  | 68.3 <sup>ab</sup>  | 64.5 <sup>c</sup>   | 60.9 <sup>d</sup>   | 59.0 <sup>d</sup>   | 58.6 <sup>d</sup>   | 1.7  |
| %ADF          | 39.8 <sup>ab</sup> | 38.7 <sup>bc</sup> | 36.7 <sup>d</sup>  | 40.2 <sup>ab</sup>  | 41.0 <sup>a</sup>   | 39.8 <sup>ab</sup>  | 37.1 <sup>cd</sup>  | 36.7 <sup>d</sup>   | 36.9 <sup>cd</sup>  | 0.9  |
| %NDIN         | 0.26               | 0.29               | 0.25               | 0.29                | 0.31                | 0.33                | 0.29                | 0.29                | 0.31                | 0.03 |
| %ADIN         | 0.10 <sup>d</sup>  | 0.20 <sup>ab</sup> | 0.19 <sup>bc</sup> | 0.17 <sup>c</sup>   | 0.18 <sup>c</sup>   | 0.18 <sup>c</sup>   | 0.21 <sup>a</sup>   | 0.22 <sup>a</sup>   | 0.18 <sup>c</sup>   | 0.01 |
| GE(Mcal/kg)   | 3.60               | 3.34               | 3.18               | 3.44                | 3.49                | 3.36                | 3.28                | 3.24                | 3.20                | NA   |
| %TDN          | 54.3               | 47.7               | 47.3               | 49.3                | 60.3                | 60.5                | 71.1                | 60.0                | 70.3                | NA   |
| DE (Mcal/kg)  | 2.39               | 2.10               | 2.09               | 2.17                | 2.66                | 2.67                | 3.14                | 2.64                | 3.10                | NA   |
| NEL (Mcal/kg) | 1.20               | 1.0                | 1.0                | 1.10                | 1.40                | 1.40                | 1.60                | 1.30                | 1.60                | NA   |
| %dg           |                    |                    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |      |
| DM(48 hr.)    | 39.9 <sup>d</sup>  | 54.4 <sup>a</sup>  | 57.3 <sup>a</sup>  | 54.3 <sup>a</sup>   | 46.5 <sup>c</sup>   | 31.9 <sup>c</sup>   | 36.3 <sup>de</sup>  | 48.6 <sup>bc</sup>  | 53.0 <sup>ab</sup>  | 2.4  |
| DM(72 hr.)    | 43.5 <sup>d</sup>  | 59.5 <sup>ab</sup> | 63.2 <sup>a</sup>  | 55.4 <sup>b</sup>   | 57.8 <sup>b</sup>   | 49.6 <sup>c</sup>   | 48.9 <sup>c</sup>   | 63.4 <sup>a</sup>   | 58.6 <sup>ab</sup>  | 2.5  |
| CF (48 hr.)   | 31.2 <sup>d</sup>  | 52.9 <sup>a</sup>  | 51.1 <sup>ab</sup> | 55.4 <sup>a</sup>   | 45.7 <sup>bc</sup>  | 29.4 <sup>d</sup>   | 31.5 <sup>d</sup>   | 35.2 <sup>d</sup>   | 42.3 <sup>c</sup>   | 3.0  |
| CF (72 hr.)   | 47.9 <sup>d</sup>  | 59.8 <sup>ab</sup> | 67.2 <sup>a</sup>  | 46.4 <sup>cd</sup>  | 49.9 <sup>bcd</sup> | 51.4 <sup>bcd</sup> | 47.7 <sup>cd</sup>  | 56.7 <sup>abc</sup> | 50.9 <sup>bcd</sup> | 5.4  |
| NDF(48 hr.)   | 31.9 <sup>bc</sup> | 50.1 <sup>a</sup>  | 48.2 <sup>a</sup>  | 27.9 <sup>c</sup>   | 30.4 <sup>c</sup>   | 47.4 <sup>a</sup>   | 34.8 <sup>bc</sup>  | 31.9 <sup>bc</sup>  | 39.0 <sup>b</sup>   | 4.1  |
| NDF (72 hr.)  | 35.2 <sup>d</sup>  | 56.1 <sup>a</sup>  | 53.9 <sup>ab</sup> | 47.3 <sup>c</sup>   | 46.7 <sup>c</sup>   | 46.4 <sup>c</sup>   | 48.3 <sup>bc</sup>  | 55.9 <sup>a</sup>   | 48.9 <sup>bc</sup>  | 3.1  |
| ADF (48 hr.)  | 33.0 <sup>bc</sup> | 49.7 <sup>a</sup>  | 46.7 <sup>a</sup>  | 28.6 <sup>c</sup>   | 32.8 <sup>bc</sup>  | 49.0 <sup>a</sup>   | 34.5 <sup>bc</sup>  | 37.6 <sup>b</sup>   | 44.3 <sup>a</sup>   | 3.2  |
| ADF (72 hr.)  | 39.9 <sup>d</sup>  | 56.3 <sup>ab</sup> | 53.4 <sup>ab</sup> | 52.1 <sup>abc</sup> | 50.4 <sup>bc</sup>  | 52.2 <sup>abc</sup> | 46.7 <sup>c</sup>   | 57.9 <sup>a</sup>   | 50.4 <sup>bc</sup>  | 3.2  |

หมายเหตุ T1-T9 ดูจากตารางที่ 5.1

%TDN คำนวณจากการประเมินค่าพลังงานที่นำเสนอใหม่ (Weiss *et al.*, 1992)

$$DE = 0.04409(\%TDN) \quad NEL = 0.0245(\%TDN) - 0.12$$