# การใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในการขุนโคนมลูกผสมเพศผู้

นายไพบูลย์ แดงท่าขาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2551

# UTILIZATION OF CASSAVA CHIP AND CASSAVA PULP AS ENERGY SOURCES FOR FATTENING MALE CROSSBRED DAIRY CATTLE

**Paiboon Dangtakam**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Animal Production Technology**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2008**

ไพบูลย์ แดงท่าขาม : การใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในการขุนโคนมลูกผสมเพศผู้ (UTILIZATION OF CASSAVA CHIP AND CASSAVA PULP AS ENERGY SOURCES FOR FATTENING MALE CROSSBRED DAIRY CATTLE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ แพงคำ, 106 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในการขุนโคนมลูกผสมเพศผู้ การทดลองที่ 1 การใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปในการเลี้ยงโคนมเพศผู้ (พันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียนลูกผสม ระดับเลือดไม่ต่ำกว่า 87.5 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 16 ตัว มีอายุเริ่มต้น 16-18 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 245±20 กก. จัดแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) กลุ่มละ 4 ตัว กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหารควบคุม (อาหารข้นสำเร็จรูปทางการค้า 14%CP) กลุ่มที่ 2 ได้รับอาหารควบคุมทดแทนด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ที่ระดับ 33.3 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 3 ได้รับอาหารควบคุมทดแทนด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ที่ระดับ 66.6 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ 4 ได้รับอาหารควบคุมทดแทนด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยทั้ง 4 กลุ่มการทดลองได้รับฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบและอาหารข้นที่มีระดับโปรตีนเท่ากัน ผลการทดลองพบว่า กลุ่มโคที่ได้รับอาหารควบคุมทดแทนด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้ของวัตถุของอาหารหยาบ ต่ำกว่า ($p<0.05$) กลุ่มโคที่ได้รับอาหารควบคุมทดแทนด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ที่ระดับ 0 และ 33.3 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่มโคที่ได้รับอาหารควบคุมทดแทนด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ที่ระดับ 66.6 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มโคที่ได้รับอาหารควบคุมทดแทนด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ต่ำกว่า ($p<0.05$) ทุกกลุ่มการทดลอง นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด กลุ่มโคที่ได้รับอาหารควบคุมทดแทนด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ที่ระดับ 0 และ 33.3 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่สูงกว่า ($p<0.01$) กับกลุ่มโคที่ได้รับอาหารควบคุมทดแทนด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ที่ระดับ 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ปริมาณการกินได้ของอาหารข้น ความสามารถในการย่อยได้ ความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน จุลินทรีย์ (แบคทีเรียและโปรโตซัว) และกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย (กรดอะซีติก กรดโพรพิออนิก และกรดบิวทีริค) ภายในกระเพาะหมักของกลุ่มโคที่ได้รับอาหารทดลองทุกกลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังในสูตรอาหารเลี้ยงโคนมลูกเพศผู้ (พันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียนระดับเลือดไม่ต่ำกว่า 43.75 เปอร์เซ็นต์ x บราห์มันระดับเลือด 50 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 4 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 278±38 กก. จัดแผนการทดลองแบบ 4x4 Latin squares

design โดยประกอบด้วย 4 ทรีตเมนต์ ได้แก่ กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง ที่ระดับ 0, 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง ทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบ อัตราการเจริญเติบโต ความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนียไนโตรเจน และกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย (กรดอะซีติก กรดโพรพิออนิก และกรดบิวทีริค) ภายในกระเพาะหมักของกลุ่มโคที่ได้รับอาหารทดลองทุกกลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า สามารถใช้มันสำปะหลังทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปชนิดโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ได้ถึงร้อยละ 66.6 และกากมันสำปะหลังสามารถใช้ทดแทนมันสำปะหลังในสูตรอาหารข้น สำหรับโคนมลูกผสมเพศผู้ได้ถึงร้อยละ 100 โดยไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตของโคนมลูกผสมเพศผู้ ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกหรือในการช่วยลดต้นทุนการผลิตให้กับเกษตรกร

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

# กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ แพงคำ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งมาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือสนับสนุน และให้ความไว้วางใจในการทำงาน ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิดด้วยความเป็นกันเองตลอดมา รวมทั้งยังให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนจัดหาทุนการศึกษาซึ่งถือเป็นพระคุณอย่างสูงยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับการทดลองและแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ ด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัยจนทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ชาญ ณ ลำปาง ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในส่วนของแผนการทดลอง ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อท่านอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าและสั่งสอนให้ข้าพเจ้าเป็นคนดี และตั้งใจเรียนตลอดมา ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์เล่มนี้นั้นประกอบไปด้วยการช่วยเหลือของบุคคล และหน่วยงานต่างๆ ดังต่อไปนี้ นักศึกษาบัณฑิตศึกษาสาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ พนักงานฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พนักงานห้องปฏิบัติการโภชนะศาสตร์สัตว์ ทุนวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ-แม่ ที่ให้ความรักความอบอุ่น และส่งเสริมการศึกษาเล่าเรียนเป็นอย่างดี จนข้าพเจ้าเป็นคนดีและมีความสุขในชีวิตตลอดมา

ไพบูลย์ แดงท่าขาม

# สารบัญ

**หน้า**


บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....ค
กิตติกรรมประกาศ.....จ
สารบัญ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ฏ
สารบัญรูป.....ฒ

**บทที่**

**1 บทนำ**.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....3
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย.....3
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
1.7 รายการอ้างอิง.....3
**2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**.....5
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร.....6
2.2 อาหารคาร์โบไฮเดรต.....6
2.2.1 คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายหรือไม่เป็นโครงสร้าง.....7
2.2.2 คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง.....7
2.3 การใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตโดยจุลินทรีย์.....9
2.4 การใช้ประโยชน์ของคาร์โบไฮเดรต
และกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายในสัตว์เคี้ยวเอื้อง.....9
2.5 อาหารโปรตีน.....10
2.5.1 การย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมัก.....10

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.5.2 การนำกลับของไนโตรเจนเข้าสู่กระเพาะหมัก....11
2.5.3 กระบวนการใช้ NPN ในกระเพาะหมัก....12
2.5.4 เมแทบอลิซึมของไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม....13
2.5.5 อาการเป็นพิษเนื่องจากยูเรีย....13
2.6 ความต้องการพลังงานของโค....13
2.6.1 หน่วยของพลังงาน....14
2.6.2 การจำแนกประเภทของพลังงาน....14
2.6.3 สมการประเมินความต้องการพลังงานของโคเนื้อ....16
2.6.4 การประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารตาม NRC (2001)....17
2.6.4.1 พลังงานจาก NFC....17
2.6.4.2 พลังงานจากโปรตีน....18
2.6.4.3 พลังงานจากไขมัน....19
2.6.4.4 พลังงานจาก NDF....19
2.6.4.5 การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance....21
2.6.4.6 การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake....22
2.6.4.7 การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake....23
2.6.4.8 การประมาณค่า Net Energy of Feeds for Maintenance and Gain....23
2.7 ความต้องการโปรตีนของโค....27
2.7.1 ความต้องการ rumen degradable protein (RDP)....27
2.7.2 ความต้องการ rumen undegradable protein (RUP)....27
2.8 สมการการประเมินความต้องการโปรตีนของโคเนื้อ....27
2.9 การใช้ฟางข้าวเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง....30

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.10 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของฟางข้าว
โดยการหมักด้วยยูเรีย.....31
2.11 การใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง.....32
2.12 การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง.....33
2.13 รายการอ้างอิง.....35
**3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงานและการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง**.....39
3.1 อุปกรณ์และวิธีการ.....39
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล.....41
3.3 สถานที่ทำการทดลอง.....41
3.4 ระยะเวลาทำการทดลอง.....41
3.5 ผลการทดลอง.....41
3.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง
กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม.....41
3.5.2 การประเมินค่าพลังงานในมันสำปะหลัง
กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม.....43
3.5.3 การย่อยสลายของวัตถุแห้งของมันสำปะหลัง
กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม.....44
3.6 วิจารณ์ผลการทดลอง.....46
3.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด.....46
3.6.2 การประเมินคุณค่าทางพลังงานของมันสำปะหลัง
กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม.....48
3.6.3 การย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์.....49
3.7 สรุป.....50
3.8 รายการอ้างอิง.....51

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


**4 การใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปในการเลี้ยงโคนมเพศผู้**.....54

4.1 อุปกรณ์และวิธีการ.....55

4.1.1 สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง.....55

4.1.2 อาหารและการให้อาหาร.....55

4.1.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล.....56

4.2 การวิเคราะห์สถิติ.....58

4.3 สถานที่ทำการทดลอง.....58

4.4 ระยะเวลาทำการทดลอง.....58

4.5 ผลการทดลอง.....59

4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหาร และการประมาณพลังงานโดยการคำนวณ จาก NRC (2001) ที่โคได้รับจากสูตรอาหาร และฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์เป็นแหล่งอาหารหยาบ.....59

4.5.2 ปริมาณการกินได้.....61

4.5.2.1 ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ.....62

4.5.2.2 ปริมาณการกินได้ของอาหารข้น.....62

4.5.2.3 ปริมาณการกินได้รวมทั้งหมด.....62

4.5.3 ความสามารถในการย่อยได้.....63

4.5.4 อัตราการเจริญเติบโต.....64

4.5.5 รูปแบบของกระบวนการหมัก และผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการหมัก.....65

4.5.5.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH).....65

4.5.5.2 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ในของเหลวจากกระเพาะหมัก ($NH_3$-N).....65

4.5.5.3 จุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก.....65

4.5.5.4 กรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย.....66

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


4.5.6 ค่าชีวเคมีในกระแสเลือด....67
4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง....67
4.7 สรุป....73
4.8 รายการอ้างอิง....74
**5 ศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังในสูตรอาหารเลี้ยงโคนมเพศผู้....78**
5.1 อุปกรณ์และวิธีการ....79
5.1.1 สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง....79
5.1.2 อาหารและการให้อาหาร....79
5.1.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล....80
5.2 การวิเคราะห์สถิติ....81
5.3 สถานที่ทำการทดลอง....82
5.4 ระยะเวลาทำการทดลอง....82
5.5 ผลการทดลอง....82
5.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารหยาบและอาหารข้น....82
5.5.2 ปริมาณการกินได้....84
5.5.2.1 ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ....84
5.5.2.2 ปริมาณการกินได้ของอาหารข้น....85
5.5.2.3 ปริมาณการกินได้รวมทั้งหมดของวัตถุแห้ง....86
5.5.3 อัตราการเจริญเติบโต....86
5.5.4 ค่าชีวเคมีในเลือดและนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก....87
5.5.4.1 ความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในเลือด (BUN)....87
5.5.4.2 ความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะหมัก (pH)....87
5.5.4.3 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมัก....90
5.5.4.4 กรดไขมันระเหยได้ในของเหลวจากกระเพาะหมัก....90
5.6 วิจารณ์ผลการทดลอง....90

# สารบัญ (ต่อ)

**หน้า**


5.7 สรุป.....94

5.8 รายการอ้างอิง.....94

**6 สรุปและข้อเสนอแนะ**.....95

ภาคผนวก.....97

ประวัติผู้เขียน.....106

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**


2.1 กระบวนการปรับปัจจัย (Processing adjustment factors, PAF) for NFC For feeds no shown PAF = 1 ..... 25

2.2 ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า $TDN_{1X}$ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ ..... 26

2.3 ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีพ (assumed 8% increase in digestibility compared with 3X maintenance) สำหรับอาหารสัตว์จำพวกไขมัน ..... 26

2.4 ความสัมพันธ์ Stage of Growth and Rate of Gain to Body Composition, Based on NRC 1984 Medium Frame Steer ..... 29

2.5 Standard Reference Weights for Different Final Body Composition ..... 30

2.6 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังกับแหล่งวัตถุดิบอาหารพลังงานชนิดอื่น ..... 34

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม ..... 42

3.2 ค่าพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ..... 43

3.3 การย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก ..... 45

3.4 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ..... 46

4.1 แผนผังงานทดลอง ..... 55

4.2 ส่วนประกอบของทรีตเมนต์ ..... 56

4.3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลอง ..... 60

4.4 การจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการ NRC (2001) ที่โคได้รับจากสูตรอาหารและฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ ..... 60

4.5 ผลของการทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรียต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง ..... 61

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางที่** **หน้า**


4.6 ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะของโค
ที่ได้รับอาหารที่ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย.....63

4.7 อัตราการเจริญเติบโต การเพิ่มของน้ำหนัก
น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองของโค
ที่ได้รับอาหารที่ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย.....64

4.8 ค่า BUN, pH, $NH_3$-N,
จุลินทรีย์และกรดไขมันระเหยได้ของโค
ที่ได้รับอาหารที่ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย
ณ ชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหารข้น.....66

4.9 ความต้องการโปรตีนและพลังงานของโค
และโปรตีนและพลังงานที่ได้รับจากอาหาร.....70

5.1 แผนผังงานทดลอง.....79

5.2 วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารข้น.....80

5.3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลอง.....83

5.4 การจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการ NRC (2001)
ที่โคได้รับจากสูตรอาหารและฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์.....84

5.5 ผลของการทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง
ต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งแห้ง.....85

5.6 อัตราการเจริญเติบโต การเพิ่มของน้ำหนัก
น้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองของโค
ที่ได้รับอาหารทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง.....86

5.7 ค่า BUN, pH และปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนของโค
ที่ได้รับอาหารทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง
ณ เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร.....88

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางที่** **หน้า**

5.8 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของโค
ที่ได้รับอาหารทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง
ณ เวลา 0 2 และ 4 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร.....89

# สารบัญรูป

**รูปที่** **หน้า**

2.1 การย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมัก (N-Recycling).....11
3.1 การย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก.....51

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการเลี้ยงโคพื้นเมืองอยู่ภายในประเทศเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ไม่ว่าจะเลี้ยงไว้ใช้เป็นแรงงาน เช่น ลากไถหรือลากสิ่งของ เทียมเกวียน เป็นต้น หรือใช้เป็นอาหาร เนื้อที่ได้จากโคที่เกษตรกรเลี้ยงไว้ถือเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญ การเลี้ยงโคส่วนใหญ่จะเป็นการเลี้ยงของเกษตรกรรายย่อย ที่กระจายอยู่ทั่วประเทศ ในปี พ.ศ. 2548 รัฐบาลได้มีนโยบายส่งเสริมการเลี้ยงโคเนื้อและโคขุน จากโครงการดังกล่าวทำให้มีเกษตรกรจำนวนมากหันมาเลี้ยงโคเพิ่มขึ้น การนำโคมาขุนมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การใช้โคพันธุ์แท้มาขุน และการใช้โคลูกผสมมาขุน การขุนโคส่วนใหญ่นิยมการใช้ลูกผสมในการขุน เช่น การใช้โคตระกูลอินเดีย หรือโคเมืองร้อน *(Bos indicus)* ผสมกับโคพื้นเมืองของไทย เช่น อเมริกันบราห์มัน และบราห์มัน เพื่อทำให้ได้ลูกผสมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีอัตราการเจริญเติบโตเร็วขึ้น โดยโคพื้นเมืองเป็นโคที่อยู่ในโคตระกูลเดียวกันกับโคตระกูลอินเดีย ทำให้ลูกที่ได้จากการผสมข้ามพันธุ์ สามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย การใช้โคในตระกูลเมืองหนาว *(Bos taurus)* ผสมกับแม่โคตระกูลอินเดียที่มีอยู่แล้วในประเทศไทย เนื่องจากโคตระกูลเมืองหนาวพันธุ์แท้ไม่สามารถทนต่ออากาศร้อนและค่อนข้างชื้นได้ จำนวนที่มีมากที่สุด ได้แก่ ลูกผสมชาร์โรเลส์ (Charolais) รองลงมาคือ ลูกผสมพันธุ์ลิมูซิน (Limusine) อีกทั้งการใช้พันธุ์โคที่ปรับปรุงพันธุ์ขึ้นภายในประเทศ ได้แก่ พันธุ์กำแพงแสน พันธุ์กบินทร์บุรี นอกจากนั้นแล้ว พันธุ์โคที่สามารถนำมาขุนได้อีก คือ ลูกโคนมเพศผู้ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของฟาร์มโคนม และมีปริมาณประมาณ 200,000 ตัวต่อปี จากจำนวนแม่โคนมที่เลี้ยงในประเทศไทยประมาณ 400,000 ตัว (กรมปศุสัตว์, 2549) และคาดว่าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปีตามความต้องการของปริมาณน้ำนมของคนไทย ลูกโคนมเพศผู้ส่วนใหญ่ คือ ลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Holstein Friesian) หรือโคพันธุ์ขาว-ดำ ถึงแม้คุณภาพซากไม่ดีนัก แต่มีอัตราการเจริญเติบโตไม่แพ้โคเนื้อ (สุรชัย สุวรรณลี, 2550) ในขณะเดียวกันเกษตรกรผู้เลี้ยงโค ก็ได้รับการอบรมพัฒนาความรู้ด้านต่าง ๆ ของการเลี้ยงโค เช่น การจัดการด้านอาหาร การจัดการด้านโรงเรือน การจัดการด้านสุขภาพของตัวสัตว์ เป็นต้น ปัจจุบันเกษตรกรรายย่อย ยังคงใช้วิธีต้อนโคแทะเล็มหญ้าตามธรรมชาติ และมีการให้อาหารข้นบ้างเป็นครั้งคราวเพื่อเป็นการเสริมสารอาหารและพลังงานแก่โค ซึ่งทำให้โคได้รับโภชนะโดยเฉพาะพลังงานไม่เพียงพอเนื่องจากหญ้าที่โคกินมีคุณภาพหรือโภชนะต่ำ มีผลทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวันต่ำ Garces-Yepez et al. (1997) รายงานว่า สัตว์ที่ได้รับการเสริมอาหารที่

เป็นแหล่งพลังงาน สามารถปรับปรุงสมรรถภาพของสัตว์ได้ดีกว่าสัตว์ที่ได้รับเพียงอาหารหยาบเพียงอย่างเดียว และการศึกษาของ เดชา เจนกลรบ, เสาวคนธ์ โรจนสถิตย์, ไพบูลย์ พลบุญ และ บวร เสนะเกตุ (2533) ถึงอิทธิพลของการเสริมอาหารข้นแก่โคที่ปล่อยแทะเล็ม ในทุ่งหญ้าธรรมชาติช่วงฤดูแล้ง พบว่า กลุ่มโคที่ได้รับการเสริมอาหารข้น จะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมอาหารข้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) (0.55 และ 0.24 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน) เป็นเรื่องที่ลำบากที่จะให้โคได้รับอาหารข้นเป็นประจำสำหรับเกษตรกรรายย่อย การผลิตสัตว์ต้นทุนส่วนใหญ่ จะเป็นด้านอาหารของสัตว์ อีกทั้งพื้นที่การเลี้ยงโคบางส่วน ห่างไกลจากแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยทั่วไป โรงงานอาหารสัตว์จะตั้งอยู่ในแถบภาคกลางและภาคอีสานตอนใต้ จึงทำให้เกษตรกรที่อยู่นอกภูมิภาคดังกล่าว จำเป็นต้องสั่งอาหารสัตว์ จากภาคอื่นเพื่อนำมาเลี้ยงโค ในการนี้ต้นทุนอาหารสัตว์จึงสูงขึ้น เนื่องจากต้องขนส่งในระยะทางไกล (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ,2544) ดังนั้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนด้านอาหาร จึงใช้อาหารเข้มข้น (อาหารที่มีโปรตีนสูง) หรือ อาหารข้นอัดเม็ด ที่เกษตรกรสามารถหาได้ในตลาด มาใช้รวมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ ที่เป็นแหล่งพลังงานที่มีในท้องถิ่น เช่น รำข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง เป็นต้น มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาค่อนข้างถูกกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดอื่นที่เป็นแหล่งพลังงาน แต่วัตถุดิบทั้งสองชนิดนี้มีโปรตีนที่ต่ำ จำเป็นต้องอาศัยแหล่งโปรตีนจากวัตถุดิบชนิดอื่น หรืออาจนำเอาสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) เช่น ยูเรียมาผสมในสูตรอาหารโค เพื่อให้การนำยูเรียมาใช้มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องอาศัยแหล่งพลังงานที่หมักย่อยได้ง่ายในกระเพาะหมัก เพื่อปลดปล่อยให้ได้ C-skeleton ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับแอมโมเนียที่เกิด จากการสลายตัวของยูเรียเพื่อให้ได้กรดแอมมิโน อัตราการปลดปล่อยของทั้งสองตัวนี้จะต้องสอดคล้องกัน จึงจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้แอมโมเนียเป็นไปอย่างสูงสุด แหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูง คือ มันสำปะหลัง ข้าวโพด กากน้ำตาล เป็นต้น (เมธา วรรณพัฒน์, 2533) ดังนั้น จึงทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในการขุนโคนมเพศผู้

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการประเมินค่าพลังงานและความสามารถในการย่อยได้ของมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้มันสำปะหลังในแต่ละระดับของสูตรอาหารข้น ต่อสมรรถนะการผลิตของโคนมลูกผสมเพศผู้

1.2.3 ศึกษาการทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลังในอาหารโคนมลูกผสมเพศผู้

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 มันสำปะหลัง กากมันสำปะหลังมีค่าพลังงานและความสามารถในการย่อยได้เหมาะสม สำหรับเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นสำหรับเลี้ยงโคนมลูกผสมเพศผู้

1.3.2 การใช้มันสำปะหลังในแต่ละระดับของสูตรอาหารข้น ไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตของโคนมลูกผสมเพศผู้

1.3.3 การใช้กากมันสำปะหลังสามารถทดแทนมันสำปะหลังในสูตรอาหารโคนมลูกผสมเพศผู้ได้

## 1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Cassava chips, cassava pulp, fattening, urea-treated rice straw, male crossbred dairy cattle

## 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลของระดับการใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง ต่อปริมาณการกินได้ (feed intake) ความสามารถในการย่อยได้ (digestibility) อัตราการเจริญเติบโต (average daily gain, ADG) กระบวนการหมักในกระเพาะหมัก (rumen fermentation) นิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก (rumen ecology) และค่าชีวเคมีในเลือด (blood metabolite) ในโคนมลูกผสมเพศผู้

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลัง

1.6.2 สามารถนำมันสำปะหลังมาใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นเลี้ยงโคได้

1.6.3 สามารถใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังที่เป็นแหล่งพลังงานในอาหารโคได้

## 1.7 รายการอ้างอิง


กรมปศุสัตว์. (2549). **ข้อมูลสถิติปศุสัตว์ ประจำปี พ.ศ. 2542-2549** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.dld.go.th.

เดชา เจนกลรบ, เสาวคนธ์ โรจนสถิตย์, ไพบูลย์ พลบุญ และ บวร เสนะเกตุ. (2533). **อิทธิพลการเสริมอาหารข้นแก่โคที่ปล่อยแทะเล็มในฤดูแล้ง.** กองอาหารสัตว์: กรมปศุสัตว์. (รายงานผลงานวิจัยโคเนื้อ รหัส 33-1303-49).

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.** กรุงเทพฯ : ฟันนี่พลับลิชชิ่ง.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2544). **เอกสารประกอบการเรียนการสอน รายวิชา 303327 Cattle Production.** สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุรชัย สุวรรณลี. (2550). **เอกสารประกอบการเรียนการสอน รายวิชา 1203 444 cattle & buffalo production.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.agri.ubu.ac.th/suralee/index.html

Garces-Yepez, P., Kunkle, W.E., Bates, D.B., Moore, J.E., Thatcher, W.W. and Sollenberger, L.E. (1997). Effects of supplemental energy source and amount on forage intake and performance by steers and intake and diet digestibility by sheep. **J. Anim. Sci.** 75: 1918-1925.

# บทที่ 2
# วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิต สิ่งมีชีวิตต้องการอาหารตั้งแต่เกิดไปจนกระทั่งตาย และความต้องการจะเปลี่ยนแปลงไปทั้งในแง่ชนิด ปริมาณและคุณภาพ ตามประเภทของสัตว์ ลักษณะทางเดินอาหาร อายุ สถานภาพต่าง ๆ ของร่างกาย ประเภทของผลผลิตที่สร้าง และสภาพแวดล้อม (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2546) สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการอาหารเพื่อใช้เป็นแหล่งโภชนะซึ่งอาหารของสัตว์อาจได้จากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ พืชอาหารสัตว์ รวมทั้งผลพลอยได้ทางการเกษตร และผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมทางการเกษตร อย่างไรก็ตามอาหารสัตว์เหล่านั้นก็มีความแตกต่างกันทางด้านองค์ประกอบของโภชนะ จึงสามารถจำแนกอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็น 2 กลุ่ม คือ อาหารข้น (concentrate) และอาหารหยาบ (roughages)

อาหารข้น หมายถึง อาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูง คือมีจำนวนโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient; TDN) สูง และมีเยื่อใยต่ำ (ต่ำกว่าร้อยละ 18 ของน้ำหนักแห้ง) ได้แก่ เมล็ดพืช ธัญพืช หรือผลพลอยได้จากพืชและอาหารที่มาจากสัตว์ เช่น รำ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง กากเมล็ดถั่วต่าง ๆ และ กากมะพร้าว เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมอาหารจำพวกแร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ ด้วย (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2542)

อาหารหยาบ หมายถึง อาหารที่มีเยื่อใยเป็นส่วนประกอบอยู่เกินกว่าร้อยละ 18 ของน้ำหนักแห้ง อาหารหยาบจัดเป็นอาหารหลักสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้แก่ ผลพลอยได้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ยอดอ้อย ชานอ้อย กากสับปะรด กากมะเขือเทศ เปลือกและต้นข้าวโพดหวาน เป็นต้น (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2542)

ในการเลี้ยงสัตว์มักมีการประกอบสูตรอาหารเลี้ยงสัตว์ ซึ่งสูตรอาหารที่สร้างขึ้นประกอบด้วยวัตถุดิบ (feedstuff) ชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีอยู่หลายประเภท

1. ประเภทให้พลังงาน ได้แก่ ธัญพืช และผลพลอยได้ พืชหัว น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และกากน้ำตาล เป็นต้น

2. ประเภทให้โปรตีน มีทั้งโปรตีนจากพืชและจากสัตว์ เช่น กากถั่วเหลือง ปลาป่น

3. ประเภทวิตามิน มีทั้งวิตามินจากธรรมชาติและวิตามินสังเคราะห์

4. ประเภทแร่ธาตุ มีทั้งแร่ธาตุหลักและแร่ธาตุปลีกย่อย

5. ประเภทสารเสริม เช่น สารเพื่อชีวนะ (probiotic) สารส่งเสริมชีวนะ (prebiotic) และ สารปฏิชีวนะ (antibiotic) เป็นต้น

วัตถุดิบที่ใช้เป็นปริมาณมากที่สุดในอาหารสัตว์ คือ ประเภทให้พลังงาน โดยเฉพาะพวกคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีมากในพืช โดยอาจจะอยู่ในรูปของอาหารหยาบ เช่น ต้นหญ้าและต้นถั่ว ต้นข้าวโพด ฟางข้าว หรืออยู่ในรูปอาหารข้น เช่น เมล็ดข้าวโพด รำข้าว ปลายข้าว และ หัวมันสำปะหลัง เป็นต้น (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2546)

## 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

ทางโภชนศาสตร์จัดหมวดหมู่ของโภชนะออกเป็น 6 ประเภทใหญ่ ๆ คือ น้ำ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน วิตามินและแร่ธาตุ แร่ธาตุจัดเป็นสารอนินทรีย์ ส่วนโภชนะประเภทอื่นยกเว้นน้ำจัดเป็นสารอินทรีย์ เมื่อโภชนะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย จะเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในร่างกาย โดยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า เมแทบอลิซึม (metabolism) ซึ่งมีออกซิเจนเข้าไปร่วมทำปฏิกิริยาโภชนะบางชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เผาพลาญให้เกิดพลังงาน เพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของร่างกาย จึงจัดเป็นโภชนะที่ให้พลังงาน (energy source) ส่วน น้ำ แร่ธาตุ และวิตามินไม่ให้พลังงานโดยตรง แต่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกาย

## 2.2 อาหารคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และเป็นชีวโมเลกุลที่มีปริมาณมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืช โดยในต้นมีมากถึง 70% ของวัตถุแห้ง ในเมล็ดพืชอาจถึง 85% ในพืชหัว เช่น หัวมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบมากกว่า 90% ของวัตถุแห้ง (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2546) เมื่อสัตว์กินพืชจะได้รับคาร์โบไฮเดรตเข้าไปเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในร่างกาย โดยทั่วไป คาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (เมธา วรรณพัฒน์, 2533) ได้แก่ กลุ่มที่ย่อยสลายได้ง่าย หรือไม่เป็นโครงสร้าง (soluble or non-structural carbohydrate) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบไปด้วยน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่มีจำนวนคาร์บอน 5 ตัว (pentose; $C_5H_{10}O_5$) หรือ 6 ตัว (hexose; $C_6H_{12}O_6$) ซึ่งเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่พบในเนื้อเซลล์ ได้แก่ กลูโคส (glucose) ฟรุคโตส (fructose) และซูโครส (sucrose) น้ำตาลเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องถูกย่อยสลายภายในกระเพาะหมักก่อนที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ประโยชน์ และน้ำตาลเชิงซ้อนที่สะสมอยู่ในเนื้อเซลล์ นับว่าเป็นแหล่งพลังงานสะสมที่มีการเคลื่อนย้ายอย่างรวดเร็วและถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้ พลังงานสะสมนี้จะอยู่ในรูปของแป้ง (starch) และกลุ่มที่เป็นโครงสร้าง (structural-carbohydrate) ประกอบด้วย เซลลูโลส (cellulose) เป็นองค์ประกอบหลักที่เป็นโครงสร้างของพืช ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยน้ำย่อยของสัตว์ แต่สัตว์เคี้ยวเอื้องอาศัยเอนไซม์เซลลู

เลส (cellulase) จากจุลินทรีย์ช่วยในการย่อยสลาย เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) ซึ่งอยู่บริเวณผนังเซลล์ช่วยในการเพิ่มความแข็งแรงของพืช และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นกลุ่มที่อยู่ภายนอกเซลล์ ทำหน้าที่ในการเชื่อมผนังเซลล์ ได้แก่ เพกติน (pectin) กาแล็กแตน (galactans) และเบต้า-กลูแคน ($\beta$-glucans) (ฉลอง วชิราภากร, 2541; กฤตพล สมมาตย์, 2546; Hall, 2000) ส่วนลิกนิน (lignin) ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เป็นอนุพันธ์ของสารเฟ-นิลโพรเพน (phenyl propane) (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2546) มักจะพบรวมกับเซลลูโลสในผนังเซลล์ของพืช ลิกนินช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับต้นและใบพืช ยิ่งพืชแก่ก็จะมีลิกนินมาก ทำให้ย่อยได้ยากเพราะเอนไซม์จากสัตว์และจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยได้

**2.2.1 คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่าย หรือไม่เป็นโครงสร้าง (soluble or non-structural carbohydrate; NSC)**

คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายประกอบไปด้วย น้ำตาล แป้ง organic acid และอนุพันธ์ของคาร์โบไฮเดรตอื่น เช่น fructans พวกน้ำตาลที่พบภายในเซลล์พืชที่เป็น monosaccharide ได้แก่ กลูโคส ฟรูคโตส และซูโครส จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ภายในกระเพาะหมัก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลย โดยไม่ต้องถูกย่อยสลายก่อน ส่วนแป้งและน้ำตาลพวก polysaccharides จุลินทรีย์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ก็ต่อเมื่อถูกย่อยสลายเป็น monosaccharide ก่อน

คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายเป็นแหล่งพลังงานหลักในอาหารโค โดยเฉพาะในโคที่ให้ผลผลิตสูง เช่น โคนม ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายจะถูกย่อยได้มากและการย่อยได้เพิ่มขึ้นเมื่อมี neutral detergent fiber (NDF) ในอาหารมากขึ้น การย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะหมักมีความผันแปรมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและกรรมวิธีในการผลิตอาหาร

**2.2.2 คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate; SC)**

คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง พบในผนังเซลล์พืชประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน และลิกนินเป็นส่วนใหญ่ สามารถวิเคราะห์ได้โดยวิธีของ Goering and Van Soest (1970) นำไปละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent solution) ส่วนที่ไม่ละลายก็คือผนังเซลล์หรือ neutral detergent fiber (NDF) เยื่อใยที่ละลายในกรด (acid detergent solution) ส่วนที่ไม่ละลายคือ acid detergent fiber (ADF) ซึ่งระดับของผนังเซลล์ในอาหารโคมีความสัมพันธ์กับ ปริมาณการกินได้ การย่อยได้ และผลผลิตของสัตว์

**เซลลูโลส**

เซลลูโลส เป็น polysaccharides ที่ประกอบด้วย linear chain ของกลูโคสติดต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ $\beta$-1,4 linked glucopyranosyl เซลลูโลสจะอยู่ในรูปผลึกเป็นส่วนใหญ่ และอัดแน่นล้อมรอบโดยผนังเซลล์อื่น เซลลูโลสจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ผลิตโดยเซลลู

โลไลติคแบคทีเรีย (cellulolytic bacteria) ที่อาศัยอยู่ภายในกระเพาะหมัก ย่อยเป็น glucose-1-phosphate ซึ่ง glucose-1-phosphate จะถูกย่อยสลายต่อไปได้ pyruvate และ pyruvate จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) และสังเคราะห์กรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ต่อไป จะได้พลังงานและสารตัวกลาง (intermediate) ออกมา โดยสารตัวกลางที่เกิดขึ้นในวัฏจักรนี้สามารถทำหน้าที่เป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์ชีวโมเลกุลอื่นได้อีกหลายชนิด

**เฮมิเซลลูโลส**

เฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของพืชเช่นกัน ไม่สามารถย่อยสลายด้วยเอนไซม์จากสัตว์ แต่จะย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ของจุลินทรีย์เช่นเดียวกันกับเซลลูโลส ซึ่งได้แก่ *Butyrivibro fibrisolvens, Lachnosperia mutiparens* และ *Bacteroides ruminicola* เป็นต้น เฮมิเซลลูโลสเป็นเฮทเทอโรพอลิเมอร์แซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลมากกว่า 2 ชนิด โดยมีสูตรโครงสร้างแกนกลาง (back bone) เป็น $\beta$-1,4 linked xylopy ranosyl units โดยจับกันเป็นเส้นตรง มีน้ำตาลไซโลส (xylose) จับกันเป็นแกนกลางและมีน้ำตาล L-arabinose จับกับแขน 1,3 และนอกจากนี้อาจจะมีกลูโคส แมนโนส กาแล็กโทส และกรดกลูคูโรนิก อาจทั้งมี side chain ด้วย เฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายได้เป็นไซโลไบโอส (xylobiose) และไซโลส (xylose) ตามลำดับ ไซโลสถูกเปลี่ยนโดยเอนไซม์ทรานสคีโตเลส (transketolase) และทรานสอัลโดเลส (transaldolase) ในวิถีเพนโตสฟอสเฟต (pentose phosphate pathway) จนได้เป็น fructose-6-phosphate และ triose phosphate สารตั้งต้นทั้งสองตัวนี้จะเข้าสู่วิถีไกลโคไลซีส (glycolysis pathway) ต่อไป

**เพคติน**

เพคตินเป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ในผนังเซลล์พืชอยู่รวมกับเซลลูโลส ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดกาแล็กทูโรนิค (galacturonic acid) และต่อด้วยแขนงของน้ำตาลแรมโนส (rhamnose) อะราไบโนส หรือไซโลส สารพวกนี้ละลายน้ำได้ เพคตินจะถูกสลายด้วยเอนไซม์ pectinesterase ได้เป็น methanol และกรดเพคติก (pectic acid) ซึ่งกรดเพค-ติกจะถูกย่อยด้วย polygacturonidase สร้างโดยโปรโตซัว (protozoa) ได้เป็นกรดกาแล็กทูโรนิค แล้วเปลี่ยนเป็นไซโลสเข้าสู่วิถีเพนโตสฟอสเฟสได้เป็น fructose phosphate และ triose phosphate สารตั้งต้นทั้งสองตัวนี้จะเข้าสู่วิถีไกลโคไลซีสต่อไป

**ลิกนิน**

ลิกนินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในอาหารหยาบ โดยเฉพาะในฟางของธัญพืช ประกอบไปด้วย phenyl propane units ลิกนินที่อยู่ในพืชอาหารสัตว์จะเป็นตัวจำกัดการย่อยของจุ-ลินทรีย์ในกระเพาะหมัก มีผลทำให้การย่อยได้ของสารอื่น ๆ ลดลงโดยเฉพาะเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มีผลทำให้สัตว์กินอาหารได้ลดลงเนื่องจากกระเพาะหมักเต็มเร็วขึ้น (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

โดยสรุปแล้ว คาร์โบไฮเดรตทุกประเภทจะถูกย่อยสลาย และเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว แต่อย่างไรก็ตาม ไม่มีโอกาสที่จะพบน้ำตาลอิสระในของเหลวในกระเพาะหมัก เนื่องจากจุลินทรีย์จะนำเข้าสู่เซลล์ทันทีหลังจากเกิดการย่อย ส่วนที่เหลือของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก เมื่อตกลงไปยังลำไส้ใหญ่และซีกัม อาจจะถูกย่อยเพิ่มเป็นบางส่วนโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ (เมธา วรรณพัฒน์, 2533; ฉลอง วชิราภากร, 2541 และ กฤตพล สมมาตย์, 2546)

## 2.3 การใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตโดยจุลินทรีย์

จากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากกระบวนการย่อยภายนอกเซลล์ของจุลินทรีย์แล้ว ในระยะนี้จะมีกระบวนการเมแทบอลิซึมคล้ายกับในเซลล์ของสัตว์ โดยเส้นทางหลักจะมีตัวกลาง คือ ไพรูเวท (pyruvate) ที่ถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลผลิตสุดท้าย จากกระบวนการย่อยในเซลล์จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ส่วนใหญ่จะได้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย (volatile fatty acids; VFAs) ที่พบในปริมาณมากได้แก่ กรดอะซิติค (acetic acid, C2) กรดโพรพิโอนิค (propionic acid, C3) และ กรดบิวทิริค (butyric acid, C4) นอกจากนั้นจะเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) และแก๊สมีเธน ($CH_4$)

## 2.4 การใช้ประโยชน์ของคาร์โบไฮเดรตและกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

คาร์โบไฮเดรตที่มาถึงลำไส้เล็กจะเป็นพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ส่วนนี้แทบจะไม่เกิดการย่อยขึ้นเลยในลำไส้เล็กซึ่งเหมือนกับสัตว์เลี้ยงชนิดอื่นทั่วไป และอีกส่วนหนึ่งเป็นพวกที่ย่อยสลายได้ง่าย ที่อาจเกิดการไหลผ่านเล็ดลอดจากการหมักในกระเพาะหมัก นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรตที่สะสมในเซลล์จุลินทรีย์ กลุ่มหลังนี้จะถูกย่อยโดยเอนไซม์อะไมเลสและมอลเตสที่มาจากตับอ่อนและผนังลำไส้เช่นเดียวกับสัตว์กระเพาะเดี่ยว จะได้กลูโคสเป็นส่วนมากและถูกดูดซึมกลับนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จากกระบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก โดยจุลินทรีย์และได้ผลผลิตหลัก คือ กรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย โดยทั่วไปมีสัดส่วนของ กรดอะซิติค : กรดโพรพิโอนิค : กรดบิวทิริค ประมาณ 65 : 20 : 15 (Miller, 1979; Russell and Gahr, 2000) ผลผลิตของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย แต่ละชนิดจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในตัวสัตว์ ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายทั้งหมดจะถูกดูดซึมที่กระเพาะหมัก ส่วนที่เหลือจะถูกดูดซึมที่กระเพาะส่วนสามสิบกลีบ (omasum) และส่วนกระเพาะแท้ (abomasum) (Ørskov and Ryle, 1998)

กรดอะซิติคเป็นโภชนะที่มีการดูดซึมมากที่สุดจากกระเพาะหมัก ส่วนกรดโพรพิโอนิคและกรดบิวทิริคถูกดูดซึมต่ำกว่า เข้าสู่กระแสเลือดทาง portal blood ไปสู่ตับ ซึ่งที่ตับจะมีการเปลี่ยนกรดโพรพิโอนิคและกรดบิวทิริคทั้งหมด จึงพบว่าในเลือดที่ไปเลี้ยงร่างกาย (peripheral blood) มีกรดอะ

ซิติคมากที่สุดถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายทั้งหมด (ฉลอง วชิราภากร, 2541 และ กฤตพล สมมาตย์, 2546)

การใช้กรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายเป็นแหล่งพลังงาน สามารถที่จะใช้ได้ทั้งสามชนิด โดย กรดอะซิติคจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยผ่านทาง acetyl-CoA และกรดบิวทิริคถูก เปลี่ยนเป็น β-hydroxybutyrate และถูกเปลี่ยนต่อไปเป็น acetyl-CoA จากทั้งสองแหล่งจะถูกนำเข้าสู่ tricarboxylic acid cycle (TCA cycle) ส่วนกรดโพรพิโอนิคจะเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลูโคส โดยผ่านการเปลี่ยนเป็น propionyl-CoA, succinyl-CoA ตามลำดับ แล้วเข้าสู่ TCA cycle เปลี่ยนเป็น malate และออกจากไมโทคอนเดรีย (mitochondrial) แล้วเปลี่ยนเป็น oxaloacetate และ phosphaenolpyruvate ที่ไซโตพลาสซึม (cytoplasm) และเข้าสู่วิถีไกลโคไลซีส (glycolysis) เปลี่ยนไปเป็นกลูโคสในที่สุด โดยกระบวนการดังกล่าวส่วนใหญ่เกิดที่ตับ พลังงานที่ได้จากกลูโคสจากแหล่งกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายทั้งหมดคิดเป็น 21-53 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานทั้งหมด (ฉลอง วชิราภากร, 2541; กฤตพล สมมาตย์, 2546 และ Ørskov and Ryle, 1998)

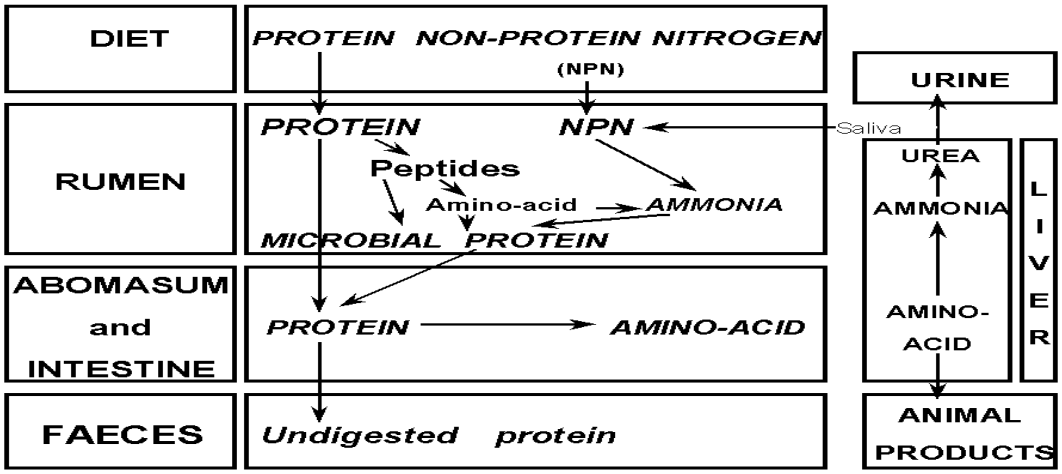
## 2.5 อาหารโปรตีน

โปรตีนเป็นโภชนะที่สำคัญในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะโปรตีนเป็นส่วนประกอบหลักในร่างกายของสัตว์ มีผลต่อการเจริญเติบโต เป็นส่วนประกอบในสาระสำคัญในร่างกาย เช่น ฮอร์โมน และเอนไซม์ ทั้งยังมีส่วนสร้างภูมิคุ้มของร่างกาย การให้ผลผลิตและซ่อมแซมร่างกาย สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในอาหารจะอยู่ในรูปที่แตกต่างกัน ส่วนหนึ่งเป็นส่วนประกอบของ amimo acid ที่ประกอบเป็นโปรตีนแท้ (true protein) ในอาหาร อีกส่วนหนึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) สารประกอบไนโตรเจนบางกลุ่มมีความแตกต่างกันทั้งความสามารถในการละลาย (solubility) และส่วนประกอบของ amimo acid ส่วนสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนนั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น เอไมด์ (amide), เอมีน (amine), เกลือแอมโมเนียม (ammonium salt), ไนเตรท (nitrate), ไนไตร์ท (nitrite), ยูเรีย (urea), และไบยูเรท (byurate) ปริมาณของ NPN ในอาหารมีค่าตั้งแต่ 4-5% ทั้งหมดของไนโตรเจนในเมล็ดธัญพืช จนถึง 60-75% ในอาหารหยาบหมัก (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

### 2.5.1 การย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมัก

จุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก โดยเฉพาะแบคทีเรีย ทำหน้าที่ย่อยสลายโปรตีนโดยการผลิตเอนไซม์ (extracellular enzymes) ออกมาเข้าย่อยสลาย ระดับ pH ที่เหมาะสมในการย่อยสลายโปรตีนจะอยู่ระหว่าง 6.0-7.0 โปรตีนจะถูกย่อยเป็น peptides และ amimo acids ต่อจากนั้นจะมีการผลิต ammonia และกรดอินทรีย์โดยกระบวนการ deamination ของแบคทีเรีย amimo acids และ ammonia ที่เกิดขึ้นจะถูกจุลินทรีย์นำไปสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein) ดังรูปที่

2.3 ประมาณ 80% ของโปรตีนจากจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์จาก ammonia และ 20% จะสังเคราะห์จาก amimo acids โดยตรง ประมาณ 60% ของโปรตีนจะถูกย่อยในกระเพาะหมักได้ amimo acids และ ammonia ปริมาณของโปรตีนที่ถูกย่อยนี้ 29% จะถูกใช้ประโยชน์ในรูป amimo acids และอีก 71% จะเปลี่ยนให้เป็น ammonia อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของอาหารโปรตีนนั้นด้วย (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2542)




**รูปที่ 2.1** การย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมัก (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2542)

**2.5.2 การนำกลับของไนโตรเจนเข้าสู่กระเพาะหมัก (N-Recycling)**

ไนโตรเจนในรูปของยูเรียสามารถผ่านกลับเข้าสู่กระเพาะหมักได้ทางน้ำลาย ปัจจุบันพบว่ายูเรียสามารถที่จะกลับเข้าสู่กระเพาะหมักทางผนังของกระเพาะหมัก (rumen wall) ได้ตามกระบวนการ diffusion ซึ่งการนำกลับของยูเรียจะช่วยให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำ หรืออยู่ในช่วงที่สัตว์อดอาหาร ดังในรูปที่ 2.1 การเพิ่มขึ้นของระดับยูเรียในเลือดจะเป็นผลเนื่องมาจากสัตว์กินอาหารที่มีโปรตีนและ NPN ในระดับที่สูง นอกจากนี้ระดับของยูเรียในเลือดสัมพันธ์กับระดับแอมโมเนียในกระเพาะหมักด้วย นอกจากนั้นระดับของยูเรียอาจสูงขึ้นได้ เนื่องจากการนำไปใช้ประโยชน์ของโปรตีนของร่างกาย

การที่สัตว์ได้รับยูเรียในปริมาณมาก มีผลทำให้มีการสะสมแอมโมเนียในกระเพาะหมักและทำให้ pH สูงตามไปด้วย การดูดซึมแอมโมเนียผ่านผนังกระเพาะหมักจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว เมื่ออัตราการดูดซึมแอมโมเนียเกิดขึ้น เร็วกว่าที่ตับทำการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นยูเรียได้ทัน จะเกิดการสะสมแอมโมเนียในเลือด กระทบกระเทือนต่อสมดุลกรด-ด่างในร่างกายเป็นเหตุให้สัตว์ตายได้

**2.5.3 กระบวนการใช้ NPN (non-protein nitrogen) ในกระเพาะหมัก**

ammonia เป็นตัวที่ทำหน้าที่ในปฏิกิริยาของการใช้ NPN ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักไม่สามารถที่จะย่อยสลายสารประกอบ NPN ให้ได้ ammonia ที่อยู่ในรูปอิสระ สารประกอบนั้นจะไม่มีประโยชน์ในการใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน การใช้สารประกอบ NPN อื่น ๆ จะเป็นไปคล้าย ๆ กับกระบวนการการใช้ยูเรีย ซึ่งแสดงไว้ข้างล่างนี้ การใช้ NPN ร่วมกับอาหารหยาบคุณภาพต่ำ ที่ประกอบไปด้วย lignocellulosic complex จะทำให้กระบวนการใช้ในขั้นตอนที่ 1 เกิดขึ้นเร็วกว่าในขั้นตอนที่ 2 ทำให้ไปจำกัดการผลิต keto acids ซึ่งจะนำไปสังเคราะห์ amimo acids ทำให้สูญเสีย ammonia ผ่านกระเพาะหมัก และทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในอาหารไม่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าอัตราของการได้รับยูเรียเหมาะสมกับอัตราการย่อยสลายของเซลลูโลส จะทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนดีขึ้น (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

ระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักที่เหมาะสม ความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตสูงสุดนั้นยังไม่ทราบแน่นอน แต่มีความเข้าใจว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับของการให้อาหาร ความสามารถของการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรตและแหล่งแร่ธาตุ เป็นต้น Satter and Slyter (1974) แนะนำไว้ว่า ระดับที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 50-80 mg$NH_3$-N/L ของของเหลวกระเพาะหมักจะทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงสุด ในขณะที่งานวิจัยในเขตร้อนมีค่าสูงกว่าที่รายงานไว้ (Boniface et al., 1986 และ Perdok et al., 1988) ไนโตรเจนในอาหารเขตร้อนมีค่าต่ำมากโดยเฉพาะผลพลอยได้ทางการเกษตร ในรายงานของ Chanthai et al. (1988) พบว่าระดับแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักมีระดับที่ 1 mg% ในโคกระบือ เมื่อได้รับฟางหมักยูเรียเพิ่มเป็น 8-10 mg% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นค่าจำกัดในการใช้ประโยชน์ของฟางข้าวในเขตร้อน (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

กระบวนการการใช้ NPN ร่วมกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

NPN (urea) ----------> $NH_3 + CO_2$

CHOs ----------> VFAs + Keto acids

$NH_3$ + Keto acids ----------> Amimo acids

Amimo acids ----------> Microbial protein

Microbial protein ----------> Free amimo acids

Free amimo acids ----------> Absorbed for utilization in animal body

**2.5.4 เมแทบอลิซึมของไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม**

ไนโตรเจนในอาหารที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักได้ ammonia และ organic acids ปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกย่อยสลาย (degraded N) จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายได้ (solubility) ระดับของปริมาณอาหารที่กินได้ (level of feed intake) และสรีระวิทยาอื่น ๆ ammonia ที่ไม่ถูกนำไปใช้สังเคราะห์ microbial protein จะถูกดูดซึมผ่านผนังของกระเพาะหมัก หรือ ผนังลำไส้ (intestinal wall) เข้าสู่เส้นเลือดถูกขนส่งไปยังตับเพื่อเมแทบอไลซ์ให้เป็นยูเรียผ่านวัฏจักรยูเรีย โดยการขนถ่ายผ่าน portal vein ส่วน amino acids จะถูกดูดซึมในกระเพาะหมักน้อยมาก โปรตีนที่ผ่านไปยังกระเพาะส่วนล่างจะประกอบด้วย โปรตีนในอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (undegraded dietary protein, UDP) โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial protein) และโปรตีนจากเนื้อเยื่อที่หมดอายุหรือเอนไซม์ต่าง ๆ (endogenous protein) โปรตีนเหล่านี้จะถูกย่อยให้มีอนุภาคเล็กลง และจะถูกย่อยโดยน้ำย่อยจากกระเพาะจริงและลำไส้ได้เป็น amino acids และ nucleic acids สารอาหารเหล่านี้จะถูกดูดซึมผ่าน intestinal wall เข้าสู่ร่างกายสัตว์เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

**2.5.5 อาการเป็นพิษเนื่องจากยูเรีย**

ถ้าระดับแอมโมเนียในเลือดสูงเกิน 10 mg/L สัตว์จะแสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากยูเรีย คือ มีน้ำลายไหล ชัก (tetany) กล้ามเนื้อไม่สัมพันธ์กัน (ataxia) ท้องอืด (bloat) การหายใจผิดปรกติ และถ้ามีระดับแอมโมเนียในเลือดสูงถึง 30 mg/L สัตว์จะตาย ถ้าสัตว์เริ่มมีอาการให้รีบแก้ไขโดยการกรอกปากด้วยน้ำส้มสายชู หรือกรดอะซิติกผสมน้ำเย็น กรดจะช่วยลดความเป็นด่างในกระเพาะหมักและเส้นเลือด อีกทั้งน้ำเย็นยังช่วยลดอุณหภูมิของกระเพาะหมัก ทำให้แอมโมเนียถูกดูดซึมช้าลงลดอันตรายลงได้

## 2.6 ความต้องการพลังงานของโค

พลังงานในอาหารเป็นเรื่องที่สำคัญ ที่ต้องพิจารณาในการประกอบสูตรอาหาร เนื่องจากร่างกายของสัตว์มีความต้องการพลังงานเป็นปริมาณมาก เพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งเพื่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิต หรือบำรุงร่างกายให้สามารถดำรงอยู่ได้อย่างปรกติ ในทางผลิตสัตว์พลังงานเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ในอาหาร ซึ่งโภชนะที่ให้พลังงานได้ คือ พวกที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และ ไขมัน ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น การกินอาหาร การเคลื่อนไหว การย่อยอาหาร การดูดซึมสารอาหาร และการเมแทบอลิซึมของร่างกายต่าง ๆ ต้องเกี่ยวข้องกับพลังงานทั้งสิ้น

**2.6.1 หน่วยของพลังงาน**

ระบบประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหาร และระบบประเมินความต้องการอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ใช้กันอยู่มีหลายระบบ อาทิ NRC (National Research Council) ของสหรัฐอเมริกา ใช้ total digestible nutrients (TDN) และ net energy (NE), ARC (Agricultural Research Council) ของสหราชอาณาจักร ใช้ metabolisable energy (ME) ในประเทศไทยใช้อ้างอิงจาก NRC และ ARC

ในสหรัฐอเมริกาใช้หน่วยวัดพลังงาน 2 วิธี

**โภชนะย่อยได้ทั้งหมด** หมายถึง ผลรวมของ digestible protein, fiber, nitrogen-free-extract และ 2.25 (fat)

$$\%TDN = \frac{\text{Digestible [CP + CF + NFE + (2.25 EE)] x 100}}{\text{Feed DM Consumed}}$$

**Calorie system** เป็นระบบที่ใช้วัดค่าพลังงานในอาหาร โดยที่ 1 cal หมายถึง ปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องการทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C โดยปรกติเพิ่มจาก 14.5 °C เป็น 15.5 °C การวัดพลังงานความร้อนนี้ต้องใช้เครื่องมือที่เรียกว่า bomb calorimeter เพื่อผลาญอาหารที่ต้องการวัดค่าพลังงานในสภาพที่มีออกซิเจน

สหราชอาณาจักรใช้ระบบวัดพลังงานที่เรียกว่า British metabolisable energy (ME) มีหน่วยวัดเป็น Joules, Kilojoules และ Megajoules

การเทียบค่าพลังงานระหว่างระบบทั้งสองกระทำได้โดยประมาณดังนี้

1 cal = 4.184 joules

1 kgTDN = 3.82 Mcal ME = 19 MJ DE = 16 MJ ME

**2.6.2 การจำแนกประเภทของพลังงาน**

ความเข้มข้นของพลังงานทั้งหมดในอาหาร หรือในเนื้อเยื่อสัตว์ เรียกว่า พลังงานรวม หรือ gross energy, GE ส่วนประกอบของอาหารที่ให้พลังงานได้แก่ ไขมัน โปรตีน และ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีพลังงานอยู่โดยประมาณเท่ากับ 39, 24 และ 17.5 MJ/kgDM ตามลำดับ โดยทั่วไป อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีค่า GE อยู่ในช่วง 18-19 MJ/kgDM (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2542)

เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไป ส่วนของ GE บางส่วนถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อและสร้างผลผลิต เนื่องจากระหว่างเกิดกระบวนการย่อยและเมแทบอลิซึมภายในร่างกายมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปกับอุจจาระ (faecal energy, FE) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ GE ในอาหารที่ไม่ถูกย่อย ส่วนแตกต่างระหว่าง GE ที่สัตว์กินเข้าไปกับพลังงานในอุจจาระ (FE) เรียกว่า พลังงานย่อยได้ (digestible energy, DE) กล่าวคือ

$$DE = GE - FE$$

DE เมื่อถูกดูดซึมจะเกิดการสลายตัว และมีพลังงานบางส่วนถูกขับออกนอกร่างกายโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ ได้แก่ พลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ (urinary energy) และพลังงานที่ขับออกในรูปแก๊ส (gaseous หรือ methane energy) ดังนั้นส่วน DE ที่ไม่พบในปัสสาวะและแก๊ส เรียกว่าพลังงานใช้ประโยชน์ (metabolisable energy, ME) กล่าวคือ

$$ME = DE - (\text{urinary energy} + \text{methane energy})$$

ฉะนั้น ME สามารถหาได้ โดยการวัด GE ในอาหาร และวัดพลังงานในอุจจาระ ปัสสาวะ และ มีเทน สำหรับ urinary energy และ methane energy โดยปรกติมีค่าเป็นสัดส่วนค่อนข้างคงที่กับ digestible energy (~ 18%) ค่าของ ME ประมาณได้ดังนี้

$$ME = 0.82\ DE$$

ความเข้มข้นของพลังงาน ME ที่ประกอบอยู่ใน GE มีชื่อเรียก metabolisability (q) หรือหมายถึงสัดส่วนของ ME ใน GE ของอาหาร

$$q = ME/GE$$

นอกจากนี้ทั้งสองระบบนิยมใช้พลังงานสุทธิ (net energy, NE) ในการอธิบายการใช้ประโยชน์พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (net energy for maintenance) พลังงานที่สะสมในเนื้อเยื่อร่างกาย (net energy for tissue gain) พลังงานสุทธิเพื่อการอุ้มท้อง (net for pregnancy) และพลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (net energy for production) ดังนั้น

$$NE_R = NE_m + NE_g + NE_p + NE_l$$

ส่วนในโคเนื้อ NRC (1996) แนะนำว่าประสิทธิภาพของ $NE_R$ ในการใช้ในการผลิตน้ำนมเพื่อการอุ้มท้องจะคล้ายกับการใช้เพื่อการดำรงชีพ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการประเมินความต้องการพลังงานของโคเนื้อจะเปลี่ยนอยู่ในรูปของ $NE_m$ ดังนั้น

$$NE_R = NE_m + NE_g$$

**2.6.3 สมการประเมินความต้องการพลังงานของโคเนื้อ**

ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อ NRC (1996) แนะนำให้ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$NE_m \text{ (Mcal/day)} = 0.077 \text{ Mcal x } EBW^{0.75}$$

เมื่อ EBM = average empty body weight in kilograms (Lofgreen and Garrett, 1968; Garrett, 1980)

$$EBW = 0.891 * SBW$$

เมื่อ SBW = shrunk body weight, kg (typically 0.96 * full weight)

ส่วนความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคเนื้อจะคำนวณจากน้ำหนักตัว (body weight), shrunk weight gain (SWG), องค์ประกอบของร่างกาย (body composition) และขนาดของร่างกาย (body size) โดย NRC (1996) แนะนำให้ใช้สมการดังต่อไปนี้

คำนวณ $NE_g$ จาก

$$RE = 0.0635 * EQEBW^{0.75} * EBG^{1.097}$$

เมื่อ RE = retained energy, Mcal/day

$$EQEBW = 0.891 * EQSBW$$

เมื่อ EQEBW = equivalent empty body weight, kg

$$EQSBW = SBW * (SRW/FSBW)$$

เมื่อ EQSBW = equivalent shrunk body weight, kg

SBW = shrunk body weight, kg (typically 0.96 * full weight)

FSBW = actual final shrunk body weight at the body

SRW = 478 kg for animal finishing at small marbling (28% body fat)

= 462 kg for animal finishing at slight marbling (27% body fat)

= 435 kg for animal finishing at trace marbling (25% body fat)

$$EBG = 0.956 * SWG$$

เมื่อ SWG = shrunk weight gain, kg

**2.6.4 การประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารตาม NRC (2001)**

ถึงแม้ระบบการประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้ค่า NE จะเป็นระบบที่ดี แต่ทำการวัดโดยตรงได้ยาก ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก ตลอดจนต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่งยากซับซ้อน ประเทศต่าง ๆ จึงคิดค้นสมการมาใช้ในการคำนวณ โดยใช้การประเมินค่าทางพลังงานจากองค์ประกอบทางเคมี เช่นในประเทศเยอรมันคำนวณค่า $NE_L$ จาก GE และ ME ประเทศสหรัฐอเมริกาคำนวณจาก TDN อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ ในการทำนายคุณค่าทางพลังงานก็มีหลากหลาย บางสมการใช้ได้เฉพาะอาหารบางชนิด เช่น อาหารข้น บางสมการใช้ได้เฉพาะกับอาหารหยาบ จนกระทั่งในปี 1992 Weiss et al. ทำการปรับปรุงสมการที่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าทางพลังงานกับอาหารหลายชนิดรวมทั้ง by-products และ heat-damaged forages ได้ หลักการของสมการนี้ยึดหลักที่ว่า โภชนะชนิดใดที่ให้พลังงานได้ต้องนำมาคำนวณด้วย ซึ่งโภชนะดังกล่าวประกอบด้วย CP, Fat, NFC และ NDF การคำนวณต้องอาศัย true digestibility (td) ของโภชนะนั้น ๆ จากนั้นจะได้ค่า TDN ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า $NE_L$ ได้โดยอาศัยสมการต่าง ๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

การประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารสัตว์ตามระบบ NRC (2001) มีหลักการคือ ส่วนประกอบของโภชนะใด ๆ ในอาหาร ที่ให้พลังงานต้องนำมาคำนวณทั้งหมด โดยคำนวณออกมาในรูปของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient, TDN) ดังสมการ

$$TDN_{1X} (\%) = tdNFC + tdCP + (tdFA \times 2.25) + tdNDF - 7$$

เมื่อ td = Truly digestible

**2.6.4.1 พลังงานจาก NFC**

โดยปกติ NFC เป็น uniform feed fraction ที่มีค่า td ประมาณ 0.98 ถ้าสัตว์ได้รับอาหารที่ระดับ maintenance NFC คำนวณได้โดยการหักลบค่า ash, CP, $NDF_N$ และ EE จาก 100 ที่

ต้องใช้ค่า $NDF_N$ แทนค่า NDF ก็เพื่อไม่ให้ CP ถูกหักออกซ้ำกันถึง 2 ครั้ง มิฉะนั้นจะทำให้ค่า NFC ต่ำไป การคำนวณพลังงานจาก NFC คำนวณได้ดังสมการ

$$tdNFC = 0.98\ (100-[(NDF - NDICP) + CP + EE + Ash])\ x\ PAF$$ หรือ

$$tdNFC = 0.98\ (100-[(NDF_N + CP + EE + Ash])\ x\ PAF$$

$$NDF_N = NDF - NDICP$$

$$NDICP = NDIN\ x\ 6.25$$

เมื่อ NFC = Non fiber carbohydrate

NDF = Neutral detergent fiber

NDIN = Neutral detergent insoluble nitrogen

PAF = Processing adjustment factor (ตารางที่ 2.1)

**2.6.4.2 พลังงานจากโปรตีน**

โปรตีนเป็น uniform feed fraction เพราะค่า true digestibility (TD) ของ crude protein (CP) เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ ในพืชส่วนมากมีค่าผันแปรระหว่าง 0.9-1.0 เฉลี่ย 0.93 สำหรับอาหารข้นที่ไม่ได้ผ่านความร้อน (unheated concentrate) ค่า $TD_{CP}$ จะมีค่าประมาณ 1.0 (Fonnesbeck et al., 1984) อาหารที่ถูกความร้อน ค่า $TD_{CP}$ จะมีค่าลดลง เนื่องจากการย่อยได้ของ CP และอัตราการถูกทำลายด้วยความร้อน (eat damage) มีความสัมพันธ์กับ acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่า $TD_{CP}$ ได้จากค่า ADIN แต่เนื่องจากความสัมพันธ์นี้ในอาหารข้นและในอาหารหยาบมีไม่เท่ากัน จึงต้องอาศัยสมการคำนวณที่แตกต่างกันดังนี้

Truly digestible CP for forages (tdCPf)

$$tdCPf = CP\ x\ exp^{[-1.2\ x\ (ADICP/CP)]}$$

Truly digestible CP for concentrates (tdCPc)

$$tdCPc = [1 – (0.4 \times (ADICP/CP))] \times CP$$

เมื่อ ADICP = Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) x 6.25

**2.6.4.3 พลังงานจากไขมัน**

ค่า ether extract (EE) ในอาหารประกอบด้วยกรดไขมัน (รวมทั้ง triglycerides), waxes, pigments และอื่น ๆ อีกเล็กน้อย Palmquist (1991) แนะนำว่าในการหาปริมาณไขมันควรวิเคราะห์ fatty acids (FA) มากกว่าการวิเคราะห์ ether extract (EE) ทั้งนี้เนื่องจาก FA เป็นค่าที่ uniform ในขณะที่ EE ไม่ uniform แต่เครื่องมือในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หา EE ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จึงยังคงนิยมวิเคราะห์ค่า EE อยู่ อย่างไรก็ตามการคำนวณหาค่า FA สามารถทำได้โดยการคำนวณจากค่า EE ทั้งนี้เพราะไขมันที่ไม่ใช่ FA มีประมาณ 1.0% ของ DM ในอาหารเท่านั้น

$$FA = EE – 1.0 \text{ (Allen, 2000)}$$

tdFA = FA แต่ถ้าในกรณีที่ EE < 1, FA จะมีค่าเท่ากับ 0

**2.6.4.4 พลังงานจาก NDF**

NDF ไม่ค่าที่ uniform แต่ NDF ส่วนที่อาจย่อยได้ (potential digestible NDF หรือ pdNDF) เป็นค่าที่ uniform โดยมีการย่อยได้เท่ากับ 1.0 นอกจากนี้ 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 จึงควรคำนวณหาค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิว NDF ที่ถูกปกคลุมด้วย lignin เพื่อนำมาหักลบออก ดังนี้ค่า pdNDF คำนวณได้จากสมการ

$$pdNDF = (NDF – Lignin) [1 – (Lignin/NDF)^{0.667}]$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % ของ DM และ lignin วิเคราะห์โดยวิธี ADF – sulphuric สมการข้างต้นนี้ใช้ได้กับพืชแทบทุกชนิด แต่ใน by-product หลายชนิด อาจมีส่วนของ CP ปนมาในค่า NDF มาก ทำ

ให้มีค่า NDF สูงเกินไป ดังนั้นจึงควรวิเคราะห์ neutral detergent insoluble nitrogen (NDIN) ด้วย เพื่อคำนวณหาค่า NDF ที่ปราศจาก N แล้ว ($NDF_N$) ดังนี้

$$NDF_N = NDF – NDICP$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % และ NDICP = NDIN x 6.25

พลังงานจาก NDF คำนวณโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประมาณว่าการย่อยได้ของ pdNDF ในสัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับ maintenance มีค่าเท่ากับ 0.75 ฉะนั้น truly digestible NDF (tdNDF) จะมีค่าดังสมการ

$$tdNDF = 0.75 (NDF_N – Lignin) [1 – (Lignin/NDF_N)^{0.667}]$$

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อาหารสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มากจากสัตว์ เช่น โปรตีนจากสัตว์ ซึ่งจะไม่มีส่วนของ structural carbohydrates แต่จะมีส่วนของ seutral detergent insoluble residue แต่ไม่ใช่เป็นส่วนของ cellulose, hemicellulose หรือ lignin ดังนั้นสมการข้างต้นจะใช้ไม่ได้ในกรณีนี้ ต้องใช้สมการดังนี้

$$TDN_{1X} = (CPdigest \times CP) + (FA \times 2.25) + 0.98(100 – CP – Ash – EE) – 7$$

เมื่อ CPdigest = estimated true digestibility of CP (ตารางที่ 2.2)

เช่นเดียวกันกับกรณีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ ถ้าเป็นอาหารสัตว์จำพวกไขมันจะคำนวณค่า $TDN_{1X}$ จากการวัดค่า fatty acid digestibility ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 สำหรับแหล่งไขมันที่มีองค์ประกอบของ glycerol:

$$TDN_{1X} (\%) = (EE \times 0.1) + [FAdigest \times (EE \times 0.9) \times 2.25]$$

สำหรับแหล่งไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ glycerol:

$$TDN_{1X}\ (\%) = (EE \times FAdigest\ ) \times 2.25$$

**2.6.4.5 การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance**

Crampton et al. (1957) และ Swift (1957) คำนวณค่า GE value of TDN เท่ากับ 4.409 Mcal/kg อย่างไรก็ตามโภชนะแต่ละชนิดในอาหารมีค่า heat of combustion ที่แตกต่างกัน เช่น 4.2 Mcal/kg for carbohydrate, 5.6 Mcal/kg for CP, 9.4 Mcal/kg for fatty acid และ 4.3 Mcal/kg for glycerol (Maynard et al., 1979)

จากการที่ GE value of TDN ในอาหารแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน อาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN มากกว่า 4.409 Mcal/kg ในทางกลับกันอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรทเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN น้อยกว่ากว่า 4.409 Mcal/kg ดังนั้นการคำนวณค่า DE จาก 0.4409 x TDN (%) ตามที่แนะนำไว้ใน NRC (1988) นั้น ปัจจุบันได้ยกเลิกแล้ว NRC (2001) ได้พัฒนาการคำนวณค่า DE โดยคำนวณจาก estimated digestible nutrient concentration คูณด้วย heat of combustion ของโภชนะนั้น ๆ และเนื่องจาก DE คำนวณจาก apparent digestibility แต่สมการคำนวณ TDN จากโภชนะต่าง ๆ ใช้ค่า true digestibility ดังนั้นต้องใช้ค่า metabolic fecal energy มาทำการปรับเมื่อต้องการคำนวณค่า DE จาก TDN โดยทั่วไปค่า heat of combustion ของ metabolic fecal TDN จะประมาณเท่ากับ 4.4 Mcal/kg ดังนั้น metabolic fecal DE = 7 x 0.044 = 0.3 Mcal/kg

ดังนั้นสามารถคำนวณ $DE_{1X}$ ได้จากสมการดังต่อไปนี้

สำหรับอาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไป

$$DE_{1X}\ (Mcal/kg) = [(tdNFC/100) \times 4.2] + [(tdNDF/100) \times 4.2] + [(tdCP/100) \times 5.6] + [(FA/100) \times 9.4] - 0.3$$

สำหรับอาหารโปรตีนจากสัตว์

$$DE_{1X}\ (Mcal/kg) = [(tdNFC/100) \times 4.2] + [(tdCP/100) \times 5.6] + [(FA/100) \times 9.4] - 0.3$$

สำหรับอาหารไขมันที่มีองค์ประกอบของ glycerol

$$DE_{1X} \text{ (Mcal/kg)} = [9.4 \times (FAdigest \times 0.9 \times (EE/100))] + [4.3 \times 0.1 \times (EE/100)]$$

สำหรับอาหารไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ glycerol

$$DE_{1X} \text{ (Mcal/kg)} = [9.4 \times (FAdigest \times 0.9 \times (EE/100))]$$

tdNFC, tdNDF, tdCP และ FA มีหน่วยเป็น %

**2.6.4.6 การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake**

การย่อยได้อาหารของโคนมจะลดลงเมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้น (Tyrell and Moe, 1975) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าพลังงานของอาหารนั้น ๆ ลดลงเมื่อการกินได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในโครีดนมที่ให้น้ำนมมาก ๆ อย่างเช่นในปัจจุบัน ซึ่งอาจกินอาหารได้มากถึง 4 เท่าของการกินได้ที่ระดับ maintenance การลดลงของ digestibility เมื่อ intake เพิ่มขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับ digestibility of diet at maintenance (Wagner and Loosli, 1967) เมื่อการกินได้อาหารเพิ่มขึ้น อาหารที่มีค่า digestibility at maintenance สูง จะมีอัตราการลดลงของ digestibility มากกว่าอาหารที่มีค่า digestibility at maintenance ต่ำ NRC (1988) ใช้ค่าคงที่ 4% ในการปรับ energy value at 1X to 3X maintenance ถ้าใช้วิธีการเดิมนี้ในการคำนวณ อาหารที่มี 75%$TDN_{1X}$, จะมีค่า discount 3%/unit multiple of 1X ในขณะที่ อาหารที่มี 60%$TDN_{1X}$ จะมีค่า discount เท่ากับ 2.4% ถ้าอาหารมีค่า $TDN_{1X}$ เท่ากับ หรือ น้อยกว่า 60% ค่า discount จะมีค่าค่อนข้างน้อย NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้ในการคำนวณ % discount

$$\text{TDN percentage unit decline} = 0.18TDN_{1X} - 10.3 \ (r^2 = 0.85)$$

ทั้งนี้เนื่องจากในการคำนวณค่า ME และ $NE_L$ ใช้ค่า DE ไม่ได้ใช้ค่า TDN ฉะนั้นการคำนวณค่า $DE_p$ จึงต้องใช้ discount factor เป็นตัวคูณ

$$\text{Discount} = [(TDN_{1X} - [(0.18 \times TDN_{1X}) - 10.3]) \times \text{intake})]/TDN_{1X}$$

หน่วยของ $TDN_{1X}$ เป็น % of DM และ Intake หมายถึงจำนวนเท่าของการกินได้ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการกินได้ที่ระดับ maintenance เช่น การกินได้เท่ากับ 3X maintenance, intake above maintenance = 2 ส่วนในโคเนื้อการกินได้น้อยกว่าโคนม ฉะนั้น Intake = 2X

ตัวอย่าง เช่นโครีดนมกินอาหารที่มี 74%$TDN_{1X}$ ได้เป็น 3X maintenance ฉะนั้น digestibility ควรจะเท่ากับ 0.918 เท่าของ digestibility ที่ 1X maintenance

**2.6.4.7 การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake**

การประมาณค่า ME at production level of intake ($ME_p$) นั้นคำนวณจากค่า $DE_p$ การคำนวณค่า ME จาก DE ใน NRC (1988) ใช้สมการ ME (Mcal/kg) = (1.01 x DE) – 0.45 อย่างไรก็ตามสมการดังกล่าวประเมินจากอาหารที่มีไขมันประมาณ 3% และเนื่องจากประสิทธิภาพการเปลี่ยน DE จากไขมันเป็น ME นั้นมีค่าเกือบ 100% (Andrew et al., 1991; Romo et al., 1996) ดังนั้นสมการข้างต้นจะประมาณค่า ME ของอาหารที่มีไขมันสูงต่ำไป NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้แทน

$$ME_p = [1.01 \times (DE_p) - 0.45] + [0.0046 \times (EE - 3)]$$

เมื่อ $DE_p$ มีหน่วยเป็น Mcal/kg และ EE มีหน่วยเป็น % of DM

$ME_p$ ของอาหารที่ไขมันมากกว่า 3% จะเพิ่มขึ้น 0.0046 ทุก ๆ % unit increase in EE above 3% ในกรณีที่อาหารมีไขมันเท่ากับ หรือน้อยกว่า 3% ให้ใช้สมการเดิมที่แนะนำใน NRC (1988)

สำหรับ fat supplements, $ME_p$ (Mcal/kg) = $DE_p$ (Mcal/kg)

**2.6.4.8 การประมาณค่า Net Energy of Feeds for Maintenance and Gain**

สมการในการประมาณค่า $NE_M$ และ $NE_G$ จะใช้สมการที่เสนอโดย Garrett (1980) สำหรับโคเนื้อที่แนะนำไว้ใน NRC (1996) $NE_M$ และ $NE_G$ ในอาหารนี้เป็นการประมาณที่ระดับการ

กินได้อาหาร 2X maintenance และคำนวณค่า ME เพื่อใช้ในสมการจากการคูณ $DE_{1X}$ (ตามที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้) ด้วย 0.82 แทนค่า ME ตามสมการข้างล่างก็จะได้ค่า $NE_M$ และ $NE_G$

$$NE_M = 1.37\ ME - 0.138\ ME^2 + 0.0105\ ME^3 - 1.12$$

$$NE_G = 1.42\ ME - 0.174\ ME^2 + 0.0122\ ME^3 - 1.65$$

เมื่อ ME, $NE_M$ และ $NE_G$ มีหน่วยเป็น Mcal/kg

อย่างไรก็ตาม สมการข้างต้นไม่เหมาะสำหรับใช้คำนวณค่า $NE_M$ และ $NE_G$ ของ fat supplements ควรใช้ $ME_p = DE_p$ และใช้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยน ME เป็น $NE_L$ เท่ากับ 0.80 เพื่อเปลี่ยน ME เป็น $NE_M$ แต่ในการเปลี่ยน ME เป็น $NE_G$ ใช้ค่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเท่ากับ 0.55

**ตารางที่ 2.1** กระบวนการปรับปัจจัย (Processing adjustment factors, PAF) for NFC

| Feedstuff | PAF |
|---|---|
| Bakery waste | 1.04 |
| Barley grain, rolled | 1.04 |
| Bread | 1.04 |
| Cereal meal | 1.04 |
| Chocolate meal | 1.04 |
| Cookie meal | 1.04 |
| Corn grain, cracked dry | 0.95 |
| Corn grain, ground | 1.00 |
| Corn grain, ground high moisture | 1.04 |
| Corn and cob meal, ground high moisture | 1.04 |
| Corn grain, steam flaked | 1.04 |
| Corn silage, normal | 0.94 |
| Corn silage, mature | 0.87 |
| Molasses | 1.04 |
| Oats grain | 1.04 |
| Sorghum grain, dry rolled | 0.92 |
| Sorghum grain, steam flaked | 1.04 |
| Wheat grain, rolled | 1.04 |
| All other feeds | 1.00 |

For feeds no shown PAF = 1 (NRC, 2001)

**ตารางที่ 2.2** ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า $TDN_{1X}$ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์

| Feedstuff | True digestibility |
|---|---|
| Blood meal, batch dried | 0.75 |
| Blood meal, ring dried | 0.86 |
| Hydrolyzed feather meal | 0.78 |
| Hydrolyzed feather meal with viscera | 0.81 |
| Fish meal (Menhaden) | 0.94 |
| Fish meal (Anchovy) | 0.95 |
| Meat and bone meal | 0.80 |
| Meat meal | 0.92 |
| Whey | 1.00 |

ที่มา : NRC (2001)

**ตารางที่ 2.3** ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีพ (assumed 8% increase in digestibility compared with 3X maintenance) สำหรับอาหารสัตว์จำพวกไขมัน

| Fat | Fat type | True digestibility |
|---|---|---|
| Calcium salts of fatty acids | Fatty acids | 0.86 |
| Hydrolyzed tallow fatty acids | Fatty acids | 0.79 |
| Partially hydrogenated tallow | Fat plus glycerol | 0.43 |
| Tallow | Fat plus glycerol | 0.68 |
| Vegetable oil | Fat plus glycerol | 0.86 |

ที่มา : NRC (2001)

## 2.7 ความต้องการอาหารโปรตีนของโค

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการโปรตีนเพื่อเสริมสร้างส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และเพื่อการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตในรูปของเนื้อและนม ความต้องการโปรตีนเพื่อการต่าง ๆ มีลักษณะคล้ายกับความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต และความต้องการโปรตีนเพื่อการให้ผลผลิตน้ำนม

### 2.7.1 ความต้องการ rumen degradable protein (RDP)

โดยปกติแล้วสัตว์เคี้ยวเอื้องอาศัยจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพอยู่ในกระเพาะหมัก เพื่อช่วยย่อยอาหารที่สัตว์กินเข้าไป หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือจุลินทรีย์จะสามารถใช้อาหารที่มีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างต่ำเพื่อสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ ในเซลล์จุลินทรีย์นี้เองที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารโดยเฉพาะโปรตีน แต่ก่อนที่จุลินทรีย์จะสังเคราะห์โปรตีน ที่เป็นส่วนประกอบหลักของเซลล์จุลินทรีย์นั้น จุลินทรีย์ก็มีความต้องการโภชนะส่วนหนึ่ง เพื่อการสังเคราะห์ธาตุอาหารในเซลล์โดยเฉพาะโปรตีนและพลังงาน โปรตีนที่ว่านี้คือโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก หรือ rumen degradable protein (RDP) ความต้องการ RDP ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักย่อยอินทรียวัตถุในกระเพาะหมัก

### 2.7.2 ความต้องการ rumen undegradable protein (RUP)

ความต้องการ RUP สามารถคำนวณได้จากความแตกต่างระหว่าง net tissue protein requirement ($NP_R$) กับ microbial crude protein (MCP) ที่ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ microbial crude protein สูงสุด หรือจุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์จาก RDP ร่วมกับพลังงานที่ได้จากการหมักย่อยในกระเพาะหมักได้ทั้งหมด ฉะนั้น ปริมาณ microbial crude protein ที่สังเคราะห์ได้ก็จะเท่ากับปริมาณความต้องการ

## 2.8 สมการการประเมินความต้องการโปรตีนของโคเนื้อ

ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อ NRC (1996) แนะนำให้ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$MP_{maint} = 3.8 * SBW^{0.75}$$

เมื่อ $MP_{maint}$ = metabolizable protein requirement for maintenance, g/day

SBW = shrunk body weight, kg (typically 0.96 * full weight)

ส่วนความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตของโคเนื้อจะคำนวณจากน้ำหนักตัว (body weight), shrunk weight gain (SWG), องค์ประกอบของร่างกาย (body composition) และขนาดของร่างกาย (body size) โดย NRC (1996) แนะนำให้ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$MP_g = NP_g/(0.834 – (EQSBW * 0.00114))$$

เมื่อ EQSBW = equivalent shrunk body weight, kg (EQSBW ≤ 300 kg)

ถ้า EQSBW > 300 kg

$$MP_g = NP_g/0.492$$

เมื่อ $MP_g$ = metabolizable protein requirement for growth, g/day

$NP_g$ = net protein requirement for growth, g/day

$$NP_g = SWG * (268 – (29.4(RE/SWG))$$

เมื่อ SWG = shrunk weight gain, kg

RE = retained energy, Mcal/day

$$RE = 0.0635 * EQEBW^{0.75} * EBG^{1.097}$$

$$EQEBW = 0.891 * EQSBW$$

เมื่อ EQEBW = equivalent empty body weight, kg

$$EQSBW = SBW * (SRW/FSBW)$$

เมื่อ EQSBW = equivalent shrunk body weight, kg

SBW = shrunk body weight, kg (typically 0.96 * full weight)

FSBW = actual final shrunk body weight at the body

SRW = 478 kg for animal finishing at small marbling (28% body fat)

= 462 kg for animal finishing at slight marbling (27% body fat)

= 435 kg for animal finishing at trace marbling (25% body fat)

EBG = 0.956 * SWG

เมื่อ SWG = shrunk weight gain, kg

**ตารางที่ 2.4** ความสัมพันธ์ Stage of Growth and Rate of Gain to Body Composition, Based on NRC 1984 Medium Frame Steer

| **Shrunk** | **Shrunk body weight, kg** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ADG, kg** | **200** | **250** | **300** | **350** | **400** | **450** | **500** |
| | | | *$NE_g$ required, Mcal/d* | | | | |
| 0.6 | 1.68 | 1.99 | 2.28 | 2.56 | 2.83 | 3.09 | 3.34 |
| 0.8 | 2.31 | 2.73 | 3.13 | 3.51 | 3.88 | 4.24 | 4.59 |
| 1.0 | 2.95 | 3.48 | 4.00 | 4.49 | 4.96 | 5.42 | 5.86 |
| 1.3 | 3.93 | 4.65 | 5.33 | 5.98 | 6.61 | 7.22 | 7.81 |
| | | | *Protein in gain, percent* | | | | |
| 0.6 | 20.4 | 19.5 | 18.8 | 18.0 | 17.3 | 16.6 | 16.0 |
| 0.8 | 18.7 | 17.6 | 16.5 | 15.5 | 14.6 | 13.6 | 12.7 |
| 1.0 | 17.0 | 15.6 | 14.2 | 13.0 | 11.7 | 10.5 | 9.3 |
| 1.3 | 14.4 | 12.5 | 10.7 | 9.0 | 7.3 | 5.7 | 4.2 |
| | | | *Fat in gain, percent* | | | | |
| 0.6 | 5.9 | 9.7 | 13.2 | 16.6 | 19.9 | 23.1 | 26.2 |
| 0.8 | 13.6 | 18.7 | 23.6 | 28.2 | 32.8 | 37.1 | 41.4 |
| 1.0 | 21.4 | 27.9 | 34.1 | 40.1 | 45.6 | 51.5 | 56.9 |
| 1.3 | 22.3 | 29.0 | 35.4 | 41.5 | 47.4 | 53.2 | 58.7 |

**ตารางที่ 2.4** ความสัมพันธ์ Stage of Growth and Rate of Gain to Body Composition, Based on NRC 1984 Medium Frame Steer (ต่อ)

| **Shrunk** | **Shrunk body weight, kg** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ADG, kg** | **200** | **250** | **300** | **350** | **400** | **450** | **500** |
| | | | *Body fat, percent* | | | | |
| 0.6 | 11.6 | 10.8 | 10.9 | 11.5 | 12.3 | 13.4 | 14.5 |
| 0.8 | 11.6 | 12.5 | 13.9 | 15.6 | 17.5 | 19.4 | 21.4 |
| 1.0 | 11.6 | 14.2 | 17.0 | 19.9 | 22.8 | 25.6 | 28.5 |
| 1.3 | 11.6 | 14.4 | 17.4 | 20.4 | 23.4 | 26.4 | 29.3 |
| 1 then 1.3 | 11.6 | 14.2 | 17.0 | 20.1 | 23.1 | 26.1 | 29.1 |

ที่มา : NRC (1996)

**ตารางที่ 2.5** Standard Reference Weights for Different Final Body Compositions

| | **Average Marbling Score** | | |
|---|---|---|---|
| | **Traces** | **Slight** | **Small** |
| Body fat, ± SE<br>Standard reference | 25.2 ± 2.9 | 26.8 ± 3.0 | 27.8 ± 3.4 |
| Weight, kg | 435 | 462 | 478 |

ที่มา : NRC (1996)

## 2.9 การใช้ฟางข้าวเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ฟางข้าวเป็นผลพลอยได้ของการผลิตข้าวในทุกภูมิภาคของประเทศไทย เพราะข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศ เกษตรกรทำเป็นอาชีพมาเป็นเวลานาน หลังจากเก็บเกี่ยวจะเหลือตอซังและฟางข้าว ในปัจจุบันได้มีการนำฟางข้าวมาเลี้ยงสัตว์แต่การนำมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ ยังมีข้อจำกัดหลายประการ ดังนั้นก่อนจะมีการนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ต้องมีวิธีปรับปรุงก่อน

ฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างต่ำ คือ มีโปรตีนหยาบประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ และประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้างในปริมาณที่สูง มีปริมาณของฟอสฟอรัสและแร่ธาตุที่จำเป็นอยู่ต่ำมาก (Wanapat et al., 1983) ฟางมีพื้นที่ผิวต่ำหรือมีความฟ่ามสูง ทำให้สัตว์กินได้น้อย เป็นผลทำให้สัตว์ได้รับโภชนะไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายสัตว์ เพราะความจุของกระเพาะมีผลต่อการกินได้ นอกจากนั้น การย่อยได้และอัตราการย่อย

ได้ต่ำ ทำให้การไหลออกของส่วนที่ย่อยไม่ได้ช้า ฟางข้าวมีเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนาน และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการกินได้อย่างอิสระ เช่น ปัจจัยจากตัวสัตว์เอง, ความสมบูรณ์ของระบบการย่อย เป็นต้น ผลผลิตและคุณภาพของฟางข้าวขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ข้าว, ปริมาณน้ำฝน, อุณหภูมิ, ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การปลอมปนของวัตถุอื่น เป็นต้น จากการศึกษาของ Shen el at. (1998) พบว่าฤดูกาลมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว ได้แก่ ไนโตรเจนในฟางข้าว hemicellulose, cellulose และ โพแทสเซียม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

## 2.10 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของฟางข้าวโดยการหมักด้วยยูเรีย

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของฟางข้าวนั้นมีหลายวิธี เพื่อทำให้ฟางข้าวถูกนำไปใช้ประโยชน์มากขึ้นและสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ (เมธา วรรณพัฒน์ และ ฉลอง วชิราภากร, 2533)

1. วิธีกล (physical/mechanical treatment) การทำให้ลักษณะของอาหารเปลี่ยนแปลงไป เช่น การทำให้เล็กลงเพื่อลดพื้นที่ผิว ทำให้สัตว์กินได้เพิ่มขึ้น โดยการสับ การแช่น้ำ การบด การอัดเม็ด เป็นต้น Chaturvedi et al. (1973) พบว่าการสับฟางและแช่น้ำค้างคืนทำให้โคและกระบือสามารถกินฟางได้เพิ่มขึ้น

2. วิธีการใช้สารเคมี (chemical treatment) เป็นการใช้สารเคมีที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอาหารทั้งทางลักษณะกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี เพิ่มความสามารถในการกินได้, การย่อยได้ของอาหารหยาบ และการนำอาหารหยาบไปใช้อย่างประสิทธิภาพ สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ), แคลเซียมไฮดรอกไซด์, แอมโมเนียมเหลว, หรือแห้ง และยูเรีย เป็นต้น Fadel Elseed (2004) พบว่าการใช้ ammonia treated rice straw และ urea-calcium hydroxide treated rice straw ไม่มีผลต่อการย่อยได้ขององค์ประกอบของฟางข้าว แต่การกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake) ของแกะที่ได้รับ ammonia treated rice straw สูงกว่า ($28g/kgBW^{0.75}$) แกะที่ได้รับ urea-calcium hydroxide treated rice straw ($22g/kgBW^{0.75}$)

3. วิธีกลร่วมกับการใช้สารเคมี (physio-chemical treatment) เป็นกรรมวิธีที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างของอาหารและการใช้สารเคมีร่วม เช่น การสับ หรือการบด ร่วมกับการใช้สารเคมีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดำรัส ชาตรีวงศ์, ทวีศิลป์ จีนด้วง และ สมคิด พรหมมา (2547) รายงานว่า การหั่นฟางข้าวเจ้าให้มีขนาดความยาว 3-8 นิ้ว นำมาหมักกับยูเรีย และใช้ยูเรีย 3 ระดับ คือ 4, 5 และ 6% ของน้ำหนักฟางข้าว พบว่า โปรตีนหยาบในฟางข้าวที่หมักด้วยยูเรียมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าฟางธรรมดา และเพิ่มขึ้นตามระดับของยูเรียที่ใช้ อีกทั้งยังพบว่า การใช้ระดับยูเรียที่ 6 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีค่าการย่อยสลายสูงกว่าการใช้ยูเรียที่ระดับ 4 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4. วิธีชีวภาพ (biological treatment) เป็นการใช้จุลินทรีย์ในการเข้าย่อยสลายอาหารก่อนนำไปเลี้ยงสัตว์ หรืออาจจะใช้น้ำย่อยสังเคราะห์ก็ได้ เช่น เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส หรือเชื้อราเข้าย่อยสลายลิกนิน ทำให้ลิกนินลดลงสัตว์สามารถนำโภชนะอื่น ๆ ไปใช้ได้เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามในการปรับปรุงคุณภาพ ถ้ายุ่งยากต่อการปฏิบัติงาน หรือไม่สะดวก ดังนั้นวิธีที่ส่งเสริมควรจะง่ายต่อการปฏิบัติและให้ผลดี วิธีที่นิยมนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าว คือ การทำฟางหมักยูเรีย ซึ่งมีข้อดีทั้งทางกายภาพและทางเคมี ทำให้การย่อยได้ของฟางเพิ่มขึ้น ช่วยเพิ่มอัตราการย่อยได้ ทำให้สัตว์กินฟางได้เพิ่มขึ้น และยังเป็นการลดภาวะแอซิโดซีสได้ด้วย (Wanapat et al., 1995) เพราะการกินฟางข้าวจะทำให้ระยะเวลาในการเคี้ยวและการเคี้ยวเอื้องเพิ่มขึ้น ทำให้มีการหลั่งน้ำลายเพิ่มขึ้นทำให้สภาพภายในกระเพาะหมักเป็นกลางมากขึ้น ทำให้การใช้ประโยชน์ของเยื่อใยในกระเพาะหมักดีขึ้น

ยูเรีย ($NH_2CONH_2$) สามารถละลายน้ำได้สลายตัวได้แอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพที่มีน้ำย่อยยูเรียเอส (urease) ซึ่งเป็นน้ำย่อยจากจุลินทรีย์ที่เกาะตามผิวฟางที่สามารถย่อยสลายยูเรียได้ ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่มยูรีโอไลติก (ureolytic bacteria) ดังแสดงในสมการ

$$NH_2CONH_2 \xrightarrow[\text{urease}]{H_2O} 2NH_2 + CO_2$$

หลังจากนั้นแอมโมเนียจะรวมตัวกับหมู่ –OH กลายเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ($NH_4OH$) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่าง โดยด่างทำหน้าที่ทำลายการเกาะกันของพันธะให้คลายตัวลง ทำให้สัตว์สามารถย่อยอาหารได้ง่ายขึ้น

Wanapat et al. (1983) ทดลองโดยใช้ฟางหมักยูเรีย 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการกินได้ต่อหน่วยกิโลกรัมต่อวัน และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ไม่แตกต่างกันทางสถิติในกลุ่ม 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ แต่การกินได้ต่อเมแทบอลิกของร่างกาย ($g/kgW^{0.75}$) ในกลุ่มที่ใช้ฟางหมัก 5 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และการย่อยได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และการย่อยได้ของผนังเซลล์ ในกลุ่มที่ใช้ฟางหมัก 5 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากลุ่มที่ใช้ฟางหมัก 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

## 2.11 การใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

มันสำปะหลังมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta Crantz* หรือ *Manihot utillissima Pohl* มีถิ่นกำเนิดที่อเมริกาใต้ แถบประเทศบราซิล เป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย

ปลูกง่ายและทนแล้งได้ดี มันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารพลังงานที่ดี มีราคาถูกมีบทบาทในการนำมาประกอบสูตรอาหารเลี้ยงสัตว์ เพื่อที่จะลดต้นทุนการผลิต มันสำปะหลังจะมีระดับโปรตีนหยาบที่ต่ำประมาณ 1.9 เปอร์เซ็นต์ ผนังเซลล์ 16.37, แป้ง 64-72 เปอร์เซ็นต์ (KKU-IDRC, 1980) มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายตัวในกระเพาะหมักสูง สามารถใช้เสริมได้ในปริมาณที่สูงในอาหารข้น เมธา วรรณพัฒน์, ฉลอง วชิราภากร, สมโภช ประเสริฐสุข และ นิพนธ์ จันทร์โพธิ์ (2534) ศึกษาการใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานในระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในกระบือปลักที่ได้รับฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุ เพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนมันสำปะหลังในสูตรอาหาร แต่การย่อยได้ของผนังเซลล์ลดลง ระดับความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นแอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

โอภาส พิมพา, กฤตพล สมมาตย์ และ เมธา วรรณพัฒน์ (2540) รายงานว่า การใช้มันสำปะหลังในอาหารข้น 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในโคนม พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของกระเพาะรูเมน ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ นั่นคือในโคนมสามารถใช้มันสำปะหลังได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร และทดแทนข้าวโพดได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

## 2.12 การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

จากปริมาณผลผลิตของมันสำปะหลังที่ออกจากไร่เป็นจำนวนมาก และโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นเป้าหมายหนึ่งสำหรับการจำหน่าย จึงเป็นผลโดยตรงต่อปริมาณของกากมันสำปะหลัง ตามที่ อมรเดช พุทธิพัฒน์ขจร และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ (2542) รายงานว่า เมื่อใช้หัวมันสดจำนวน 47.8 ตัน จะได้กากมันสำปะหลังถึง 12.86 ตัน หรือคิดเป็น 26.90 เปอร์เซ็นต์ของหัวมันสด ซึ่งสอดคล้องกับ กฤตพล สมมาตย์ (2544) สำรวจกำลังผลิตของโรงงานมีกำลังผลิตถึง 200-2,000 ตันต่อวัน มีกากมันสำปะหลัง 40-50 ตันต่อวัน คิดเป็น 23.39 เปอร์เซ็นต์

**คุณภาพและองค์ประกอบทางเคมี**

คุณค่าทางโภชนาการและองค์ประกอบทางเคมี เป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาเพื่อชี้ให้เห็นถึงคุณภาพและเป็นแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ กากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ เป็นวัตถุแห้ง (dry matter, DM) 86-95 เปอร์เซ็นต์, เถ้า (Ash) 1-11 เปอร์เซ็นต์, โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) 1-3.5 เปอร์เซ็นต์, เยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF) 5-28 เปอร์เซ็นต์, ไขมัน (fat) 0.1-0.8 เปอร์เซ็นต์ และแป้ง (starch) 65-90 เปอร์เซ็นต์ (ทรงศักดิ์ วัณนชัยเสรีกุล, 2543; อมรเดช พุทธิพัฒน์ขจร และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, 2542; Sriroth et al., 2000) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) 25.65 เปอร์เซ็นต์, และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) 17.79 เปอร์เซ็นต์ (พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์, 2546)

**ตารางที่ 2.6** เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังกับแหล่งวัตถุดิบอาหารพลังงานชนิดอื่น

| Composition | Cassava pulp | Cassava chip | Ground corn | Broken rice |
|---|---|---|---|---|
| DM | 94.21 | 90.58 | 93.68 | 93.58 |
| ----------% of DM---------- | | | | |
| | | - | | |
| NDF | 25.65 | 8.83 | 10.49 | 1.44 |
| NDS | 74.35 | 91.17 | 89.51 | 98.56 |
| ADF | 17.79 | 8.04 | 4.09 | 0.63 |
| CP | 1.64 | 1.49 | 7.9 | 7.68 |
| Ash | 1.79 | 6.98 | 1.56 | 0.82 |

DM = dry matter, CP = crude protein, NDF = neutral detergent fiber, NDS = neutral detergent soluble

ที่มา : พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546)

เปรียบเทียบกากมันสำปะหลังกับแหล่งวัตถุดิบอาหารพลังงานชนิดอื่น (ตารางที่ 2.6) ได้แก่ มันสำปะหลัง ข้าวโพดบด และปลายข้าว (พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์, 2546) ได้พบว่า กากมันสำปะหลังมีเยื่อใยสูงกว่าแหล่งวัตถุดิบอาหารพลังงานที่นำมาเปรียบเทียบ แต่มีระดับของโปรตีนต่ำ จากงานทดลองของ พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์ พบว่า กากมันสำปะหลังมีความสามารถย่อยได้ใกล้เคียงกับอาหารกลุ่มพลังงาน เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพดบด และปลายข้าว และมีอัตราการผลิตแก๊สที่สูงสุด พีรพจน์ นิติพจน์ (2547) ศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารพลังงานทดแทนมันสำปะหลังในสูตรอาหารข้นของโคนมรุ่น ที่ระดับ 0, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัวต่อวัน และต่อน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต ความเข้มข้นของแอมโมเนียของของเหลวในกระเพาะหมัก และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ง่าย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ ปิตุนาถ หนูเสน (2547) ได้ศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน ที่ระดับ 35, 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม การกินได้ของโคนม และน้ำหนักตัว ไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า กากมันสำปะหลังเป็นอีกวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่น่าสนใจที่จะนำมาประกอบในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่การศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพของกากมันสำปะหลังนั้นยังจำกัดอยู่ ดังนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับศักยภาพของกากมันสำปะหลังต่อไป

## 2.13 รายการอ้างอิง


กฤตพล สมมาตย์. (2544). **โครงการวิจัยและพัฒนาและการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากหัวมันสำปะหลังเพื่ออาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อลดต้นทุนการผลิต.** ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (รายงานความก้าวหน้าการวิจัย ครั้งที่ 2).

กฤตพล สมมาตย์. (2546). **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการผลิตโค-กระบือ.** คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

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

ทรงศักดิ์ วัฒนชัยเสรีกุล. (2543). อาหารสัตว์จากกากมันสำปะหลังหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ดำรัส ชาตรีวงศ์, ทวีศิลป์ จีนด้วง และ สมคิด พรหมมา. (2547). **การย่อยสลายในกระเพาะรูเมน โดยวิธี *in sacco* ของฟางข้าวที่หมักด้วยยูเรีย และเก็บไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.dld.go.th/breeding/r/46/Rumen_in-sacco.pdf.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2546). **ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์.** เชียงใหม่: ธนบรรณการพิมพ์.

ปิตุนาถ หนูเสน. 2547. การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์. (2546). การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องของกากมันสำปะหลัง และเปลือกมันสำปะหลังโดยวิธี *In vitro* gas production technique. **ในเอกสารการสัมมนาวิชาการเกษตร ประจำปี 2546.** (หน้า 146-154). ขอนแก่น: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พีรพจน์ นิติพจน์. (2547). ผลการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารพลังงานทดแทนมันสำปะหลังเส้นในสูตรอาหารข้น ต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก ความสามารถในการย่อยได้ และการเจริญเติบโตในโคนมรุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.** กรุงเทพฯ: ฟันนี่พับบลิชชิ่ง.

เมธา วรรณพัฒน์ และ ฉลอง วชิราภากร. 2533. **เทคนิคการให้อาหารโคเนื้อและโคนม.** กรุงเทพฯ: ฟันนี่พับบลิชชิ่ง.

เมธา วรรณพัฒน์, ฉลอง วชิราภากร, สมโภช ประเสริฐสุข และ นิพนธ์ จันทร์โพธิ์. (2534). ผลของระดับการทดแทนข้าวโพดโดยมันเส้นในสูตรอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ที่มีผลต่อ

ผลผลิตการหมัก และความสามารถในการย่อยได้. รายงานผลการวิจัย สาขาสัตวศาสตร์ การประชุมวิชาการครั้งที่ 29 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2542). **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.** สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อมรเดช พุทธิพัฒน์ขจร และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. (2542). **ความเป็นไปได้ในการใช้กากมันสำปะหลังหมักเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์.** วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 37: 41.

โอภาส พิมพา, กฤตพล สมมาตย์ และ เมธา วรรณพัฒน์. (2540). การนำใช้ประโยนช์จากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Andrews, S.M.; Tyrrell, H.F.; Reynolds; C.K. and Erdman. (1991). Net energy for lactation of calcium soaps of long-chain fatty acids for cows fed silage-based diets. **J. Dairy Sci.** 74: 2588.

Boniface, A.N., Murray, R.M. and Hogan, P.J. (1986). Optimum level of ammonia in the rumen liquor of cattle fed tropical pasture hay. Proc. **Aust. Soc. Anim. Prod.** 16: 151-154.

Chanthai, S.M., Wanapat, M. and Wachirapakorn, C. (1988). **In: Rumnant Feeding Systems Utilizing Fibrous Agricultured Residues-1987.** Australia:Ed. R.M. Dixon.

Chaturvedi, M.L., Singh, U.B. and Ranjhan, S.K. (1973). Effect of feeding water soaked and dry wheat straw on feed intake digestibility of nutrients and VFA production on growing zebu and buffalo calves. **J. Agric. Sci**. 80: 393-397.

Conrad, H.R.; Weiss, W.P; Odwongo, W.O. and Shockey, W.L. (1984). Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. **J. Dairy Sci.** 67: 427-437.

Crampton, E.W., Lloyd, L.E. and Mackay, V.G. (1957). The calorie value of TDN. **J. Anim Sci.** 16: 541-552.

Fadel Elseed, A.N.M.A. (2004). Performance of sheep offered ammonia, or urea-calcium hydroxide treated rice straw as an only feed. **J. Anim Sci.** 75: 411-415.

Fonnesbeck, P.V., Wardeh, M.F. and Harris, L.E. (1984). **Mathematical models for estimating energy and protein utilization of feedstuffs.** Utah Agricultural Eperimental Station Bulletin. No. 508.

Garrett, W.N. (1980). Energy utilization by growing cattle as determined by 72 comparative slaughter experiments. Energy Metabolism. **Proc. Symp**. 26: 3-7.

Goering, H.K. and Van Soest, P.J. (1970). **Froage fiber analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and some Application). Agric. Handbook No. 379**. Washington D.C.: ARS. USDA.

Hall, M.B. (2000). **Neutral Detergent-soluble Carbohydrate Nutritional Relevance and Analysis.** Florida: Bulletin 399. Department of animal science, University of Florida.

KKU-IDRC. (1980). **Annual Report KKU-IDRC Cassava Nutrient Project Thailand.** Thailand Khon Kaen,.

Lofgreen, G.P. and Garrett, W.N. (1968). A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing cattle. **J. Anim. Sci.** 27: 793-806.

Maynard, L.A., Loosli, J.K., Hintz, H.F. and Warner, R.G. (1979). **Animal Nutrition. 7th ed.** MaGraw-Hill, Inc., New York.

National Research Council. (1984). **Nutrient Requirements of Beef Cattle (6th rev.ed.).** Washington D.C.: National Academic Press.

National Research Council. (1988). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle (6th rev.ed.).** Washington D.C.: National Academic Press.

National Research Council. (1996). **Nutrient Requirements of Beef Cattle (7th rev.ed.).** Washington D.C.: National Academic Press.

National Research Council. (2001). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th rev.ed.).** Washington D.C.: National Academic Press.

Perdok, H.B.,. Leng, L.A, Bind, S.H., Habid, G. and Van Houtert, M. (1988). **In: Increasing Small Ruminant Productivity in Semi-arid Areas. (Eds. E.F. Thomson and F.S. Thomsm).** Syria: Published by ICARDA.

Ørskov, E.R. and Ryle, M.. (1998). **Energy Nutrition in Ruminants.** United Kingdom: Chalcombe publications.

Romo, G.A., Casper, D.P., Erdman, R.A. and Teler, B.B. (1996). Abomasal infusion of cis or trans fatty acid isomers and energy metabolism of lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.** 79: 2005-2015.

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

Shen H.S., Ni, D.B. and Sundstol, F. (1998). Studies on untreated and urea-treated rice straw from three cultivation seasons: 1. Physical and chemical measurements in straw and straw fractions. **Anim. Feed Sci. and Technol.** 73: 234-261.

Sriroth, K., Chollakup, R., Piyachomkwan, K. and Oates, C.G. (2000). Processing of cassava waste for improved biomass utilization. **Biosource Technol.** 71: 6.

Swift, B.W. (1957). The calorie value of TDN. **J. Anim. Sci.** 16: 1055-1059.

Wanapat, M., Sriwattasombat, P. and Chanthai, S. (1983). The utilization of diet containing different proportion of urea-ammonia treated rice straw and water hyacinth. Paper presented at 3rd Annual Meeting of The Australian**. Asian Fibrous Agricultural Residue Research Network, Held at The Univ. of Peradeniya, Sri Lanka,** April, 17.

Wanapat, M., Pimpa, O., Sommart, K., Uriyapongson, S., Toburan, W., Peter, D. and Rowlinson, P. (1995). Effects of the energy sources on rumen fermentation, degradability and rice straw intake in swamp buffaloes. In : Proc. **The international workshop on Draff Animal Power, Khon Kaen University, Khon Kaen,** Feb. 13.

Wagner, D.G. and Loosli, J.K. (1967). **Studies on the Energy Requirements of High-producing Cows.** Memoir 400, Cornell University Agricultural Experiment Station.

# บทที่ 3
# การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงานและการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง

## คำนำ

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตโคนั้นมีหลายชนิด ซึ่งจะสามารถแบ่งเป็นกลุ่มหลัก คือ กลุ่มที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์ อีกกลุ่มหนึ่ง ได้แก่ กลุ่มที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่อยู่ในกลุ่มที่ใช้เป็นแหล่งพลังงาน ได้แก่ มันสำปะหลังแห้ง กากมันสำปะหลัง เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่อยู่ในกลุ่มที่ใช้เป็นโปรตีนในอาหารสัตว์ เช่น กากถั่วเหลือง กากปาล์ม หรือยูเรีย เป็นต้น วัตถุดิบอาหารสัตว์เหล่านี้จะมีองค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางพลังงานและการย่อยสลายในกระเพาะหมักแตกต่างกัน ดังนั้นในการที่จะนำเอาวัตถุดิบอาหารสัตว์เหล่านี้มาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ จำเป็นที่จะทราบหรือทำการศึกษาถึงองค์ประกอบที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้น เพื่อเป็นพื้นฐานในการใช้การประกอบอาหารเลี้ยงสัตว์ ประเมินพลังงาน หรือโปรตีนของวัตถุดิบให้ตรงตามความต้องการของสัตว์ได้ใกล้เคียงที่สุด

## วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง พร้อมทั้งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่จะนำมาประกอบสูตรอาหารในงานทดลอง นำผลการวิเคราะห์ทางเคมีประเมินคุณค่าทางพลังงานของมันสำปะหลังแห้งและกากมันสำปะหลัง พร้อมทั้งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่จะนำมาประกอบสูตรอาหารในงานทดลอง ที่แนะนำโดย NRC (1996, 2001) และหาค่าการย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Ørskov et al., 1980)

## 3.1 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1.1 ทำการสุ่มตัวอย่างมันสำปะหลังแห้ง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (dry matter, DM) (AOAC, 1990)

3.1.2 นำตัวอย่างมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม มาทำการบดด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร แล้วนำตัวอย่างที่ได้เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักต่อไป

3.1.3 นำตัวอย่างมันสำปะหลังแห้ง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยการใช้วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) (AOAC, 1990) ซึ่งวิเคราะห์วัตถุแห้งโดยเครื่อง hot air oven, โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) โดยเครื่อง Gerhardt Kjeldatherm Vapodeat 30, ไขมัน (ether extract, EE) โดยเครื่อง Foss soxtec Avani 2050 SOXTEC Auto Extraction Unit, เถ้า (Ash) โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนเยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF) และการวิเคราะห์เยื่อใยโดย detergent analysis (Goering and Van Soest, 1970) ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) และ acid detergent lignin, ADL โดยเครื่อง Foss Tecator auto 2010

3.1.4 นำตัวอย่างมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม ที่เก็บไว้ในข้อที่ 3.1.2 มาศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก โดยการใช้ถุงไนล่อน (nylon bag) บ่มในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ (rumen degradability or *in sacco* digestibility) (Ørskov et al., 1980) โดยการนำตัวอย่างอาหารชนิดต่าง ๆ ที่บดไว้ และถุงไนล่อนที่มีขนาดรูพรุนของถุง 47 μm ที่ใช้ในการทดลองไปอบที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบอาหารสัตว์ประมาณ 5-6 กรัม ใส่ลงในถุงไนล่อนทำการชั่ง และบันทึกน้ำหนัก หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนที่ได้ใส่ตัวอย่างวัตถุดิบแล้ว นำมาร้อยติดกับเชือกยาวประมาณ 90 เซนติเมตร นำไปบ่มในกระเพาะหมัก โดยให้เชือกอยู่ในส่วนที่ลึกที่สุดของกระเพาะหมัก ให้แต่ละถุงมีระยะเวลาการบ่มอยู่ในกระเพาะหมักต่างกันดังนี้ คือ 0, 2, 4, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง โดยแต่ละตัวอย่างทำ 3 ซ้ำ ใช้โคเจาะกระเพาะจำนวน 3 ตัวและให้ถุงที่ใส่ในโคแต่ละตัวเป็น 1 ซ้ำ

โคเจาะกระเพาะเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮลสไตส์ ฟรีเชียน (Holstein Friesian) สายเลือดประมาณ 87.5 เปอร์เซ็นต์ ได้รับฟางหมักยูเรีย 5% เป็นแหล่งอาหารหยาบ แบบเต็มที่ *(ad libitum)* และอาหารข้นสำเร็จรูป 3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน เมื่อบ่มถุงไนล่อนในกระเพาะหมักของโคได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะหมัก นำมาล้างเพื่อเอาเศษอาหารที่ติดมาจากกระเพาะหมักออก หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และชั่งเพื่อวิเคราะห์วัตถุแห้ง และคำนวณการย่อยสลายในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ มาคำนวณอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY EXCEL (Ørskov and McDonald, 1979) ตามสมการดังนี้

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

เมื่อ dg = effective degradability

a = water soluble extracted by cold water rinsing (0 hr bag)

b = potentially degrade

c = fraction rate of degradation of feed per hour

k = fractional outflow rate of digesta per hour

## 3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลการวิเคราะห์ตัวอย่างมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม และการย่อยสลายในกระเพาะหมัก มาหาค่าเฉลี่ยและนำเสนอในรูป mean ± SE

## 3.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 3.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2549 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2549

## 3.5 ผลการทดลอง

### 3.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม

ผลการทดลองการศึกษาองค์ประกอบของวัตถุดิบอาหารสัตว์ พบว่า กลุ่มวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงาน ได้แก่ มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน วัตถุแห้ง ไขมัน ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3.1) ส่วนเถ้า เยื่อใย NDF ADF และ ADL นั้น กากมันสำปะหลังจะมีค่าสูงกว่ามันสำปะหลัง นอกจากนี้มันสำปะหลังจะมีเปอร์เซ็นต์ neutral detergent insoluble protein (NDICP) ซึ่งสูงกว่ากากมันสำปะหลัง แต่ acid detergent insoluble protein (ADICP) มีค่าต่ำกว่ากากมันสำปะหลัง

ส่วนกลุ่มวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีน ได้แก่ กากถั่วเหลือง กากปาล์ม พบว่ากากถั่วเหลืองมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน เถ้า และ ADICP สูงกว่ากากปาล์ม ส่วนไขมัน เยื่อใย NDF ADF และADL กากถั่วเหลืองจะมีค่าต่ำกว่ากากปาล์ม ขณะที่วัตถุแห้งและ NDICP ของกากถั่วเหลืองและกากปาล์มใกล้เคียงกัน (90.23 กับ 94.01, 6.38 กับ 7.44 ตามลำดับ)

**ตารางที่ 3.1** องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม

| **เปอร์เซ็นต์ วัตถุแห้ง** | **วัตถุดิบ** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **มันสำปะหลังแห้ง** | **กากมัน สำปะหลัง** | **กากถั่วเหลือง** | **กากปาล์ม** |
| วัตถุแห้ง | 91.21 ± 0.16 | 91.34 ± 1.69 | 90.23 ± 0.32 | 94.16 ± 0.76 |
| โปรตีน | 2.02 ± 0.50 | 2.63 ± 0.68 | 44.62 ± 1.67 | 11.43 ± 1.03 |
| ไขมัน | 0.19 ± 0.10 | 0.14 ± 0.07 | 1.10 ± 1.73 | 9.33 ± 0.08 |
| เถ้า | 1.63 ± 0.13 | 4.11 ± 0.05 | 7.17 ± 0.18 | 4.31 ± 0.05 |
| เยื่อใย | 4.52 ± 0.41 | 18.16 ± 0.64 | 9.44 ± 1.81 | 23.53 ± 0.99 |
| NDF | 23.38 ± 2.45 | 35.42 ± 0.97 | 16.76 ± 0.48 | 75.80 ± 0.41 |
| ADF | 3.77 ± 0.54 | 23.09 ± 0.26 | 8.30 ± 0.52 | 42 .25 ± 0.84 |
| ADL | 1.64 ± 0.64 | 3.8 ± 020 | 2.87 ± 1.05 | 18.60 ± 2.16 |
| NDIN | 1.02 ± 0.04 | 0.10 ± 0.03 | 1.02 ± 0.49 | 1.19 ± 0.02 |
| NDICP[1/] | 6.38 ± 0.00 | 0.63 ± 0.00 | 6.38 ± 0.00 | 7.44 ± 0.00 |
| ADIN | 0.23 ± 0.02 | 0.93 ± 0.02 | 0.81 ± 0.01 | 0.48 ± 0.05 |
| ADICP[2/] | 1.44 ± 0.00 | 5.81 ± 0.00 | 5.06 ± 0.00 | 3.00 ± 0.00 |

หมายเหตุ : Mean ± SE

NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber, ADL = acid detergent lignin, NDIN = neutral detergent insoluble nitrogen, ADIN = acid detergent insoluble nitrogen, NDICP = neutral detergent insoluble crude protein, ADICP = acid detergent insoluble crude protein,[1/] NDICP (%) = %NDIN*6.25 and[2/] ADICP (%) = %ADIN*6.25

**3.5.2 การประเมินค่าพลังงานในมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม**

นำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์มจากตารางที่ 3.1 มาคำนวณหาค่าพลังงานประเภทต่าง ๆ สมการของ NRC (2001) ของโคนม ส่วนสมการคำนวณพลังงานสุทธิ (NE) สำหรับการดำรงชีพ ($NE_M$) และสำหรับการเจริญเติบโต ($NE_G$) ใช้ตาม NRC (1996) ของโคเนื้อ พบว่า มันสำปะหลังมีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient, $TDN_{1x}$) สูงกว่ากากถั่วเหลือง กากมันสำปะหลัง และกากปาล์ม ตามลำดับ ส่วนค่าพลังงานการย่อยได้ (DE), พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME),พลังงานสุทธิ (NE) สำหรับการดำรงชีพ ($NE_M$) และสำหรับการเจริญเติบโต ($NE_G$) กากถั่วเหลืองจะมีค่าพลังงานสูงกว่ามันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง และกากปาล์ม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** ค่าพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์

| | วัตถุดิบอาหาร | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **มันสำปะหลัง** | **กากมันสำปะหลัง** | **กากถั่วเหลือง** | **กากปาล์ม** |
| $TDN_{1x}$ (%)[1/] | 81.12 | 68.40 | 75.06 | 50.07 |
| $DE_{1x}$ (Mcal/kg)[2/] | 3.42 | 2.87 | 3.74 | 2.24 |
| DE (Mcal/kg)[3/] | 2.66 | 2.29 | 2.94 | 1.88 |
| ME (Mcal/kg)[4/] | 2.23 | 1.86 | 2.52 | 1.45 |
| $NE_M$ (Mcal/kg)[5/] | 1.13 | 0.88 | 1.29 | 0.54 |
| $NE_G$ (Mcal/kg)[6/] | 0.53 | 0.31 | 0.63 | 0.01 |

หมายเหตุ [1/] $TDN_{1x}$ (%) = tdNFC + tdCP + (tdFA*2.25) + tdNDF – 7

[2/] $DE_{1x}$ (Mcal/kg) = [(tdNFC/100)*4.2] + [(tdNDF/100)*4.2] + [(tdCP/100)*5.6] + [(FA/100)*9.4] – 0.3

[3/] DE (Mcal/kg) = $\{[(TDN_{1x} - [(0.18*TDN_{1x}) - 10.3])*\text{ intake})]/TDN_{1x}\}*(DE_{1x})*0.82$ (NRC, 1996)

[4/] ME (Mcal/kg) = [1.01*(DE) - 0.45] + [0.0046*(EE - 3)] (EE > 3)

= (1.01*DE) - 0.45 (EE ≤ 3)

[5/] $NE_M$ (Mcal/kg) = $1.37ME - 0.138ME^2 + 0.0105ME^3 - 1.12$ (NRC, 1996)

[6/] $NE_G$ (Mcal/kg) = $1.42ME - 0.174ME^2 + 0.0122ME^3 - 1.65$ (NRC, 1996)

intake = 2X of maintenance

**3.5.3 การย่อยสลายของวัตถุแห้งของมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม**

จากการศึกษาการย่อยสลายของมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 พบว่า วัตถุดิบอาหารทั้งกลุ่มที่ใช้เป็นแหล่งพลังงาน (มันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง) และกลุ่มที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีน (กากถั่วเหลือง กากปาล์ม) เมื่อวัตถุดิบอาหารมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น อัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักก็เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา โดยในกลุ่มวัตถุดิบอาหารที่ใช้เป็นพลังงาน คือ มันสำปะหลังย่อยสลายได้วัตถุแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับกากมันสำปะหลัง ส่วนวัตถุดิบในกลุ่มที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีน กากถั่วเหลืองย่อยสลายได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกากปาล์ม เช่นเดียวกัน แสดงในตารางที่ 3.4

**ตารางที่ 3.3** การย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก

| วัตถุดิบ | วัตถุแห้ง (ชั่วโมงที่) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0** | **2** | **4** | **6** | **12** | **24** | **48** |
| มันสำปะหลัง | 33.63 | 43.39 | 54.60 | 59.94 | 71.15 | 83.14 | 88.18 |
| กากมันสำปะหลัง | 21.63 | 32.22 | 38.97 | 45.56 | 60.42 | 73.28 | 80.35 |
| SEM | 8.50 | 8.40 | 11.10 | 10.20 | 7.70 | 7.00 | 5.50 |
| p-value | 0.52 | 0.54 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 |
| กากถั่วเหลือง | 24.75 | 31.01 | 40.69 | 46.68 | 57.95 | 75.94 | 87.51 |
| กากปาล์ม | 17.66 | 26.24 | 32.00 | 38.48 | 48.60 | 73.05 | 80.01 |
| SEM | 5.00 | 3.40 | 6.20 | 5.80 | 6.60 | 2.00 | 5.40 |
| p-value | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 |

SEM = standard error of mean

**ตารางที่ 3.4** เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์

| ค่าคงที่ | วัตถุดิบอาหาร | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | มันสำปะหลัง | กากมันสำปะหลัง | SEM | p-value | กากถั่วเหลือง | กากปาล์ม | SEM | p-value |
| a[1/] | 33.63 | 21.67 | 8.5 | 0.52 | 24.73 | 17.67 | 5.0 | 0.52 |
| b[2/] | 59.83 | 54.57 | 3.7 | 0.52 | 67.43 | 65.87 | 1.1 | 0.53 |
| c[3/] | 0.115 | 0.094 | 0.02 | 0.52 | 0.063 | 0.060 | 0.002 | 0.58 |
| a + b[4/] | 87.53 | 81.07 | 4.6 | 0.52 | 84.27 | 72.43 | 8.4 | 0.52 |
| Effective degradability (%) | | | | | | | | |
| *0.08 | 76.7 | 40.7 | - | - | 60.6 | 39.6 | - | - |

[1/]a = water soluble extracted by cold water rinsing (0 hr bag), [2/]b = degradability of water insoluble, [3/]c = rate constant (fraction/hr), [4/]a + b = potential degradability and * outflow rate (fraction/hr) = 0.08

## 3.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

### 3.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด พบว่า กลุ่มที่ใช้เป็นแหล่งพลังงาน ได้แก่ มันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเถ้าต่ำ โดยที่เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งที่ได้มีค่า 91.21 สูงกว่าที่ พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ (2544) รายงานไว้ที่ 87.60 เปอร์เซ็นต์ แต่ใกล้เคียงกับ ทรงศักดิ์ จำปาวะดี, กฤตพล สมมาตย์, และ วิโรจน์ ภัทรจินดา (2548) ที่รายงานไว้ที่ 93.40 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งอาจขึ้นอยู่กับ ปริมาณความชื้นในดิน ถ้าปริมาณความชื้นในดินมีมาก มันสำปะหลังจะสามารถสะสมน้ำในหัวมันได้เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ขณะตากให้หัวมันที่ผ่านการหั่นทำให้เป็นมันเส้นแล้วตากเพื่อให้แห้ง ซึ่งอุณหภูมิที่สูงทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นเพิ่มมากขึ้น เปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าที่รายงานโดย พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และ ทรงศักดิ์ จำปาวะดี, กฤตพล สมมาตย์, และ วิโรจน์ ภัทรจินดา (2.02, 1.70 และ 1.89 ตามลำดับ) แต่ใกล้เคียงกับ สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์ (2540) และ McDonald et al. (1995) (2.52 และ 3.0) เปอร์เซ็นต์โปรตีนของมันสำปะหลังที่สูงต่ำ อาจเป็นผลมาจากการที่มันสำปะหลังได้รับปุ๋ยไนโตรเจนสูงต่ำแตกต่างกันไป หรือสภาพความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ที่เพาะปลูกและภูมิอากาศ ซึ่งจะส่งผลต่อการสะสมสารอาหารของพืชได้ เปอร์เซ็นต์เถ้าต่ำกว่ารายงานของ สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์, พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์, ทรงศักดิ์ จำปาวะดี, กฤตพล สมมาตย์, และ

วิโรจน์ ภัทรจินดา และ McDonald et al. (1.63, 5.03, 2.10, 2.01 และ 3.00 ตามลำดับ) เปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่าที่ พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ รายงานไว้ (0.19 กับ 1.70) แต่จะใกล้เคียงกับ สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์ และ McDonald et al. (0.47 กับ 0.9) ทั้งนี้ปริมาณเถ้าจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีผลิตมันเส้น ซึ่งอาจมีการปลอมปนของดินที่ติดมากับหัวมันสำปะหลังสด ส่วนเปอร์เซ็นต์เยื่อใยใกล้เคียงกับ สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์, พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และ McDonald et al. (4.52, 3.50, 4.40 กับ 4.30 ตามลำดับ) แต่เปอร์เซ็นต์ NDF สูงกว่าของ พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์, ทรงศักดิ์ และคณะ (2548) และ McDonald et al. (1995) (23.38, 9.70, 6.93 กับ 11.40) เปอร์เซ็นต์ ADF จะสูงกว่าที่ พิพัฒน์ (2544) รายงานเอาไว้ แต่ต่ำกว่าของทรงศักดิ์ และคณะ (2548) และ McDonald et al. (1995) (3.77, 1.90, 6.35 กับ 6.30 ตามลำดับ) ส่วนเปอร์เซ็นต์ ADL ใกล้เคียงกับ ทรงศักดิ์ จำปาวะดี, กฤตพล สมมาตย์, และ วิโรจน์ ภัทรจินดา (1.64 กับ 1.85) ปริมาณของเยื่อใยจะมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับคุณค่าทางโภชนะของอาหาร ผลของเยื่อใยนั้นขึ้นอยู่กับสัดส่วนของชนิดเยื่อใยที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ส่วนประกอบเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอายุของการเก็บเกี่ยวของพืช เช่นใช้ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวนาน พืชมีอายุมากขึ้น เปอร์เซ็นต์เยื่อใยส่วนต่าง ๆ ของพืชเพิ่มสูงขึ้น มีการสร้างผนังเซลล์เพิ่มมากขึ้น

กากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนและไขมันต่ำ โดยเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งมีค่า 91.34 ใกล้เคียงกับ พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์ (2546), ปิตุนาถ หนูเสน (2547) และ Khang et al. (2000) ได้รายงานไว้ที่ 94.21, 92.60 และ 91.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์โปรตีนใกล้เคียงกับการรายงานของ ปิตุนาถ หนูเสน และ Preston (2002) (2.63, 2.60 และ 2.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง โปรตีน และไขมัน ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตของ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง และอายุของมันสำปะหลัง เปอร์เซ็นต์เยื่อใยมีค่า 4.52 ซึ่งใกล้เคียงกับ ปิตุนาถ หนูเสน และ Preston ที่รายงานไว้ (6.60 กับ 5.00) ส่วนเปอร์เซ็นต์ของ NDF ใกล้เคียงกับ พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์ (23.38 กับ 25.65) แต่จะต่ำกว่า ปิตุนาถ หนูเสน และ Preston ที่รายงานไว้ (37.60 กับ 34.00) เปอร์เซ็นต์ ADF และ ADL ต่ำกว่า พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์ และ ปิตุนาถ หนูเสน ที่รายงานไว้ (3.77, 17.79 กับ 9.80 ; 1.64 กับ 3.90 ตามลำดับ, พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์ ไม่ได้รายงาน ADL เอาไว้) ส่วนเปอร์เซ็นต์ของเถ้า ใกล้เคียงกับ พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์ (1.63 กับ 1.79) แต่ต่ำกว่า ปิตุนาถ หนูเสน และ Preston (3.80 กับ 3.00) ระดับเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างของเถ้า อาจเป็นการปลอมปนของเศษของดิน หรือ ทรายที่อยู่ในบริเวณลานตากกากมันสำปะหลัง และจะเห็นว่ากากมันสำปะหลังมีโภชนะที่ค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะโปรตีน ซึ่งคุณค่าทางโภชนะในกากมันสำปะหลังนั้น ขึ้นอยู่กับอายุของมันสำปะหลังที่ส่งเข้าโรงงานผลิตแป้งมัน พันธุ์ของมันสำปะหลัง การใส่ปุ๋ย ความอุดมสมบูรณ์

ของดินและสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้กระบวนการสกัดแป้งออกก็ส่งผลถึงองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังอีกด้วย

กลุ่มที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีน ได้แก่ กากถั่วเหลืองมีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง 90.23 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับรายงานของ รัชนีกร มูลปา (2544) และ ปิตุนาถ หนูเสน (2547) ที่รายงานไว้ (91.26 และ 92.10) แต่ค่าที่ได้สูงกว่า พวน ทัศพงศ์ (2543), พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ (2544) และ กังวาน ธรรมแสง (2546) ที่รายงานไว้ที่ 88.40, 87.00 และ 89.96 ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ได้ใกล้เคียงกับ พวน ทัศพงศ์, พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์, รัชนีกร มูลปา, กังวาน ธรรมแสง และ ปิตุนาถ หนูเสน โดยมีค่า 44.62, 47.00, 47.50, 46.69, 44.85 และ 48.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์เถ้ามีค่า 7.17 ซึ่งใกล้เคียงกับ พวน ทัศพงศ์, พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์, รัชนีกร มูลปา, กังวาน ธรรมแสง และ ปิตุนาถ หนูเสน (6.80, 7.60, 6.91, 7.49 และ 6.60 ตามลำดับ) ไขมันมีเปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงกับ รัชนีกร มูลปา, กังวาน ธรรมแสง และ ปิตุนาถ หนูเสน (1.10, 1.57, 0.97 และ 0.90 ตามลำดับ) แต่สูงกว่า พวน ทัศพงศ์ (0.72 เปอร์เซ็นต์) และต่ำกว่า พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ (3.10 เปอร์เซ็นต์) เยื่อใยมีค่า 9.44 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่า รัชนีกร มูลปา, กังวาน ธรรมแสง และ ปิตุนาถ หนูเสน ที่รายงานไว้ที่ 4.65, 7.21 และ 5.90 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าต่ำกว่าที่รายงานโดย พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ ที่ 15.20 เปอร์เซ็นต์ NDF มีเปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงกับ รัชนีกร มูลปา, กังวาน ธรรมแสง และ ปิตุนาถ หนูเสน (16.76, 13.42, 14.39 และ 15.30 ตามลำดับ) แต่สูงกว่า พวน ทัศพงศ์ (9.70 เปอร์เซ็นต์) และต่ำกว่าที่รายงานโดย พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ (62.20 เปอร์เซ็นต์) ADF มีค่าใกล้เคียงกับ พวน ทัศพงศ์, พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์, กังวาน ธรรมแสง และ ปิตุนาถ หนูเสน แต่จะมีค่าสูงกว่าที่รายงานโดย รัชนีกร มูลปา (8.30, 7.40, 10.00, 9.21, 9.10 และ 1.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วน ADL มีค่าสูงกว่า พวน ทัศพงศ์ และ ปิตุนาถ หนูเสน (2.87, 0.79 และ 1.30) ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลืองขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการสกัดน้ำมัน และพันธุ์ของถั่วเหลือง

กากปาล์มมีเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง (DM), โปรตีนหยาบ (CP), เยื่อใยหยาบ (CF), ADF และ ADL (94.16, 11.43, 23.53, 42.25 และ 18.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ใกล้เคียงกับ กรมปศุสัตว์ (2547) ที่รายงานที่ 92.36, 11.27, 26.54, 42.48 และ 18.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่าที่รายงานไว้ (9.33, 11.30) และ NDF มีค่า 75.80 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าที่กรมปศุสัตว์ที่รายงานไว้ที่ 59.83 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของกากปาล์มขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการสกัดน้ำมันเช่นเดียวกันกับกากถั่วเหลือง

**3.6.2 การประเมินคุณค่าทางพลังงานของมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากปาล์ม**

เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ไปคำนวณหาค่าพลังงานประเภทต่าง ๆ ตามวิธีการของ NRC (1996; 2001) พบว่า มันสำปะหลังมีพลังงานรูปของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total

digestible nutrient, $TDN_{1X}$) เท่ากับ 81.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่ากากมันสำปะหลังที่ใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานเช่นเดียวกัน โดยที่ $TDN_{1X}$ มีค่า 68.40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ ปิตุนาถ หนูเสน (2547) มีค่า 70.26 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลุ่มวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีน พบว่า กากถั่วเหลืองมีค่า $TDN_{1X}$ สูงกว่ากากปาล์ม (75.06, 50.07) ซึ่งกากถั่วเหลืองมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ ปิตุนาถ หนูเสน ที่รายงานไว้ที่ 79.50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานประเภทต่าง ๆ ได้แก่ พลังงานย่อยได้ที่ระดับ maintenance ($DE_{1X}$), พลังงานใช้ประโยชน์ (ME), พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ ($NE_M$) และ พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต ($NE_G$) มันสำปะหลังมีค่าเป็น 3.42, 2.23, 1.13 และ 0.53 Mcal/kgDM ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากากมันสำปะหลังที่มีค่า 2.87, 1.86, 0.88 และ 0.31 Mcal/kgDM ส่วนกากถั่วเหลืองมีค่าสูงกว่ากากปาล์มเช่นกัน (3.74, 2.24; 2.52, 1.45; 1.29, 0.54 และ 0.63, 0.01 Mcal/kgDM) จากการประเมินคุณค่าทางพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ระดับต่าง ๆ วัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่ง ใช้พลังงานในระดับต่าง ๆ ที่แตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้น ๆ โดยเฉพาะส่วนที่เป็นเยื่อใย ถ้ามีปริมาณที่สูงมีผลทำให้คุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดนั้น ๆ ต่ำลง

**3.6.3 การย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์**

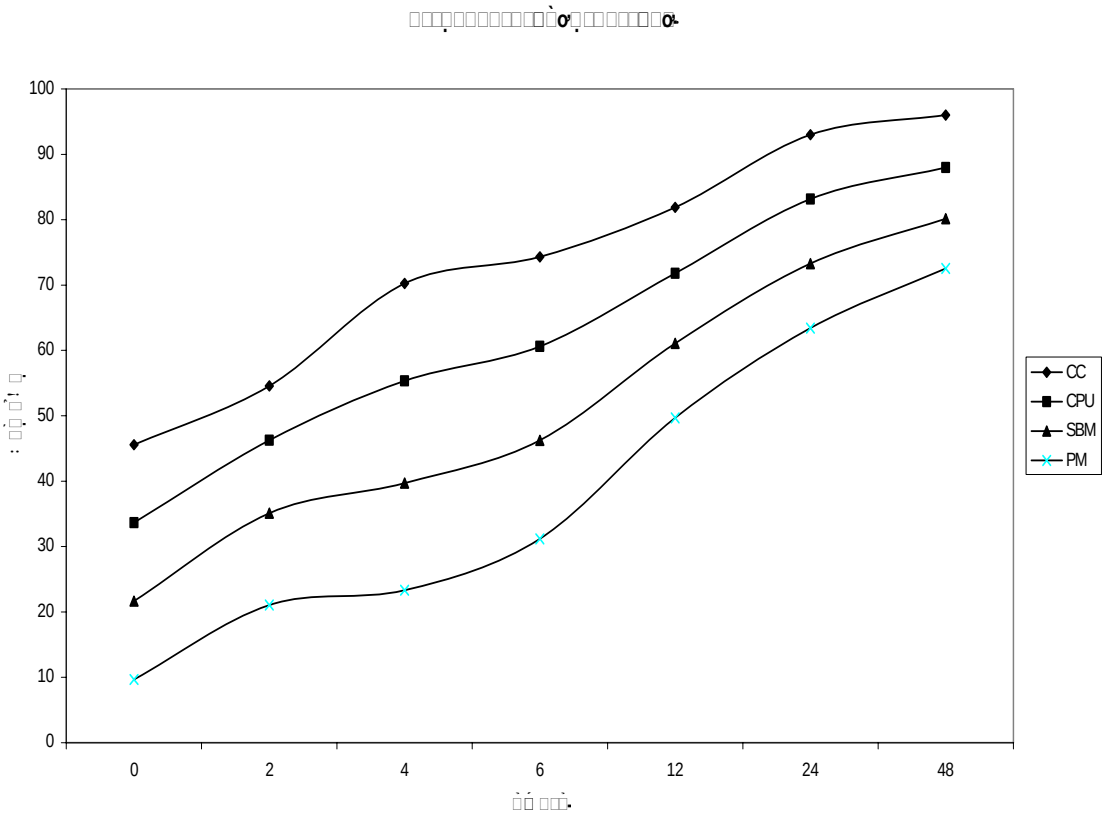
จากการศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด พบว่า วัตถุดิบอาหารสัตว์ในกลุ่มที่ใช้เป็นแหล่งพลังงาน ได้แก่ มันสำปะหลังมีการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่เวลาต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับกากมันสำปะหลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 แต่ประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งของมันสำปะหลังสูงกว่ากากมันสำปะหลัง (76.7, 40.7 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งค่าการย่อยสลายของกากมันสำปะหลังต่ำกว่าที่ ปิตุนาถ หนูเสน (2547) รายงานไว้ที่ 56.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลุ่มที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีน ได้แก่ กากถั่วเหลืองมีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของวัตถุแห้ง ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกากปาล์ม ทุกช่วงเวลาที่กำหนด และมีค่าประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งสูงกว่าด้วย (60.6, 39.6 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่าย หรือไม่เป็นโครงสร้าง (soluble or non-structural carbohydrate) อยู่สูง จะทำให้มีความสามารถในการย่อยสลายได้สูง ซึ่งประมาณได้จากการวิเคราะห์ NDF จะประกอบด้วย cellulose, hemicellulose และ lignin รวมกัน พวกนี้เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural-carbohydrate)

ส่วนกลุ่มที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีน วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีความสามารถในการละลายได้สูงทำให้มีการย่อยสลายได้มากเช่นกัน ซึ่งไนโตรเจนในอาหารโปรตีนที่ถูกย่อยสลาย จะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ ไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบจุลินทรีย์โปรตีนอยู่ในรูปโปรตีน 80% และกรดนิวคลีอิค 20% (เมธา วรรณพัฒน์, 2533) และสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถผลิตกรดนิวคลีอิคได้ ในปริมาณที่สูงและตลอดเวลาไนโตรเจนที่อยู่ในรูปกรดนิวคลีอิคให้ประโยชน์แก่สัตว์ในขอบเขตที่

จำกัด ฉะนั้นการผลิตกรดนิวคลีอิคในจุลินทรีย์โปรตีนในปริมาณมากนั้น เป็นการสูญเสียไนโตรเจน การทดแทนโปรตีนในอาหารด้วยสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen, NPN) เนื่องจากสามารถให้ไนโตรเจนในราคาที่ถูก และจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้สังเคราะห์เป็นโปรตีนได้ ปริมาณโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายได้ในกระเพาะหมักของโปรตีนนั้น ๆ ความสามารถในการละลายนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณที่จะ by-pass จากกระเพาะหมักไปสู่กระเพาะจริงและลำไส้

## 3.7 สรุป

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด พบว่า คุณค่าทางโภชนะมีค่าใกล้เคียงกับที่ได้มีรายงานไว้ โดยผู้วิจัยและสถาบันต่าง ๆ ซึ่งจากการศึกษาคุณค่าทางโภชนะของมันสำปะหลัง มีคุณสมบัติการย่อยสลายในกระเพาะหมักได้ไม่แตกต่างกันกับกากมันปะหลังและการประเมินคุณค่าทางพลังงานของโภชนะย่อยได้ทั้งหมดของมันสำปะหลัง มีค่าสูงกว่ากากมันสำปะหลัง ในการประกอบสูตรอาหารโค สามารถที่จะการใช้มันสำปะหลังเป็นหลักสำหรับแหล่งของพลังงานในอาหาร แต่มันสำปะหลังมีระดับโปรตีนต่ำ จึงจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบที่มีโปรตีนสูงมาเป็นแหล่งโปรตีน ได้แก่ กากถั่วเหลือง ส่วนการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารของโค ควรใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น กากปาล์ม มันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง เป็นต้น ซึ่งน่าจะช่วยให้สัตว์ได้รับพลังงานและโปรตีนเพียงพอ




**รูปที่ 3.1** การย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก

## 3.8 รายการอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. (2547). **ตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กังวาน ธรรมแสง. (2546). การประเมินคุณค่าทางอาหารของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนบางชนิดเพื่อทำนายผลผลิตของโคนม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ทรงศักดิ์ จำปาวะดี, กฤตพล สมมาตย์ และ วิโรจน์ ภัทรจินดา. (2548). การประเมินคุณค่าทางโภชนะของแหล่งพลังงานสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยใช้เทคนิคการผลิตแก๊ส. **วารสารเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.** 12 (3): 239-247.

ปิตุนาถ หนูเสน. (2547). การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พวน ทัศพงษ์. (2543). การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนมสาวลูกผสม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์. (2544). การศึกษาการนำผลพลอยได้ทางเกษตรมาผลิตเป็นอาหารผสมสำเร็จรูปหมักสำหรับเลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้งในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์. (2546). การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องของกากมันสำปะหลัง และเปลือกมันสำปะหลังโดยวิธี *In vitro* gas production technique. **ในการสัมมนาวิชาการเกษตร ประจำปี 2546.** (หน้า 146-154). คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.** กรุงเทพฯ : ฟันนี่พลับลิชชิ่ง.

รัชนีกร มูลปา. (2544). การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนมที่ให้นมปานกลาง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

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

AOAC. (1990). **Official Method of Analysis.** Washington D. C. Association of Official Analytical Chemist.

Khang, Z., Chon, K.C. and Nah, K.C. (2000). Cassava, a total substitute for cereal in livestock and poultry ratios. **Ruminant Nutrition : Selected articles from World Animal Review** (pp. 155-160). FAO.

McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D. and Mogrn, C.A. (1995). **Animal Nutrition. Chalcombe Publications.** London.

National Research Council. (1996). **Nutrient Requirements of Beef Cattle (7th rev.ed.).** Washington D.C.: National Academic Press.

National Research Council. (2001). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th rev.ed.).** Washington D.C.: National Academic Press.

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

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

Preston, R.L. (2002). Typical composition of commonly used feeds for sheep and cattle [On-line]. Available: http://www.vcn.vnn.

# บทที่ 4
# การใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปในการเลี้ยงโคนมเพศผู้

## คำนำ

ในการเลี้ยงโคเนื้อโคขุนต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่ จะเป็นต้นทุนด้านอาหาร ถือเป็นปัญหาสำคัญของเกษตรกรที่ประกอบอาชีพเลี้ยงโคเนื้อโคขุน เนื่องจากพื้นที่การเลี้ยงโคบางส่วนห่างไกลจากแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยทั่วไป โรงงานอาหารสัตว์จะตั้งอยู่ในแถบภาคกลางและภาคอีสานตอนใต้ จึงทำให้เกษตรกรที่อยู่นอกภูมิภาคดังกล่าว จำเป็นต้องสั่งอาหารสัตว์จากภาคอื่นเพื่อนำมาเลี้ยงโค ดังนั้นต้นทุนด้านอาหารสัตว์จึงสูงขึ้น เนื่องจากต้องขนส่งในระยะทางไกล ในขณะที่อาหารข้นสำเร็จรูป (commercial concentrate ) ที่เกษตรกรพอที่จะหาได้ในท้องถิ่นก็มีราคาค่อนข้างสูงเช่นกัน ดังนั้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนด้านอาหารจึงใช้อาหารข้นสำเร็จรูปมาใช้ร่วมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ ประเภทคาร์โบไฮเดรทที่มีในท้องถิ่น เช่น รำข้าว ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เป็นต้น การนำเอามันสำปะหลัง ซึ่งมีส่วนประกอบของแป้งประมาณ 23-25% ของน้ำหนักสด (Limsila et al., 1992; อ้างถึงใน เกรียงเดช สำแดง, อรพิน เวชชบุษกร และ อภิชาต รัตนวณิช, 2545) มีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง อยู่ระหว่าง 11.2-12.6 MJME/kg (Brigstocke et al, 1981; อ้างถึงใน เกรียงเดช สำแดง, อรพิน เวชชบุษกร และ อภิชาต รัตนวณิช) แต่มีโปรตีนต่ำ เมื่อนำไปประกอบสูตรอาหาร จำเป็นต้องอาศัยแหล่งโปรตีนที่สูงจากวัตถุดิบชนิดอื่น หรือการใช้ยูเรีย ซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) มาผสม จึงมีการศึกษาระดับการใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปที่เหมาะสม และใช้ประโยชน์ได้สูงสุด โดยการประกอบเป็นอาหารข้นเลี้ยงโคต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป ต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย กระบวนการหมักในกระเพาะหมัก นิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก และค่าทางชีวะเคมีในเลือดในโคนมเพศผู้

## 4.1 อุปกรณ์และวิธีการ

### 4.1.1 สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง

โคที่ใช้ในการทดลอง เป็นโคนมลูกผสมขาวดำเพศผู้ จำนวน 16 ตัว (พันธุ์โฮลสไตน์ฟรี-เชียนลูกผสม ระดับเลือดไม่ต่ำกว่า 87.5 เปอร์เซ็นต์) อายุเริ่มต้น 16-18 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 245±20 กิโลกรัม สัตว์ทดลองทุกตัวได้รับการถ่ายพยาธิทั้งภายนอกและภายใน และฉีดวิตามินเอ, ดี $_3$ และ อี

**ตารางที่ 4.1** แผนผังงานทดลอง

| **Block** | **สัตว์ทดลอง** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **T1** | **T2** | **T3** | **T4** |
| Block 1 | T1B1 | T2B1 | T3B1 | T4B1 |
| Block 2 | T1B2 | T2B2 | T3B2 | T4B2 |
| Block 3 | T1B3 | T2B3 | T3B3 | T4B3 |
| Block 4 | T1B4 | T2B4 | T3B4 | T4B4 |

T1 = replaced concentrate by cassava chip + urea 0%, T2 = replaced concentrate by cassava chip + urea 33.3%, T3 = replaced concentrate by cassava chip + urea 66.6% and T4 = replaced concentrate by cassava chip + urea 100%

B1 = group of weight animal to 349 ± 5.9 kg, B2 = group of weight animal to 318 ± 15.6 kg, B3 = group of weight animal to 289 ± 9.6 kg and B4 = group of weight animal to 241.3 ± 9.1 kg

ก่อนเข้าการทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized completely block design (RCBD) ซึ่งใช้น้ำหนักตัวเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มสัตว์ทดลอง ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งทำการทดลองในคอกเดี่ยว โดยมีทรีตเมนต์ (treatment) ที่ศึกษาจำนวน 4 ทรีตเมนต์ ดังนี้

T1 = อาหารข้นสำเร็จรูปทางการค้า 14 %CP (อาหารควบคุม)

T2 = อาหารควบคุมทดแทนด้วยมันสำปะหลัง + ยูเรีย ที่ระดับ 33.3%

T3 = อาหารควบคุมทดแทนด้วยมันสำปะหลัง + ยูเรีย ที่ระดับ 66.6%

T4 = มันสำปะหลัง + ยูเรีย ทดแทนอาหารข้นที่ระดับ 100 %

### 4.1.2 อาหารและการให้อาหาร

สัตว์ทดลองได้รับอาหารข้นสำเร็จรูปทดลอง 3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน (1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว) ในกลุ่มอาหารควบคุมและทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ในสัดส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.2 ในแต่ละวันให้อาหารข้น 2 ครั้ง คือ เวลา 07.00 น. และ 16.00 น. และ

ทำการให้ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ (urea treated rice straw, UTS) (เมธา วรรณพัฒน์, 2533) แบบเต็มที่ *(ad libitum)* ในแต่ละคอกจะมีน้ำสะอาดและแร่ธาตุก้อนไว้ให้สัตว์ทดลองได้กินอย่างอิสระ

**ตารางที่ 4.2** ส่วนประกอบของทรีตเมนต์

| | **T1** | **T2** | **T3** | **T4** |
|---|---|---|---|---|
| ส่วนประกอบอาหาร (%) | | | | |
| อาหารสำเร็จรูป 14%CP | 100 | 66.6 | 33.3 | - |
| มันสำปะหลัง | - | 33.3 | 66.6 | 100 |
| ยูเรีย | - | 0.014 | 0.028 | 0.042 |
| ส่วนประกอบอาหาร (3 กิโลกรัม) | | | | |
| อาหารสำเร็จรูป 14%CP | 3 | 2 | 1 | - |
| มันสำปะหลัง | - | 1 | 2 | 3 |
| ยูเรีย (กรัม) | - | 41.81 | 83.62 | 125.43 |

**4.1.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล**

เมื่อทำการคัดเลือกตามกลุ่มแผนการทดลองแล้ว ทำการให้อาหาร และใช้เวลาในการปรับสัตว์ทดลอง 14 วัน เพื่อให้สัตว์คุ้นเคยกับสภาพคอกทดลองและอาหารทดลอง โดยทำการบันทึก

1. ทำการชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองทุก ๆ 2 สัปดาห์ของระยะทดลอง เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของสัตว์ทดลอง

2. บันทึกการให้อาหารหยาบและส่วนที่เหลือในแต่ละวัน

3. สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารและอาหารที่เหลือ ในแต่ละทรีตเมนต์ ทุก ๆ 2 สัปดาห์ของการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง (dry matter, DM), เถ้า (ash), โปรตีน (crude protein, CP) ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) และวิเคราะห์เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF), เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) และ acid detergent lignin, ADL ตามวิธีการของ Goering and Van Soest (1970)

4. สุ่มเก็บตัวอย่างมูล โดยสุ่มเก็บในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เพื่อนำไปคำนวณสัมประสิทธิ์การย่อยได้ตามวิธีของ Schnieder and Flatt (1975) โดยการใช้ตัวชี้บ่งภายใน (internal indicator) คือ เถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA) ซึ่งทำการสุ่มมูลจากสัตว์ทดลองเป็นรายตัว โดยสุ่ม 1-2 ครั้งต่อวัน ทำการล้วง

เอามูลจากทวารหนักของสัตว์ทดลองโดยตรง หรือสุ่มจากมูลกองที่ใหม่ที่สุดหลาย ๆ กองรวมกัน (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

5. การวัดและการสุ่มเก็บตัวอย่าง ของเหลวจากกระเพาะหมัก (rumen fluid) ทำการสุ่มเก็บในช่วง 2 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยสุ่มเก็บ ณ ชั่วโมงที่ 4 หลังจากการให้อาหาร โดยวิธีการใช้เครื่อง suction ต่อสายยางอีกด้านมีหัวตะกั่วเจาะรู สอดผ่านปากและหลอดอาหารของโคไปยังกระเพาะหมักเก็บของเหลวในกระเพาะหมัก ประมาณ 60-80 มิลลิลิตร และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทันทีด้วยเครื่อง pH meter (Mini Lab TSFET Model 10120) และแบ่งของเหลวจากกระเพาะหมักออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 สุ่มเก็บประมาณ 20 มิลลิลิตร เติม 6 N HCl ประมาณ 5 มิลลิลิตร เพื่อหยุดการทำงานจุลินทรีย์ นำไปเหวี่ยงใส (centrifuge) ด้วยความเร็ว 3000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 15 นาที เก็บเอาเฉพาะส่วนที่ใส (supernatant) เก็บไว้ประมาณ 10-15 มิลลิลิตร นำไปเก็บในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการหมัก ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen, $NH_3$-N) โดยวิธีการกลั่น (Bromner and Keeney, 1965) โดยใช้เครื่อง Gerhardt Kjeldatherm Vapodeat 30

ส่วนที่ 2 สุ่มเก็บประมาณ 20 มิลลิลิตร เติม 25% $H_2PO_3$ (Song and Kennelly, 1990) ประมาณ 5 มิลลิลิตร นำไปเหวี่ยงใสเช่นเดียวกับส่วนแรก เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมัก ได้แก่ กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid, TVFA) และกรดไขมันที่ระเหยได้ที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid, $C_2$) กรดโพรพิออนิก (propionic acid, $C_3$) และกรดบิวทีริก (butyric acid, $C_4$) โดยใช้เครื่อง GC (Gas Liquid Chromatography) รุ่น (HP6890 GC METHOD) column Supelco wax ™ 10 Fused silica capillary Column 30 n, 32 mm ID, 25µm film thickness Mfg. under HP U.S. patent 4, 293, 415

ส่วนที่ 3 ทำการสุ่มเก็บ 1 มิลลิลิตร เติม 10% formaldehyde 9 มิลลิลิตร เพื่อนำไปตรวจนับประชากรจุลินทรีย์ (total direct count) ได้แก่ แบคทีเรีย (bacteria) โปรโตซัว (protozoa) โดยใช้ Haemacytometer ขนาด 400 ช่อง (haemacytometer มีขนาด กxยxล = 1x1x0.1 mm) โดยทำการนับแบคทีเรีย 20 ช่องเล็กในแนวทะแยงมุม โดยนับ 2 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย ตามวิธีการของ Galyean (1989) ส่วนโปรโตซัวทำการนับ 1 ช่องใหญ่ ในการนับใช้กล้องจุลทรรศน์ (Model CHS OLYMPUS) ใช้กำลังขยาย ดังนี้ แบคทีเรียใช้กำลังขยาย 400 เท่า โปรโตซัวใช้กำลังขยาย 100 เท่า ทำการนับ 2 ซ้ำ เช่นเดียวกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยของประชากร

6. การเก็บตัวอย่างเลือด ทำการสุ่มเก็บเลือดจากเส้นเลือดดำบริเวณคอ (jugular vein) โดยการสุ่มเก็บในช่วง 2 วันสุดท้ายของการทดลองเช่นเดียวกัน กับการสุ่มเก็บของเหลวจากกระเพาะหมัก โดยสุ่มเก็บในชั่วโมงที่ 4 หลังจากการให้อาหาร เก็บประมาณ 3-5 มิลลิลิตร ใส่ใน

หลอดที่มีเฮพพารีน (heparinized) เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด หลังจากนั้นนำไปเหวี่ยงใสที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที เก็บเฉพาะส่วนของเหลวใส (plasma) เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาค่ายูเรียในกระแสเลือด (blood urea nitrogen, BUN) ตามวิธีการของ Helmut and Yvette (1959)

## 4.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) ตามแผนการทดลอง RCBD โดยใช้ Proc GLM (SAS, 1998) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์ โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีของ Steel and Torrie (1980) โดยมีโมเดลของการวิเคราะห์ ดังนี้

$$Y_i = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ $Y_i$ = ค่าสังเกตจากทรีตเมนท์ที่ i, บล็อกที่ j

$\mu$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

$\tau_i$ = อิทธิพลเนื่องจากทรีตเมนท์ที่ i เมื่อ i = 1, 2, 3 และ 4

$\beta_j$ = อิทธิพลเนื่องจากบล็อกที่ j เมื่อ j = 1, 2, 3 และ 4

$\varepsilon_{ij}$ = error

## 4.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาคารเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 และ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 4.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2549 ถึง 30 สิงหาคม พ.ศ. 2549

## 4.5 ผลการทดลอง

### 4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประมาณพลังงานโดยการคำนวณจาก NRC (2001) ที่โคได้รับจากสูตรอาหารและฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์เป็นแหล่งอาหารหยาบ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและอาหารหยาบ ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่า อาหารข้นทั้ง 4 ทรีตเมนต์ ที่มีระดับของการใช้มันสำปะหลังทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป ในระดับที่แตกต่างกัน คือ 0, 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการใช้ยูเรียปรับระดับโปรตีนให้เท่ากัน พบว่า องค์ประกอบทางเคมีที่เป็นวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีน-หยาบอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มเป็น 92.9, 94.5 และ 13.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีปริมาณเยื่อใยลดลง (ดูตารางที่ 4.3) เมื่อมีสัดส่วนการทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรียที่เพิ่มขึ้น ดังนี้ คือ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (NDF) มีค่าเป็น 59.4, 51.1, 50.9 และ 10.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (ADF) มีค่าเป็น 26.5, 21.3, 16.2 และ 5.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนลิกนิน (ADL) ของทรีตเมนต์ที่ 1, 2 และ 3 อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.8 เปอร์เซ็นต์ ทรีตเมนต์ที่ 4 มีส่วนประกอบของลิกนิน เท่ากับ 1.9 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้น ทรีตเมนต์ที่มีมันสำปะหลังอยู่ในระดับสูง จะทำให้คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (nonstructural carbohydrate, NSC) มีค่าสูง ดังแสดงในตารางที่ 4.3

อาหารหยาบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักฟางข้าว พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็น วัตถุแห้ง, อินทรียวัตถุ, โปรตีนหยาบ, เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง, เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด และลิกนิน (ADL) มีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองเป็น 64.8, 87.7, 7.3, 74.8, 50.5 และ 10.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การประมาณพลังงานในอาหารทดลองและอาหารหยาบ (ตารางที่ 4.4) พบว่า พลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวม ($TDN_{1X}$) ของอาหารทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าเท่ากับ 73.19, 71.93, 70.60 และ 81.55 เปอร์เซ็นต์ พลังงานการย่อยได้ (DE) มีค่าเท่ากับ 3.20, 3.15, 3.11 และ 3.60 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง พลังงานใช้ประโยชน์ (ME) มีค่าเท่ากับ 2.63, 2.58, 2.55 และ 2.95 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง และพลังงานสุทธิ (NE) ซึ่งแยกเป็นพลังงานสุทธิสำหรับการดำรงชีพ ($NE_m$) มีค่าเท่ากับ 1.75, 1.71, 1.69 และ 1.92 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง และพลังงานสุทธิสำหรับการเจริญเติบโต ($NE_g$) มีค่าเท่ากับ 1.07, 1.04, 1.01 และ 1.30 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ส่วนอาหารหยาบ คือ ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ มี $TDN_{1X}$, DE, ME, $NE_m$ และ $NE_g$ เท่ากับ 40.80 เปอร์เซ็นต์,1.79, 1.47, 0.63 และ 0.10 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.3** องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลอง

| องค์ประกอบทางเคมี (%) | ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย | | | | UTS |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 33.3% | 66.6% | 100% | |
| วัตถุแห้ง | 92.5 | 93.1 | 93.3 | 92.8 | 64.8 |
| อินทรียวัตถุ | 93.9 | 93.8 | 95.2 | 95.3 | 87.7 |
| โปรตีนหยาบ | 13.3 | 13.7 | 14.0 | 14.4 | 7.3 |
| ไขมัน | 4.6 | 3.5 | 2.4 | 0.3 | 0.5 |
| NDF | 59.4 | 51.1 | 50.9 | 10.7 | 74.8 |
| ADF | 26.5 | 21.3 | 16.2 | 5.7 | 50.5 |
| ADL | 4.6 | 4.9 | 5.0 | 1.9 | 10.0 |
| NSC** | 16.5 | 29.0 | 36.3 | 82.1 | 5.0 |

UTS = urea treated rice straw, NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber, ADL = acid detergent lignin, NSC = non-structural carbohydrate and **estimated: NSC = 100 - (CP+NDF+EE+Ash) (Nocek and Russell, 1988)

**ตารางที่ 4.4** การจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการ NRC (2001) ที่โคได้รับจากสูตรอาหารและฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์

| พลังงาน | ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย | | | | UTS |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 33.3% | 66.6% | 100% | |
| $TDN_{1X}$ (%DM) | 73.19 | 71.93 | 70.60 | 81.55 | 40.80 |
| DE (Mcal/kgDM) | 3.20 | 3.15 | 3.11 | 3.60 | 1.79 |
| ME (Mcal/kgDM) | 2.63 | 2.58 | 2.55 | 2.95 | 1.47 |
| $NE_m$ (Mcal/kgDM) | 1.75 | 1.71 | 1.69 | 1.92 | 0.63 |
| $NE_g$ (Mcal/kgDM) | 1.07 | 1.04 | 1.01 | 1.30 | 0.10 |

NRC = Nutrient Requirements of Dairy Cattle, TDN = total digestible nutrient (%DM) at 1X maintenance, DE = digestible energy, ME = metabolizable energy, $NE_m$ = net energy for maintenance and $NE_g$ = net energy for growth

**4.5.2 ปริมาณการกินได้**

ปริมาณการกินได้อย่างอิสระของอาหารหยาบ ปริมาณการกินได้รวมทั้งหมดตามหน่วย kgDM ของสัตว์ทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) หรือปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบมีผลกระทบอันเนื่องมาจากการใช้มันสำปะหลังทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป ที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์

**ตารางที่ 4.5** ผลของการทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง

| | **ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย** | | | | **SEM** | **p-value** | **Contrast** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0%** | **33.3%** | **66.6%** | **100%** | | | **L** | **Q** |
| จำนวนสัตว์ (ตัว) | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | |
| การกินได้อาหารหยาบ/วัน | | | | | | | | |
| กิโลกรัม | 6.9$^{ab}$ | 7.1$^{a}$ | 6.2$^{bc}$ | 6.0$^{c}$ | 0.22 | 0.02 | 0.01 | 0.31 |
| %BW | 2.12 | 2.14 | 1.95 | 1.93 | 0.08 | 0.23 | 0.08 | 0.77 |
| g/kgBW$^{0.75}$ | 90 | 91 | 82 | 81 | 3.30 | 0.12 | 0.04 | 0.66 |
| การกินได้อาหารข้น/วัน | | | | | | | | |
| กิโลกรัม | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | - | - | - | - |
| %BW | 0.85 | 0.84 | 0.88 | 0.88 | 0.06 | 0.94 | 0.61 | 0.88 |
| g/kgBW$^{0.75}$ | 36 | 36 | 37 | 37 | 1.92 | 0.95 | 0.60 | 0.92 |
| ปริมาณการกินได้รวม/วัน | | | | | | | | |
| กิโลกรัม | 9.7$^{ab}$ | 9.9$^{a}$ | 9.0$^{bc}$ | 8.8$^{c}$ | 0.22 | 0.02 | 0.01 | 0.31 |
| %BW | 2.98 | 2.99 | 2.83 | 2.83 | 0.09 | 0.48 | 0.18 | 0.96 |
| g/kgBW$^{0.75}$ | 126 | 127 | 119 | 119 | 3.54 | 0.25 | 0.09 | 0.78 |

BW = body weight, BW$^{0.75}$ = metabolic body weight, SEM = standard error of mean, L = linear, Q = quadratic and $^{a, b \text{ and } c}$ = significantly different ($p<0.05$) in row

**4.5.2.1 ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ**

ตารางที่ 4.5 พบว่า ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งต่อวัน (dry matter intake; kg/d) ในกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรียในสูตรอาหาร สูงกว่า กลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 33.3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้วัตถุแห้งต่อวัน สูงกว่า กลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณกินได้วัตถุแห้งเป็น 7.1, 6.2 และ 6.0 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ และแนวโน้มการกินได้วัตถุแห้งลดลงเป็นเส้นตรง เมื่อปริมาณการทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรียที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.5 หากศึกษาปริมาณการกินได้วัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัวต่อวัน (%BW) และต่อน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ($g/kgBW^{0.75}$) พบว่า การกินได้ทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรีย หรือเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป ในสูตรอาหาร (ค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มมีค่าเท่ากับ 2.03 %BW/d และ 86 $g/kg^{0.75}/d$ ตามลำดับ)

**4.5.2.2 ปริมาณการกินได้ของอาหารข้น**

เมื่อคิดเป็นปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน (%BW) และต่อน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ($g/kgBW^{0.75}$) ของอาหารข้น พบว่า การกินได้ทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรีย หรือเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป ในสูตรอาหาร (ค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มมีค่าเท่ากับ 0.86 %BW/d และ 37 $g/kg^{0.75}/d$ ตามลำดับ)

**4.5.2.3 ปริมาณการกินได้รวมทั้งหมด**

ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ปริมาณการกินได้รวมทั้งหมดวัตถุแห้งต่อวัน กลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรีย ในสูตรอาหาร สูงกว่า กลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 33.3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้วัตถุแห้งต่อวัน สูงกว่า กลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณกินได้รวมทั้งหมดวัตถุแห้ง เป็น 9.9, 9.0 และ 8.8 กิโลกรัมแห้งต่อวัน ตามลำดับ และแนวโน้มการกินได้รวมทั้งหมดของวัตถุแห้งลดลงเป็นเส้นตรง เมื่อปริมาณการทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป ด้วยมันสำปะหลังและยูเรียที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.4 เมื่อศึกษาปริมาณการกินได้รวมทั้งหมดของวัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัวร่างกายต่อวัน (%BW) และ ต่อน้ำหนักเมแทบอลิกต่อวัน ($g/kgBW^{0.75}$) พบว่า การกินได้ทั้งสองแบบไม่มีความ

แตกต่างกันในทางสถิติ (p>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรีย หรือเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป ในสูตรอาหาร (ค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มมีค่าเท่ากับ 2.91 %BW/d และ 123 $g/kg^{0.75}/d$ ตามลำดับ)

**4.5.3 ความสามารถในการย่อยได้**

พบว่า ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ในกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรีย ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (p>0.05) กับระหว่างกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป ในสูตรอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 4.8 อีกทั้งกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มเท่ากับ 56.1 เปอร์เซ็นต์

**ตารางที่ 4.6** ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะของโคที่ได้รับอาหารที่ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย

| | **ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย** | | | | **SEM** | **p-value** | **Contrast** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0%** | **33.3%** | **66.6%** | **100%** | | | **L** | **Q** |
| AIA in UTS, % | ----------8.43---------- | | | | - | - | - | - |
| AIA in feed, % | 1.9 | 2.0 | 2.2 | 1.1 | 0.40 | 0.37 | 0.28 | 0.22 |
| AIA in feces, % | 16.1 | 14.7 | 14.7 | 15.1 | 1.27 | 0.86 | 0.63 | 0.50 |
| *DM, % | 59.3 | 51.0 | 55.2 | 58.7 | 5.66 | 0.72 | 0.93 | 0.32 |
| **OM, % | 65.1 | 57.8 | 60.3 | 63.0 | 4.97 | 0.75 | 0.87 | 0.34 |

UTS = urea treated rice straw, AIA = acid insoluble ash, DM = dry matter, OM = organic matter, SEM = Standard error of mean, L = linear, Q = quadratic, * Digestibility coefficient dry matter = Dry mater = 100-(100x%AIA in feed/%AIA in feces) and ** Digestibility coefficient Nutrient = 100-[100 x (%AIA in feed x %Nutrient in feces)/%AIA in feces x %Nutrient in feed]

ความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ ในกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรีย ในสูตรอาหาร ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (p>0.05) กับระหว่างกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป ในสูตรอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และกลุ่ม

ที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ก็ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มเท่ากับ 61.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

**4.5.4 อัตราการเจริญเติบโต**

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวโคนมเพศผู้ที่ใช้ในการทดลอง ในกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรียในสูตรอาหาร สูงกว่า กลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.7) แต่ไม่แตกต่างในทางสถิติ กับกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 33.3 และ 66.6 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 31.5, 34.0, 26.5 และ 14.8 กิโลกรัมต่อระยะการทดลอง 60 วัน ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.7** อัตราการเจริญเติบโต การเพิ่มของน้ำหนัก น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองของโคที่ได้รับอาหารที่ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย

| น้ำหนัก | ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย | | | | SEM | p-value | Contrast | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 33.3% | 66.6% | 100% | | | L | Q |
| น้ำหนักเริ่มต้น (กก.) | 300.3 | 299.5 | 297.8 | 300.5 | 6.12 | 0.99 | 0.97 | 0.78 |
| น้ำหนักสุดท้าย (กก.) | 331.8 | 333.5 | 324.3 | 315.3 | 6.99 | 0.30 | 0.09 | 0.46 |
| น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กก.) | 31.5[a] | 34.0[a] | 26.5[a] | 14.8[b] | 3.56 | 0.02 | 0.01 | 0.08 |
| ADG*, g/day | 525[a] | 567[a] | 442[a] | 247[b] | 0.07 | 0.02 | 0.01 | 0.08 |

ADG = average daily gained, SEM = standard error of mean, L = linear, Q = quadratic and [a and b] = significantly different ($p<0.05$) in row

อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ในกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรียในสูตรอาหาร สูงกว่า กลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างในทางสถิติ กับกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 33.3 และ 66.6 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 525, 567, 442 และ 247 กรัมต่อวัน ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงเป็นเส้นตรง เมื่อสัดส่วนการทดแทน

อาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ในขณะนี้น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (final weight) ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 331.8, 333.5, 324.3 และ 315.3 กิโลกรัม ตามลำดับ

**4.5.5 รูปแบบของกระบวนการหมัก และผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการหมัก**

**4.5.5.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)**

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมักหลังการให้อาหาร ณ เวลา 4 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) สำหรับทุกๆ กลุ่ม โดยกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 7.3, 7.3, 7.3และ 7.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

**4.5.5.2 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมัก ($NH_3$-N)**

ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักหลังการให้อาหาร ณ เวลา 4 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกกลุ่มการทดลอง ซึ่งมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 12.7, 14.3, 10.3 และ 7.2 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

**4.5.5.3 จุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก**

ปริมาณของจำนวนแบคทีเรียภายในกระเพาะหมัก ณ เวลา 4 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร พบว่า อาหารทดลองทั้ง 4 ทรีตเมนต์ ไม่มีความแตกกันในทางสถิติ ($p>0.05$) ของค่าเฉลี่ยจำนวนแบคทีเรีย โดยกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 33.3 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.38, 2.43, 1.65 และ $1.70 \times 10^9$ cell/ml ตามลำดับ) ดังตารางที่ 4.8

ปริมาณของโปรโตซัวภายในกระเพาะหมัก ณ เวลา 4 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร พบว่า อาหารทดลองทั้ง 4 ทรีตเมนต์ ไม่มีความแตกกันในทางสถิติ ($p>0.05$) ของค่าเฉลี่ยจำนวนโปรโตซัว ซึ่งกลุ่มที่ไม่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.63, 2.15, 2.88 และ $3.50 \times 10^5$ cell/ml ตามลำดับ) ดังตารางที่ 4.8

**ตารางที่ 4.8** ค่า BUN, pH, $NH_3$-N, จุลินทรีย์และกรดไขมันระเหยได้ของโคที่ได้รับอาหารที่ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ณ ชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหารข้น

| | ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย | | | | SEM | p-value | Contrast | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 33.3% | 66.6% | 100% | | | L | Q |
| BUN (mg%) | 7.2[a] | 7.2[a] | 6.1[b] | 5.6[c] | 0.13 | 0.01 | 0.30 | 0.01 |
| pH | 7.3 | 7.3 | 7.3 | 7.5 | 0.06 | 0.11 | 0.48 | 0.14 |
| $NH_3$-N, mg% | 12.7 | 14.3 | 10.3 | 7.2 | 2.37 | 0.23 | 0.26 | 0.34 |
| Direct count rumen microbes | | | | | | | | |
| Bact, x $10^9$ | | | | | | | | |
| cell/ml | 1.38 | 2.43 | 1.65 | 1.70 | 0.25 | 0.08 | 0.86 | 0.08 |
| Prot, x $10^3$ cell/ml | 3.63 | 2.15 | 2.88 | 3.50 | 0.57 | 0.30 | 0.89 | 0.10 |
| Total VFA (m*M*/L) | 102.6 | 97.3 | 101.5 | 103.6 | 6.48 | 0.91 | 0.81 | 0.58 |
| Molar proportion of VFA (mol/100mol) | | | | | | | | |
| Acetic acid (C2) | 62.6 | 60.2 | 61.1 | 61.4 | 1.80 | 0.83 | 0.75 | 0.49 |
| Propionic acid (C3) | 20.9 | 22.3 | 22.9 | 22.0 | 1.17 | 0.70 | 0.49 | 0.36 |
| Butyric acid (C4) | 16.5 | 17.5 | 16.0 | 16.7 | 0.78 | 0.62 | 0.77 | 0.82 |
| C2 : C3 | 3.1 | 2.7 | 2.7 | 2.8 | 0.24 | 0.71 | 0.50 | 0.37 |

BUN = blood urea nitrogen, $NH_3$-N = Ruminal ammonia nitrogen, Bact = bacteria, Prot = protozoa, SEM = standard error of mean, L = linear, Q = quadratic and [a and b] = significantly different ($p<0.05$) in row

#### 4.5.5.4 กรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย

ปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย ณ เวลา 4 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร พบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด กรดอะซีติก กรดโพรพิออนิก และกรดบิวทีริค ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) ของทุกกลุ่มการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.8 โดยมีค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด เท่ากับ 101.3 m*M*/L, กรดอะซีติก เท่ากับ 61.3 mol/100mol, กรดโพรพิออนิก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.0 mol/100mol และ กรดบิวทีริค มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

16.7 mol/100mol ส่วนสัดส่วนของ C2 : C3 ก็ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มเท่ากับ 2.83

**4.5.6 ค่าชีวเคมีในกระแสเลือด**

ค่าชีวเคมี หรือ เมทาโบไลท์ในกระแสเลือด (blood metabolite) ที่วิเคราะห์ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในเลือด

ค่าความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือด ณ เวลา 4 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 กลุ่มได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรีย ในสูตรอาหาร กับกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 33.3 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) แต่จะแตกต่างกันในทางสถิติ ($p<0.01$) กับกลุ่มที่มีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร (ตารางที่ 4.8)

## 4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีทั้ง 4 ทรีตเมนต์ ได้แก่ วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีนหยาบมีค่าใกล้เคียงกัน และเปอร์เซ็นต์ของ TDN อยู่ในช่วง 73-81 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับที่ NRC (1996) แนะนำว่า อาหารที่มีระดับโปรตีนหยาบในช่วง 12.6-14.4 เปอร์เซ็นต์ มีระดับ TDN อยู่ในช่วง 70-80 เปอร์เซ็นต์ มีพลังงานสุทธิสำหรับการดำรงชีพและพลังงานสุทธิสำหรับการเจริญเติบโต อยู่ในช่วง 1.67-1.99 และ 1.06-1.33 เมกะคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทรีตเมนต์ทดลองมีระดับพลังงานสุทธิสำหรับการดำรงชีพเฉลี่ยเท่ากับ 1.77 เมกะคลอรีต่อกิโลกรัม และพลังงานสุทธิสำหรับการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 1.11 เมกะคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในช่วงที่ NRC แนะนำ ส่วนองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากการใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปในระดับต่าง ๆ (33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์)

ฟางหมักยูเรียที่ใช้ในงานทดลองนี้ เป็นฟางที่หมักด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์มีโปรตีนหยาบ 7.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Hart and Wanapat. (1992), Badurdeen et al. (1994), ปราโมทย์ แพงคำ (2541) และ สุรศักดิ์ จิตตะโคตร์ (2542) รายงานไว้ที่ 7.4, 7.7, 7.8 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่จะสูงกว่าที่ ศิวพร วรอนุ (2543) และ Wanapat et al. (1983) รายงานไว้ที่ 6.9 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 2 งานทดลอง นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยโปรตีนหยาบที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าของงานทดลอง Wanapat et al. (2000) รายงานไว้ 8.5 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้อาจจะแตกต่างกันไปบ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว และแหล่งที่มาของฟางข้าว Shen and Sundstol (1998) ได้ทำการวัดทางกายภาพและเคมีของฟางข้าว รายงานว่า สภาพลมฟ้าอากาศ, ฤดูกาล, การใช้ปุ๋ยและเวลาในการเก็บเกี่ยว เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลผลิตและส่วนประกอบของฟางข้าว Shen and Sundstol (1998) พบว่า ฤดูกาลมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวแตกต่างกันด้วย เช่น ไนโตรเจน, เฮมิ

เซลลูโลส, เซลลูโลส และฟอสฟอรัส เป็นต้น นอกจากนี้ความสม่ำเสมอของการราดน้ำยูเรียในการเตรียมฟางหมัก ทำให้มีผลกระทบต่อการสุ่มฟางเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีได้ ซึ่งฟางข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรีย จะทำให้มีระดับของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 35 เป็น 171 เปอร์เซ็นต์ (Shen and Sundstol) ฟางหมักยูเรียในงานทดลองนี้มี OM, NDF, ADF และ Ash เท่ากับ 87.7, 74.9, 50.5 และ 12.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่า $TDN_{1X}$, DE, ME, $NE_m$ และ $NE_g$ เท่ากับ 40.80 เปอร์เซ็นต์,1.79, 1.47, 0.63 และ 0.10 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ

ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งต่อวัน (dry matter intake; kg/d) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อมีปริมาณของมันสำปะหลังและยูเรียในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น การกินได้ที่ลดลงเนื่องมาจากอาหารที่ใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปที่เพิ่มขึ้น ในสูตรอาหารนั้น จะทำให้มีระดับของพลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งแป้งที่มีอยู่ในมันสำปะหลังเมื่อสัตว์กินเข้าไปจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดียว (monosaccharide) หลังจากนั้นจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA) ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานในโค หรือสัตว์เคี้ยวเอื้อง สัตว์จะกินอาหารตามความต้องการของพลังงานซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์สัตว์ นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับระยะการให้ผลผลิต เช่น โคที่กำลังให้นมมีความต้องการพลังงานสูงกว่าโคที่อุ้มท้อง หรือในช่วงที่ไม่ได้ให้นม สัตว์ที่กำลังเจริญเติบโตจะมีความต้องการพลังงานสูงกว่าสัตว์ที่โตเต็มวัยแล้ว (เมธา วรรณพัฒน์, 2533) จากการทดลองของ Baumgardt (1970) แสดงให้ว่าปริมาณอาหารที่กินได้และปริมาณพลังงานที่ได้รับจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ควบคู่กันไปจนถึงจุด ๆ หนึ่งซึ่งเรียกว่า inflection point หลังจากนั้นปริมาณการกินได้จะค่อย ๆ ลดลง ส่วนพลังงานนั้นจะคงที่ และปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งอาหารหยาบในการทดลองครั้งนี้ลดลง เมื่ออาหารข้นทดลองมีปริมาณของแหล่งพลังงานเพิ่มมากขึ้น (มีมันสำปะหลังในสูตรอาหาร 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์) แสดงให้เห็นว่าระดับพลังงานในอาหารเป็นปัจจัยควบคุมการกินได้ของสัตว์ ดังนั้นเมื่อใช้อาหารที่มีระดับความเข้มข้นของพลังงานสูง หรือการเสริมอาหารพลังงานให้แก่สัตว์ ควรจะปรับระดับโภชนะอื่น ๆ ให้เพิ่มสูงขึ้นเพื่อป้องกันการที่สัตว์จะได้รับโภชนะไม่เพียงพอ

ในการทดลองครั้งนี้ การใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปในระดับต่าง ๆ ไม่ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก และความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DM) และอินทรียวัตถุ (OM) ซึ่งสอดคล้องกับ Wachirapakorn et al. (n.d.) พบว่า ระดับของมันสำปะหลังในอาหารข้น ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการย่อย ทั้งการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุ ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์เคี้ยวเอื้องจะอาศัยความสามารถในการย่อยจากจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก เข้าย่อยสลายอาหารที่ผ่านเข้าไปในกระเพาะหมัก ซึ่งความสามารถในการย่อยของจุลินทรีย์จะสัมพันธ์กับจำนวนของจุลินทรีย์ในเชิงบวก

ส่วนอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ในกลุ่มโคที่ได้รับมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร มีความแตกต่างในทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกลุ่ม เนื่องจากยูเรียในสูตรอาหารที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งจะเป็นเฉพาะแหล่งของไนโตรเจนเท่านั้น ยูเรียจะไม่มีกรดอะมิโนและเปปไทด์ ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของสัตว์ Argyle and Baldwin (1989) รายงานว่า แหล่งไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนไม่ได้สนับสนุนกรดอะมิโนและเปปไทด์ เพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก

ประมาณความต้องการโปรตีนและพลังงานของโค ที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรีย และมีมันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร รวมทั้งฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ ที่เป็นแหล่งอาหารหยาบ ดังตารางที่ 4.9 พบว่า ความต้องการโปรตีนหยาบ (CP) ของโคที่สามารถคำนวณได้จากสมการของ NRC (2001) มีค่าเท่ากับ 882, 894, 846 และ 822 กรัมต่อวัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความต้องการโปรตีนของโคกับที่โคได้รับจากอาหาร พบว่า กลุ่มโคทั้งสี่กลุ่มในการทดลองได้รับโปรตีนหยาบใกล้เคียงกับความต้องการโปรตีนหยาบของตัวสัตว์ทดลอง

ส่วนความต้องการพลังงานของโคที่แยกเป็น พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพกับพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (ตารางที่ 4.9) พบว่า ความต้องการของโคในกลุ่มทดลองต่าง ๆ มีความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ เท่ากับ 5.63, 5.67, 5.56 และ 5.54 เมกะคลอรีต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงที่ NRC (1996) แนะนำไว้ที่ 5.55 เมกะคลอรีต่อวัน และความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต มีค่าเท่ากับ 2.26 เมกะคลอรีต่อวันทุกกลุ่ม มีค่าสูงกว่าที่ NRC แนะนำไว้ คือ 1.72 เมกะคลอรีต่อวัน ส่วนพลังงานสุทธิที่ได้รับอาหารที่ใช้ในการทดลอง (ทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบ) ที่แยกสนับสนุนในกิจกรรมต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบความต้องการพลังงานของโค พบว่า พลังงานที่มีอยู่ในอาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีปริมาณเกินความต้องการของโคที่จะในไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 เป็นที่น่าสังเกตว่าพลังงานที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากอาหารนั้นหายไป ซึ่งพลังงานเหล่านั้นควรที่จะเพิ่มในส่วนการเพิ่มน้ำหนักตัว แต่จากการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันสถิติในกลุ่มที่ไม่มีการทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย หรือมีการทดแทนด้วยมันสำปะหลังและยูเรียที่ระดับ 33.3 และ 66.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลุ่มที่มีการทดแทนด้วยมันสำปะหลังและยูเรียที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างของการเพิ่มน้ำหนักตัวอาจเนื่องมาจากการกินได้ของวัตถุแห้งของอาหารหยาบที่น้อยกว่าทุกกลุ่ม

**ตารางที่ 4.9** ความต้องการโปรตีนและพลังงานของโคและโปรตีนและพลังงานที่ได้รับจากอาหาร

| | การทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **0%** | **33.3%** | **66.6%** | **100%** |
| ความต้องการโปรตีน (กรัมต่อวัน) | | | | |
| | 882 | 894 | 846 | 822 |
| โปรตีนที่ได้รับจากอาหารทั้งหมด (กรัมต่อวัน) | | | | |
| | 880 | 901 | 846 | 838 |
| โปรตีนที่ขาดหรือเกิน (กรัมต่อวัน) | | | | |
| | -2 | 7 | 0 | 16 |
| ความต้องการพลังงานสุทธิ (Mcal ต่อวัน) | | | | |
| $NE_m$ | 5.55 | 5.62 | 5.52 | 5.56 |
| $NE_g$ | 2.68 | 2.68 | 2.68 | 2.68 |
| พลังงานสุทธิที่ได้รับจากอาหารทั้งหมด (Mcal ต่อวัน) | | | | |
| $NE_m$ | 9.18 | 9.28 | 8.67 | 9.15 |
| $NE_g$ | 3.65 | 3.61 | 3.44 | 4.22 |
| พลังงานสุทธิที่ขาดหรือเกิน (Mcal ต่อวัน) | | | | |
| $NE_m$ | 3.63 | 3.66 | 3.15 | 3.59 |
| $NE_g$ | 0.97 | 0.93 | 0.76 | 1.54 |

$NE_m$ = net energy required for maintenance and $NE_g$ = net energy for gain

ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าพลังงานที่เพิ่มน่าจะถูกนำไปใช้ในการดำรงชีพ นั่นอาจหมายถึงความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพในประเทศไทยนั้นสูงกว่าโคที่ใช้ในการหาค่าสมการการทำนายความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของ NRC จากการทดลองของ เกียรติศักดิ์ ศรีพันธบุตร (2544) ที่ศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมที่ให้นมระยะกลาง ที่ได้รับฟางข้าวหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบ พบว่า การให้โคได้รับพลังงานที่ต่ำกว่า NRC กำหนด 10 เปอร์เซ็นต์ นั้นพลังงานที่โคได้รับเพื่อการเจริญเติบโต หรือการเพิ่มน้ำหนักตัวนั้นไม่เพียงพอ ส่งผลให้น้ำหนักตัวของโคโดยเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มลดลง เนื่องจากโคต้องสลายไขมันที่สะสมในร่างกายเพื่อให้ได้พลังงานตามที่ต้องการ นอกจากนั้นยังทดลองให้โคได้รับพลังงานสูงกว่า NRC แนะนำ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ความต้องการพลังงานใช้ในส่วนการเจริญเติบโต และการสร้างน้ำนมนั้น เป็นไปตามสมการการคำนวณของ NRC (1988) แต่มีพลังงานบางส่วนที่หายไป ถ้าโคได้รับพลังงานที่

เพิ่มขึ้นก็น่าจะทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นหรืออาจจะเพิ่มผลผลิตน้ำนม แต่ในการทดลองน้ำหนักตัวและผลผลิตของน้ำนมไม่แตกต่างกัน ซึ่งนั่นอาจหมายถึงพลังงานที่สูญหายไปนี้ จะปรากฏในการใช้พลังงานเพื่อดำรงชีพ จะสอดคล้องกับ รัชนีกร มูลปา (2544) ที่ใช้การคำนวณของพลังงานที่โคต้องการและได้รับจากอาหารตามที่ NRC (1985; 1988) เมื่อนำค่าพลังงานที่ใช้เพื่อดำรงชีพ เพื่อการให้ผลผลิตน้ำนม และเพื่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ไปหักลบออกจากพลังงานที่ได้รับ แล้วมีพลังงานส่วนหนึ่งที่หายไปเช่นกัน ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความต้องการพลังงานดังกล่าวนี้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การจัดการและคุณภาพของอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่มีคุณภาพต่ำการใช้พลังงานในการหมักย่อยจะสูง ในขณะที่การหมักย่อยนี้ทำให้เกิดความร้อนในส่วนของกระเพาะหมัก การระบายความร้อนของโคนั้นทำได้โดยการเพิ่มอัตราการหายใจ ซึ่งเหล่านี้เป็นเหตุที่ส่งผลให้ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพนั้นเพิ่มขึ้น

ผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมักในกระเพาะหมักนั้น พบว่าระดับ rumen pH ภายในกระเพาะหมักในทุกกลุ่มทดลอง อยู่ในช่วง 7.3-7.5 ซึ่งสูงกว่าที่ Wachirapakorn et al. (n.d.) ที่รายงานไว้อยู่ในช่วง 6.56-6.69 ระดับ rumen pH ที่ปกติของสัตว์อยู่ในช่วง 5.5-7.0 (Dehority, 2003) rumen-pH ที่สูงอาจจะเนื่องมาจากยูเรียที่มีอยู่ในทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบ ที่มีฤทธิ์เป็นด่างจึงทำให้ rumen pH มีความเป็นด่างสูงกว่าค่าที่เหมาะสม

นอกจากนี้ระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมัก ซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มที่ใช้ประโยชน์ได้จากเยื่อใย (Hungate, 1966) จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 7.15-14.29 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าการศึกษาของ Wachirapakorn et al. (n.d.) รายงานว่า โคที่ได้รับอาหารที่มีมันสำปะหลังร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 ในสูตรอาหาร โดยใช้หญ้ารูซี่แห้งเป็นแหล่งอาหารหยาบ มีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 4.65-5.42 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ แต่ใกล้เคียงกับ ศิวพร วรอนุ (2543) รายงานไว้ที่ 7.5-9.5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ โดยกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรียร่วมกับรำสกัดน้ำมันในสัดส่วน 40:60 มีค่าสูงสุด ส่วนการทดลองในครั้งนี้ พบว่า ระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักมีค่าลดลง เมื่อมีการทดแทนมันสำปะหลังและยูเรียเพิ่มขึ้นจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติ ยูเรียผ่านเข้าไปในกระเพาะหมัก จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ยูรีเอส (urease) จากแบคทีเรียอย่างรวดเร็วได้เป็นแอมโมเนีย แล้วแอมโมเนียจะถูกจุลินทรีย์นำไปทำปฏิกิริยากับกรดคีโตน (keto acid) ที่ได้จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต กลายเป็นกรดอะมิโนซึ่งจะถูกสร้างเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์เอง แล้วโปรตีนนี้จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากตัวสัตว์ที่กระเพาะแท้และลำไส้เล็กได้เป็นกรดอะมิโน ซึ่งสัตว์จะดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายต่อไป ส่วนการที่แอมโมเนียจะถูกจับไปใช้สร้างโปรตีนได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ยูเรียจะใช้ได้ดีที่สุดเมื่อยูเรียมีอัตราการสลายตัวไปเป็นแอมโมเนียอย่างช้า ๆ และอาหารมีคาร์โบไฮเดรตที่สลายตัวได้ง่ายอยู่สูง เพื่อใช้เป็นแหล่ง

พลังงานในการสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า มันสำปะหลังมีแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สลายตัวได้ง่ายอยู่สูง ทำให้แอมโมเนียที่เกิดจากการสลายตัวของยูเรียถูกจับไปสร้างโปรตีนได้มาก ถ้าอาหารมีระดับสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนสูง จะทำให้มีระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักสูงด้วย อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพในการจับแอมโมเนียเพื่อนำไปสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนต่ำ หรือถึงแม้การทดแทนมันสำปะหลังและยูเรียจะเพิ่มขึ้นจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติ ยูเรียจะแตกตัวให้แอมโมเนียอย่างรวดเร็ว การวัดความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักที่ชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร พบปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ต่ำลง อธิบายได้ว่ายูเรียในสภาพที่ทดแทนในระดับ 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ แตกตัวให้แอมโมเนียภายในชั่วโมงแรก ๆ หลังการให้อาหาร แต่ในกระเพาะหมักที่มีอาหารข้นอัดเม็ดสำเร็จรูป และอาหารที่ทดแทนอาหารข้นอัดเม็ดสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรีย ที่ระดับ 33.3 เปอร์เซ็นต์ ยูเรียจะค่อย ๆ แตกตัว เมื่อทำการวัดที่ชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร จะพบปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระดับสูง Salter et al. (1979) รายงานว่า ยูเรียจะแตกตัวสมบูรณ์ภายในกระเพาะหมัก ช่วงเวลา 2 ชั่วโมงขณะที่สัตว์ได้รับเข้าไป ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีปริมาณมาก อยู่ในช่วงเวลา 1-3 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร ปริมาณไนโตรเจนในอาหารสัตว์จะเกี่ยวข้องกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ผลิตได้ภายในกระเพาะหมัก อีกทั้งยังมีความเกี่ยวข้องกับระดับไนโตรเจนในกระแสเลือดด้วย Church (1979) อธิบายการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้องไว้ว่า โดยทั่วไป ยูเรียจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมักโดยการทำงานของจุลินทรีย์ ได้ผลผลิตสุดท้าย คือ แอมโมเนีย ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ส่วนแอมโมเนียที่เหลือจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักไปสู่กระแสเลือด ผ่านไปยังตับเพื่อเข้าสู่วัฏจักรยูเรีย แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือดเพิ่มขึ้นด้วย

ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า ความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือดของกลุ่มที่ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรียที่ระดับ 33.3 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันในทางสถิติ ($p<0.05$) กับกลุ่มที่มีทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรียที่ระดับ 66.6และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 7.2 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่า กฤตพล สมมาตย์ (2535), เกรียงศักดิ์ สะอาดรักษ์ (2539), ทรงศักดิ์ จำปาวะดี (2541) และ เฉลิมพล เยื้องกลาง (2542) ที่มีการใช้ฟางข้าวหรือหญ้ารูซี่เป็นแหล่งอาหารหยาบ ร่วมกับการให้อาหารข้นที่มีการใช้ยูเรียในสูตรอาหาร ในระดับไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่ายูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.7-13.07 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และโคนมที่ได้รับฟางหมักยูเรียและอาหารข้น ที่มีส่วนผสมเป็นยูเรียในระดับสูง 2.0-4.5 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร มีค่า 13.46-21.8 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์

ส่วนจำนวนแบคทีเรียจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า อาหารทดลองทั้ง 4 ทรีตเมนต์ ไม่มีความแตกกันในทางสถิติ ($p>0.05$) ของค่าเฉลี่ยจำนวนแบคทีเรีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.38, 2.43, 1.65 และ 1.70 x $10^9$ cell/ml ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าโคที่ได้รับฟางหมักยูเรียเพียงอย่างเดียว และฟางหมักยูเรียร่วมกับรำสกัดน้ำมันในสัดส่วน 60 : 40 และ 40 : 60 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.4, 2.2 และ 1.8 x $10^{12}$ cell/ml (ศิวพร วรอนุ, 2543) ทั้งนี้ความแตกต่างของอาหารและโภชนะที่สัตว์ได้รับ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรแบคทีเรียภายในกระเพาะหมัก และนอกจากนี้จะเห็นได้ว่าในกลุ่มที่มีมันเส้นและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปนั้น มีจำนวนโปรโตรซัวเพิ่มขึ้น ตามระดับมันเส้นที่เพิ่มสูงขึ้น อาจเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้จำนวนแบคทีเรียในกระเพาะหมักลดลง เพราะโปรโตรซัวจะกินแบคทีเรียเป็นอาหารโดยเฉลี่ยประมาณ $10^2$-$10^4$ cells/hr (Coleman, 1975; Russell, 1998)

ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acids, TVFAs) กรดอะซีติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริค และสัดส่วนของกรดอะซีติกและกรดโพรพิออนิก ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกกลุ่มอาหารทดลอง โดยมีค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่ม คือ 101.3 m*M*/L, 61.3 mol/100mol, 22.0 mol/100mol, 16.7 mol/100mol และ 2.83 ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนของกรดอะซีติก กรดโพรพิออนิก และสัดส่วนของกรดอะซีติกและกรดโพรพิออนิก สอดคล้องกับคำแนะนำของ เมธา วรรณพัฒน์ (2533) ซึ่งระบุว่าสัดส่วนของกรดอะซีติก กรดโพรพิออนิก และสัดส่วนของกรดอะซีติกและกรดโพรพิออนิกที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 65-70, 20-22 และ 1-4 ตามลำดับ โดยทั่วไป ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่าง 70-130 m*M*/L (France and Siddons, 1993) การย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างภายในกระเพาะหมัก ได้แก่ cellulose และ hemicellulose ที่อยู่ในอาหารหยาบประมาณ 60% จะให้ผลผลิตเป็น กรดอะซีติกและกรดบิวทีริค ตามลำดับ (Murphy et al., 1982)

## 4.7 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการใช้มันเส้นและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปในการเลี้ยงโคนมตัวผู้ ต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง, น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง, อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย, กระบวนการหมักในกระเพาะหมัก, นิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก และค่ายูเรียในกระแสเลือดของทั้ง 4 กลุ่มทดลอง แสดงให้เห็นว่า การทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันเส้นในระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร มีผลกระทบต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง, น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการทดแทนในระดับอื่น ๆ (0, 33.3 และ 66.6 เปอร์เซ็นต์) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง, น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง, อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย, กระบวนการหมักในกระเพาะหมัก, นิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก และค่ายูเรียในกระแสเลือด แต่การใช้มันเส้นในสูตรอาหารที่ระดับสูง จะทำให้ลด

การกระตุ้นความน่ากินของอาหาร ดังนั้นจึงควรการเพิ่มความน่ากินของสูตรอาหารที่ประกอบขึ้น เช่น การใช้กากน้ำตาล หรือสารแต่งกลิ่นร่วมด้วย

## 4.8 รายการอ้างอิง


กรมปศุสัตว์. (2549). **ข้อมูลสถิติปศุสัตว์ประจำปี พ.ศ. 2548-2549** [ออนไลย์]. ได้จาก: http://www.dld.go.th.

กฤตพล สมมาตย์. (2535). อิทธิพลการเสริมเชื้อยีสต์ต่อการใช้ประโยชน์ของโปรตีน และรูปแบบของขบวนการหมักในกระเพาะหมัก ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหยาบหลัก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เกรียงเดช สำแดง, อรพิน เวชชบุษกร และอภิชาต รัตนวณิช. (2545). การเจริญเติบโตและลักษณะซากโคพันธุ์กบินทร์บุรีที่เลี้ยงขุนระยะสั้นด้วยมันเส้นสามระดับในสูตรอาหารข้น. **วารสารวิชาการปศุสัตว์เขต 5.** 4 (3): 11-21.

เกรียงศักดิ์ สะอาดรักษ์. (2539). ผลของการเสริมอาหารเม็ดคุณภาพสูง ต่อปริมาณการกินได้ รูปแบบของกระบวนการหมักในรูเมน ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เกียรติศักดิ์ ศรีพันธบุตร. (2544). การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมที่ให้นมระยะกลางที่ได้รับฟางข้าวหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เฉลิมพล เยื้องกลาง. (2542). ผลของระดับการเสริมอาหารเม็ดคุณภาพสูง และระดับอาหารข้นต่อกระบวนการหมักในรูเมน ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ทรงศักดิ์ จำปาวะดี. (2541). ผลของระดับโปรตีน และปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักต่อกระบวนการหมัก ผลผลิต และองค์ประกอบในโคนม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปราโมทย์ แพงคำ. (2541). ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรต และ/หรือโปรตีนไหลผ่านต่อปริมาณการกินได้อย่างอิสระ ความสามารถในการย่อยได้ และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนในโคนมที่ได้รับฟางข้าว และฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.** กรุงเทพฯ : ฟันนี่พลับลิชชิ่ง.

รัชนีกร มูลปา. (2544). การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนมที่ให้นมปานกลาง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุรศักดิ์ จิตตะโคตร์. (2542). ผลการใช้แคลซาเรียทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลืองต่อปริมาณการกินได้ เมทธาโบไลซ์ในกระแสเลือด กระบวนการหมักในกระเพาะหมัก การย่อยได้ และการสังเคราะห์จุลินทรีย์ในคมที่ได้รับฟางหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบ.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศิวพร วรอนุ. (2543). การศึกษาเปรียบเทียบระดับอาหารหยาบและอาหารข้นที่มีผลต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก กระบวนการหมัก ผลผลิตสุดท้าย และปริมาณการกินได้ในโคและกระบือปลักที่เลี้ยงด้วยฟางหมักยูเรีย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

AOAC. (1990). **Official Method of Analysis.** Washington. D.C.: Association of Official Analytical Chemists.

Argyle. J.L. and Baldwin. R.L. (1989). Effects of amino acids and peptides on rumen microbial growth yields. **J. Dairy. Sci.** 72: 2017-2027.

Badurdeen, A.L., Ibrahim, M.N.M. and Schire, J.B. (1994). Methods of improve utilization of rice straw. II. Effects of different levels of feeding on intake and digestibility of untreated and urea treated rice straw. **Asian-Aus. J. Anim. Sci.** 7: 165.

Baumgardt, B.R. (1970). In Proc. Nutr. Conf. for Feed Manufacturers. Cornell Univ., Itheca, N.Y.

Bromner, J.M. and Keeney, P. (1965). Steam distillation methods of determination of ammonia nitrate and nitrate. **Anal.Chem. Acta.** 32: 363-367.

Church, D.C. (1979). **Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants.** Vol.I. USA: O&B Book, Corvallis, Oregon.

Colucci, G.S. (1975). **The inter-relationship between rumen ciliate protozoa and bacteria. In: Digestion and Metabolism in the ruminant.** Austratia: University of New England.

Dehority, B.A. (2003). **Rumen Microbiology.** Nottingham: Nottingham University Press.

France, J. and Siddons, R.C. (1993). **Volatile fatty acid production. In: Quantilitive aspects ruminant digestion and metabolisim (Eds., J.M. Forbes and J. Frace).** UK: C.A.B. International, Willingford.

Galyean, M. (1989). **Laboratory Procedure in Animal Nutrition Research.** Department of Animal and Range Sciences. USA.: New Mexico State University.

Goering, H.K. and Van Soest, P.J. (1970). **Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and Some Application).** Agric. Handbook No. 379. Washington. D.C.:ARS, USDA.

Hart, F.J. and Wanapat, M. (1992). Physiology of digestion of urea-treated rice straw in swamp buffaloes. **Asian-Aus. J. Anim. Sci.**5:617.

Helmut, R. and Yvette, L. (1959). A simple Method for the determination of blood urea nitrogen, with special refernce to automatic Colorimetric Anlysis. Clinical Chemistry.

Hungate, R.E. (1966). **The rumen and it microbes. R.E. Hungate, ed.** New York: Academic Press.

Murphy, M.R., Baldwin, L.R. and Kung, L.J. (1982). Estimation of stoichiometric parameter for rumen fermentation of roughage and concentrate diets. **J. Anim. Sci.** 55: 411-421.

Nocek, J.E. and Russell, J.B. (1988). Protein and energy as an integrated system, Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. **J. Dairy Sci.** 71: 2070-2107.

Russell, J.B. (1998). The importance of pH in the regulation of ruminal acetate to propionate ratio and methane production in vivo. **J. Dairy Sci.** 81: 3222.

Salter, D.N. Daneshvar, K. and Smith, R.H. (1979). The origin of nitrogen incorporated into compound in the rumen bacteria of steers given protein- and urea-containing diets. **Br. J. Nutr.** 41: 197-209.

SAS. (1998). User's Guide: Statistics (Version 7) [Computer software]. SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Shen, H.Sh., Ni, D.B. and Sundstol. (1998). Studies on untreated and urea-treated rice straw from three cultivation seasons: 1. Physical and chemical measurements in straw and straw fractions. **Anim. Feed Sci. Technol.** 73: 243-261.

Song M.K. and Kennelly, J.J. (1990). Ruminal fermentation pattern, bacteria population and ruminal degradation of feed ingredients as influenced by ruminal ammonia concentration. **J. Anim. Sci.** 68: 1110-1120.

Steel, R.G.D. and Torrie J.H. (1980). **Principles and Procedure of Statistics.** New York: McGraw Hill Book Co.

Wachirapakorn, C., Wanapat, M., Sornsungnern, N. and Kowsuwan, S. (n.d.) Optimum cassava root chip levels in lactaing cow diets [On-line]. Available: http://www.mekarn.org/procKK/wach.htm.

Wanapat, M., Chumpawadee, S. and Paengkoum, P. (2000). Utilization of urea-treated rice straw and whole sugar cane crop as roughage source for dairy cattle during the dry season. **Asian-Aus. J. Anim. Sci.**13: 474.

Wanapat, M., Praerdsuk, S., Chanthai, S. and Sivapragan, A. (1983). Improvement of rice straw utilization by ensile with urea for cattle during the dry season. J. **Agric. Sci.** 16: 267.

# บทที่ 5
# ศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังในสูตรอาหารเลี้ยงโคนมเพศผู้

## คำนำ

ในสูตรอาหารเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคนม โคเนื้อ ส่วนใหญ่แหล่งพลังงานสำหรับสัตว์จะใช้มันสำปะหลัง หรือมันเส้นเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ให้พลังงาน เนื่องจากได้มีการศึกษายืนยันจากนักวิชาการถึงขีดความสามารถของมันสำปะหลังที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์ อีกทั้งเรื่องของราคาค่อนข้างถูกกว่าวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น ทำให้นิยมใช้กันแพร่หลายกันมากขึ้น ปัจจุบันราคาของมันสำปะหลังถีบตัวสูงขึ้น เนื่องจากการนำเอามันสำปะหลังไปผสม ethanol ผลิตเป็นเชื้อเพลิงในรูปของแก๊ส ส่งผลให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์มีต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย เพื่อแก้ไขปัญหา หรือเป็นอีกทางเลือกเพื่อบรรเทาปัญหาดังกล่าว จึงได้มีผู้สนใจที่จะนำเอาผลพลอยได้ทางเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีอยู่หลายชนิดมาใช้ให้เป็นประโยชน์ และผลพลอยได้ทางเกษตรที่น่าสนใจได้แก่ กากมันสำปะหลัง เนื่องจากเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง ที่มีกำลังการผลิตภายในประเทศที่สูง ทำให้มีปริมาณของกากมันสำปะหลังมากด้วย แต่การศึกษาการใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังนั้น ยังอยู่ในวงแคบ ๆ อยู่ เพื่อเพิ่มประสิทธิ์ภาพของกากมันสำปะหลังในด้านวัตถุดิบอาหารสัตว์ จึงได้ทำการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันเส้นในสูตรอาหารเลี้ยงโคนมตัวผู้ลูกผสม เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังและเพิ่มทางเลือกของแหล่งวัตถุดิบพลังงานของอาหารสัตว์แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังในสูตรอาหารเลี้ยงโคนมตัวผู้ลูกผสมต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย กระบวนการหมักในกระเพาะหมัก นิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก และค่าทางชีวเคมีในเลือด

## 5.1 อุปกรณ์และวิธีการ

### 5.1.1 สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง

โคที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมลูกผสมเพศผู้ จำนวน 4 ตัว (โฮลสไตน์ฟรีเชียนระดับเลือดไม่ต่ำกว่า 43.75 เปอร์เซ็นต์ x บราห์มันระดับเลือด 50 เปอร์เซ็นต์) น้ำหนักเฉลี่ย 278 ± 38 กิโลกรัม สัตว์ทดลองทุกตัวได้รับการถ่ายพยาธิทั้งภายนอกและภายใน และฉีดวิตามินเอ, ดี $_3$ และ อี ก่อนเข้าการทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ 4x4 Latin square design ทำการทดลองในคอกเดี่ยว ดังตารางที่ 5.1 โดยมีทรีตเมนต์ (Treatment) ที่ศึกษาจำนวน 4 ทรีตเมนต์ ดังนี้

T1 = กากมันทดแทนมันสำปะหลังแห้ง 0%

T2 = กากมันทดแทนมันสำปะหลังแห้ง 33.3%

T3 = กากมันทดแทนมันสำปะหลังแห้ง 66.6%

T4 = กากมันทดแทนมันสำปะหลังแห้ง 100 %

**ตารางที่ 5.1** แผนผังงานทดลอง

| ช่วงเวลา | สัตว์ทดลอง | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **C1** | **C2** | **C3** | **C4** |
| 1 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 2 | T3 | T4 | T1 | T2 |
| 3 | T2 | T3 | T4 | T1 |
| 4 | T4 | T1 | T2 | T3 |

C1 = cow number 1, C2 = cow number 2, C3 = cow number 3, C4 = cow number 4, T1 = replaced cassava chips by cassava pulp of 0%, T2 = replaced cassava chips by cassava pulp of 33.3%, T3 = replaced cassava chips by cassava pulp of 66.6% and T4 = replaced cassava chips by cassava pulp of 100%

### 5.1.2 อาหารและการให้อาหาร

สัตว์ทดลองได้รับอาหารทดลองตามความต้องการของสัตว์ทดลอง โดยใช้น้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) เป็นเกณฑ์ในการให้อาหารข้น อาหารข้นได้จากการผสมวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีมันสำปะหลังแห้งและ/หรือกากมันสำปะหลัง เป็นแหล่งพลังงานหลักในสูตรอาหารร่วมกับวัตถุดิบอื่น ดังตารางที่ 5.2 ซึ่งสัตว์ทดลองจะได้รับอาหารข้น วันละ 2 ครั้งในเวลา 07.00 น. และ 16.00 น. และทำการให้ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ (urea treated rice straw, UTS)

(เมธา วรรณพัฒน์, 2533) แบบเต็มที่ *(ad libitum)* ในแต่ละคอกจะมีน้ำสะอาดและแร่ธาตุก้อนไว้ให้สัตว์ทดลองได้กินอย่างอิสระ

**ตารางที่ 5.2** วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารข้น

| ส่วนประกอบ | สูตรอาหารข้น (kg) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | T1 | T2 | T3 | T4 |
| มันสำปะหลัง | 75.00 | 50.00 | 25.00 | 0.00 |
| กากมันสำปะหลัง | 0.00 | 25.00 | 50.00 | 75.00 |
| กากถั่วเหลือง | 10.00 | 10.00 | 10.10 | 10.30 |
| กากปาล์ม | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 |
| กากน้ำตาล | 3.90 | 3.90 | 3.80 | 3.60 |
| ยูเรีย | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 |
| เกลือ | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| พรีมิกซ์ | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |

**5.1.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล**

เมื่อจัดสัตว์ทดลองตามแผนการทดลองแล้ว ทำการให้อาหาร และใช้เวลาในการปรับตัวสัตว์ทดลอง 14 วัน เพื่อให้สัตว์คุ้นเคยกับสภาพคอกทดลองและอาหาร โดยทำการบันทึก

1. ทำการชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองในแต่ละช่วงของระยะทดลอง เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของสัตว์ทดลอง

2. บันทึกการให้อาหารหยาบและส่วนที่เหลือ โดยการสุ่มในแต่ละช่วงของระยะการทดลอง

3. สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารและอาหารที่เหลือในแต่ละทรีตเมนต์ ของแต่ละช่วงของระยะการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง (dry matter, DM), เถ้า (ash), โปรตีน (crude protein, CP) ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) และวิเคราะห์เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF), เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) และacid detergent lignin, ADL ตามวิธีการของ Goering and Van Soest (1970)

4. การวัดและการสุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะหมัก (rumen fluid) ทำการสุ่มเก็บในช่วง 2 วันสุดท้ายของการทดลองของแต่ละช่วงการทดลอง โดยสุ่มเก็บ ณ ชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 หลังจากการให้อาหาร โดยวิธีการใช้เครื่อง suction ต่อสายยางอีกด้านมีหัวตะกั่วเจาะรูสอดผ่านปาก

และหลอดอาหารของโคไปยังกระเพาะหมัก เก็บของเหลวในกระเพาะรูเมนประมาณ 60-80 มิลลิลิตร และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทันทีด้วยเครื่อง pH meter (Mini Lab TSFET Model 10120) และแบ่งของเหลวจากกระเพาะหมักออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 สุ่มเก็บประมาณ 20 มิลลิลิตร เติม 6 N HCl ประมาณ 5 มิลลิลิตร เพื่อหยุดการทำงานจุลินทรีย์ นำไปเหวี่ยงใส (centrifuge) ด้วยความเร็ว 3000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 15 นาที เก็บเอาเฉพาะส่วนที่ใส (supernatant) เก็บไว้ประมาณ 10-15 มิลลิลิตร นำไปเก็บในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการหมัก ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen, $NH_3$-N) โดยวิธีการกลั่น (Bromner and Keeney, 1965) โดยใช้เครื่อง Gerhardt Kjeldatherm Vapodeat 30

ส่วนที่ 2 สุ่มเก็บประมาณ 20 มิลลิลิตร เติม 25% $H_2PO_3$ (Song and Kennelly, 1990) ประมาณ 5 มิลลิลิตร นำไปเหวี่ยงใสเช่นเดียวกับส่วนแรก เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมัก ได้แก่ กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid, TVFA) และกรดไขมันที่ระเหยได้ที่สำคัญได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid, $C_2$) กรดโพรพิออนิก (propionic acid, $C_3$) และกรดบิวทีริก (butyric acid, $C_4$) โดยใช้เครื่อง GC (Gas Liquid Chromatography) รุ่น (HP6890 GC METHOD) column Supelco wax $^{TM}$ 10 Fused silica capillary Column 30 n, 32 mm ID, 25µm film thickness Mfg. under HP U.S. patent 4, 293, 415

5. การเก็บตัวอย่างเลือด ทำการสุ่มเก็บเลือดจากเส้นเลือดดำบริเวณคอ (jugular vein) โดยการสุ่มเก็บในช่วง 2 วันสุดท้ายของการทดลองของแต่ละช่วงการทดลอง เช่นเดียวกันกับการสุ่มเก็บของเหลวจากกระเพาะหมัก โดยสุ่มเก็บในชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 หลังจากการให้อาหาร เก็บประมาณ 3-5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่มีเฮพพารีน (heparinized) เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด หลังจากนั้นนำไปเหวี่ยงใสที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที เก็บเฉพาะส่วนของเหลวใส (plasma) เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาค่ายูเรียในกระแสเลือด (blood urea nitrogen, BUN) ตามวิธีการของ Helmut and Yvette (1959)

## 5.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) ตามแผนการทดลอง 4x4 Latin square design โดยใช้ Proc GLM (SAS, 1998) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีของ Steel and Torrie (1980) โดยมีโมเดลของการวิเคราะห์ ดังนี้

$$Yijk = \mu + \rho i + \gamma j + \tau k + \varepsilon ijk$$

เมื่อ Yijk = ค่าสังเกตจากแถวที่ i, คอลัมน์ที่ j, และทรีทเมนต์ที่ k

$\mu$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

$\rho i$ = อิทธิพลเนื่องจากแถว (row) ที่ i เมื่อ i = 1,…, r

$\gamma j$ = อิทธิพลเนื่องจากคอลัมน์ (column) ที่ j เมื่อ j = 1,…, c

$\tau k$ = อิทธิพลเนื่องจากทรีทเมนต์ (treatment) ที่ k เมื่อ k = 1,…, t

$\varepsilon ijk$ = error

## 5.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาคารเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 และ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 5.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึง 6 มกราคม พ.ศ. 2550 โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ช่วงของระยะการทดลองดังรายละเอียดต่อไปนี้

- ระยะปรับสัตว์ก่อนเข้างานทดลอง 14 วัน
- ระยะเวลาใช้เวลาช่วงละ 21 วัน รวม 84 วัน
- รวมระยะเวลาในการทดลอง 98 วัน

## 5.5 ผลการทดลอง

### 5.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารหยาบและอาหารข้น

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารหยาบและอาหารข้น ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.3 พบว่าฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบ มีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนหยาบ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด และลิกนิน มีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองเท่ากับ 64.8, 87.7, 7.3, 74.8, 50.5, และ 10.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

**ตารางที่ 5.3** องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลอง

| องค์ประกอบทางเคมี (%) | ทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง | | | | UTS |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 33.3% | 66.6% | 100% | |
| วัตถุแห้ง | 89.7 | 89.5 | 90.7 | 90.2 | 64.8 |
| อินทรียวัตถุ | 95.6 | 95.4 | 95.4 | 95.7 | 87.7 |
| โปรตีนหยาบ | 13.5 | 13.6 | 13.6 | 13.5 | 7.3 |
| ไขมัน | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.5 |
| NDF | 35.1 | 37.2 | 38.6 | 39.5 | 74.8 |
| ADF | 7.9 | 11.6 | 16.8 | 21.0 | 50.5 |
| ADL | 2.5 | 4.8 | 5.2 | 5.7 | 10.0 |
| NSC* | 56.4 | 52.9 | 52.6 | 52.0 | 5.0 |

UTS = urea treated rice straw, NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber, ADL = acid detergent lignin, NSC = nonstructural carbohydrate *estimated : NSC = 100-(CP+NDF+EE+Ash) (Nocek and Russell, 1988)

อาหารข้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มี 4 สูตร (ตารางที่ 5.2) โดยมีสัดส่วนการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังแตกต่างกัน คือ 0, 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (วัตถุดิบสองชนิดรวมกันเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร) พบว่า ในกลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 0 และ 33.3 เปอร์เซ็นต์ มีค่า DM ใกล้เคียงกัน คือ 89.7 และ 89.5 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่า DM ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน คือ 90.7 และ 90.2 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ได้แก่ OM และ CP ของในแต่ละกลุ่มการทดลองจะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน มีค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มเท่ากับ 95.5 และ 13.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบว่า เมื่อมีสัดส่วนการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้องค์ประกอบที่เยื่อใยเพิ่มสูงขึ้น ได้แก่ NDF (35.1, 37.2, 38.6 และ 39.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ), ADF (7.9, 11.6, 16.8 และ 21.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และ ADL (2.5, 4.8, 5.2 และ 5.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การประมาณพลังงานในอาหารทดลองและอาหารหยาบ (ตารางที่ 5.4) พบว่า พลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวม ($TDN_{1X}$) ของอาหารทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าเท่ากับ 71.49, 67.38, 66.71 และ 67.39 เปอร์เซ็นต์ พลังงานการย่อยได้ (DE) มีค่าเท่ากับ 3.16, 2.97, 2.95 และ 2.99 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง พลังงานใช้ประโยชน์ (ME) มีค่าเท่ากับ 2.59, 2.44, 2.42 และ 2.45 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง และพลังงานสุทธิ (NE) ซึ่งแยกเป็นพลังงานสุทธิสำหรับการดำรงชีพ ($NE_m$) มี

ค่าเท่ากับ 1.72, 1.58, 1.56 และ 1.69 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง และพลังงานสุทธิสำหรับการเจริญเติบโต ($NE_g$) มีค่าเท่ากับ 1.07, 0.93, 0.91 และ 0.94 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ส่วนอาหารหยาบ คือ ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ มี $TDN_{1X}$, DE, ME, $NE_m$ และ $NE_g$ เท่ากับ 40.80 เปอร์เซ็นต์,1.79, 1.47, 0.63 และ 0.10 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ

**ตารางที่ 5.4** การจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการ NRC (2001) ที่โคได้รับจากสูตรอาหารและฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์

| พลังงาน | ทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง | | | | UTS |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 33.3% | 66.6% | 100% | |
| $TDN_{1X}$ (%DM) | 71.49 | 67.38 | 66.71 | 67.39 | 40.80 |
| DE (Mcal/kgDM) | 3.16 | 2.97 | 2.95 | 2.99 | 1.79 |
| ME (Mcal/kgDM) | 2.59 | 2.44 | 2.42 | 2.45 | 1.47 |
| $NE_m$ (Mcal/kgDM) | 1.72 | 1.58 | 1.56 | 1.69 | 0.63 |
| $NE_g$ (Mcal/kgDM) | 1.07 | 0.93 | 0.91 | 0.94 | 0.10 |

NRC = Nutrient Requirements of Dairy Cattle, TDN = total digestible nutrient (%DM) at 1X maintenance, DE = digestible energy, ME = metabolizable energy, $NE_m$ = net energy for maintenance and $NE_g$ = net energy for growth

**5.5.2 ปริมาณการกินได้**

ปริมาณการกินได้อย่างอิสระของอาหารหยาบ ปริมาณการกินได้รวมทั้งหมดตามหน่วยของน้ำหนักตัวสัตว์ทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันหรือไม่มีผลกระทบอันเนื่องมาจากการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง

**5.5.2.1 ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ**

ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.5 พบว่า ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งต่อวัน (Dry matter intake; kg/d) ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อศึกษาปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน (%BW/d) และ ต่อน้ำหนักเมทาบอลิกต่อวัน ($g/kgBW^{0.75}/d$) พบว่า การกินได้ทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการทดแทนกากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร หรือเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร โดยทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง

เท่ากับ 3.1 กิโลกรัมต่อวัน ปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัวมีค่าเฉลี่ยเป็น 1.03 %BW/d และต่อน้ำหนักเมทาบอลิกมีค่าจากทุกกลุ่มเท่ากับ 43 g/kgBW$^{0.75}$/d

**ตารางที่ 5.5** ผลของการทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง ต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง

| ปริมาณการกินได้ | ทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง | | | | SEM | p-value | Contrast | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 33.3% | 66.6% | 100% | | | L | Q |
| การกินได้อาหารหยาบ/วัน | | | | | | | | |
| กิโลกรัม | 3.3 | 3.0 | 2.9 | 3.3 | 0.26 | 0.66 | 0.87 | 0.24 |
| %BW | 1.06 | 1.00 | 0.99 | 1.05 | 0.07 | 0.90 | 0.97 | 0.48 |
| g/kgBW$^{0.75}$ | 45 | 42 | 41 | 44 | 3.19 | 0.80 | 1.00 | 0.36 |
| การกินได้อาหารข้น/วัน | | | | | | | | |
| กิโลกรัม | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | - | - | - | - |
| %BW | 1.46 | 1.47 | 1.48 | 1.44 | 0.01 | 0.35 | 0.64 | 0.15 |
| g/kgBW$^{0.75}$ | 61 | 61 | 62 | 61 | 0.35 | 0.14 | 0.82 | 0.18 |
| ปริมาณการกินได้รวม/วัน | | | | | | | | |
| กิโลกรัม | 7.8 | 7.5 | 7.5 | 7.8 | 0.26 | 0.67 | 0.95 | 0.25 |
| %BW | 2.53 | 2.47 | 2.48 | 2.50 | 0.07 | 0.92 | 0.81 | 0.55 |
| g/kgBW$^{0.75}$ | 106 | 103 | 103 | 105 | 3.11 | 0.85 | 0.88 | 0.43 |

BW = body weight, BW$^{0.75}$ = metabolic body weight, SEM = standard error of mean, L = linear and Q = quadratic and

**5.5.2.2 ปริมาณการกินได้ของอาหารข้น**

เมื่อศึกษาปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน (%BW/d) และ ต่อน้ำหนักเมทาบอลิกต่อวัน (g/kgBW$^{0.75}$/d) พบว่า การกินได้ทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการทดแทนกากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร หรือเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร โดยทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้วัตถุแห้งเท่ากับ 4.5 กิโลกรัมต่อวัน ปริมาณการ

กินได้ต่อน้ำหนักตัวมีค่าเฉลี่ยเป็น 1.46 %BW/d และต่อน้ำหนักเมทาบอลิกมีค่าจากทุกกลุ่มเท่ากับ 61 g/kgBW$^{0.75}$/d

**5.5.2.3 ปริมาณการกินได้รวมทั้งหมดของวัตถุแห้ง**

ปริมาณการกินได้รวมทั้งหมดของวัตถุแห้งต่อวัน ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อศึกษาปริมาณการกินได้รวมทั้งหมดต่อน้ำหนักตัวต่อวัน (%BW/d) และ ต่อน้ำหนักเมทาบอลิกต่อวัน (g/kgBW$^{0.75}$/d) พบว่า การกินได้ทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการทดแทนกากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร หรือเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร โดยทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้รวมทั้งหมดของวัตถุแห้งเท่ากับ 8 กิโลกรัมต่อวัน ปริมาณการกินได้รวมทั้งหมดต่อน้ำหนักตัวมีค่าเฉลี่ยเป็น 3 %BW/d และต่อน้ำหนักเมทาบอลิกมีค่าเท่ากับ 105, 103, 103 และ 105 g/kgBW$^{0.75}$/d ตามลำดับ

**ตารางที่ 5.6** อัตราการเจริญเติบโต การเพิ่มของน้ำหนัก น้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองของโคที่ได้รับอาหารทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง

| น้ำหนัก | ทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง | | | | SEM | p-value | Contrast | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 33.3% | 66.6% | 100% | | | L | Q |
| น้ำหนักเริ่มต้น (กก.) | 300 | 297 | 299 | 296 | 2.32 | 0.58 | 0.35 | 1.00 |
| น้ำหนักสุดท้าย (กก.) | 312 | 314 | 311 | 313 | 2.10 | 0.74 | 0.88 | 1.00 |
| น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กก.) | 12 | 18 | 13 | 18 | 2.70 | 0.33 | 0.36 | 1.00 |
| การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (กรัม) | 600 | 900 | 600 | 900 | 0.13 | 0.32 | 0.35 | 0.92 |

SEM = standard error of mean, L = linear and Q = quadratic

**5.5.3 อัตราการเจริญเติบโต**

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวในโคที่นำมาใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 5.6) ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างกลุ่มทดลอง โดยพบว่า กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 33.3 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (final weight) และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (weight increase) สูงสุด (เท่ากับ 312, 314, 311 และ 313 กิโลกรัม) และน้ำหนัก

ตัวที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 12, 18, 13 และ 18 กิโลกรัมต่อระยะเวลาทดลอง 84 วัน ตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างกลุ่มทดลองเช่นเดียวกัน และกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 33.3 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุด (600, 900, 600 และ 900 กรัม)

**5.5.4 ค่าชีวเคมีในเลือดและนิเวศวิทยาภายในกระเพาะหมัก**

ค่าชีวเคมีในกระแสเลือดที่ทำการวิเคราะห์ศึกษา คือ ความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen; BUN)

**5.5.4.1 ความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในเลือด (BUN)**

ความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด ณ เวลาต่าง ๆ คือ 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังจากการให้อาหาร พบว่า ณ เวลาชั่วโมงที่ 0 และ 2 หลังการให้อาหาร ระดับความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือดอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันทุกกลุ่มการทดลอง และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดย ณ เวลาที่ 0 และ 2 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร มีค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มเท่ากับ 8.1 และ 9.5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วน ณ เวลาชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร พบว่า การทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลังที่ระดับ 33.3 และ 66.6 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร มีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีการทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลังที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร หรือไม่มีการทดแทนมันสำปะหลัง (ตารางที่ 5.6) แนวโน้มของระดับความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด ณ เวลาที่ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร มีค่าสูงสุด เมื่อทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลังที่ระดับ 66.6 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร และลดลงเมื่อทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลังที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.7, 13.0, 13.1 และ 12.4 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

นิเวศวิทยาภายในกระเพาะหมักที่ทำการวิเคราะห์ศึกษา คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), แอมโมเนียไนโตรเจน ($NH_3$-N) และกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acids; VFAs)

**5.5.4.2 ความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะหมัก (pH)**

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวภายในกระเพาะหมักหลังการให้อาหาร พบว่า ณ เวลาที่ 0 และ 2 ชั่วโมง ความเป็นกรด-ด่างระหว่างกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่มีกับไม่มีการทดแทนกากมันสำปะหลัง ในสูตรอาหาร หรือ ระหว่างกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังที่ 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของชั่วโมงที่ 0 หลังการให้อาหาร เท่ากับ 6.8, 6.6, 6.6 และ 6.7 ตามลำดับ (ณ เวลา 2 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร เท่ากับ 6.8, 6.6, 6.4 และ 6.7 ตามลำดับ) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง ณ เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร ระหว่างกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่มีกับไม่มีการทดแทนกากมันสำปะหลัง ในสูตร

อาหาร หรือ ระหว่างกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังที่ 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.6, 6.5, 6.4 และ 6.5 ตามลำดับ และมีแนวโน้มว่ากลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 66.6 เปอร์เซ็นต์ จะมีความเป็นกรด-ด่างที่เวลาต่าง ๆ ต่ำกว่าทุกกลุ่มทดลอง ($p=0.02$, 0.06 และ 0.02 ตามลำดับของชั่วโมงหลังการให้อาหาร) ดังแสดงในตารางที่ 5.7

**ตารางที่ 5.7** ค่า BUN, pH และปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนของโคที่ได้รับอาหารทดแทนมัน-สำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง ณ เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร

| | **ทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง** | | | | **SEM** | **p-value** | **Contrast** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0%** | **33.3%** | **66.6%** | **100%** | | | **L** | **Q** |
| BUN, mg% | | | | | | | | |
| 0 hr | 8.1 | 7.8 | 8.2 | 8.1 | 0.14 | 0.35 | 0.44 | 0.56 |
| 2 hr | 9.5 | 9.4 | 9.6 | 9.3 | 0.16 | 0.62 | 0.72 | 0.24 |
| 4 hr | 12.7$^{b}$ | 13.0$^{a}$ | 13.1$^{a}$ | 12.4$^{b}$ | 0.08 | 0.01 | 0.09 | 0.01 |
| pH | | | | | | | | |
| 0 hr | 6.8 | 6.6 | 6.6 | 6.7 | 0.05 | 0.09 | 0.42 | 0.02 |
| 2 hr | 6.8 | 6.6 | 6.4 | 6.7 | 0.12 | 0.16 | 0.25 | 0.06 |
| 4 hr | 6.6$^{a}$ | 6.5$^{a}$ | 6.4$^{b}$ | 6.5$^{a}$ | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| $NH_3$-N, mg% | | | | | | | | |
| 0 hr | 11.9 | 11.5 | 15.5 | 14.3 | 1.62 | 0.33 | 0.17 | 0.82 |
| 2 hr | 20.6 | 19.9 | 22.6 | 19.5 | 1.43 | 0.47 | 0.91 | 0.44 |
| 4 hr | 25.8 | 25.8 | 29.4 | 21.9 | 1.96 | 0.16 | 0.38 | 0.10 |

BUN = blood urea nitrogen, $NH_3$-N = ammonia nitrogen, L = linear, Q = quadratic and $^{a, b \text{ and } c}$ = significantly different ($p<0.05$) in row

**ตารางที่ 5.8** ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของโคที่ได้รับอาหารทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง ณ เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร

| | ทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง | | | | SEM | p-value | Contrast | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 33.3% | 66.6% | 100% | | | L | Q |
| Total VFA (m*M*/L) | | | | | | | | |
| 0 hr | 102.4 | 112.5 | 127.7 | 110.2 | 10.68 | 0.56 | 0.50 | 0.30 |
| 2 hr | 118.0 | 131.7 | 134.4 | 129.3 | 12.31 | 0.80 | 0.53 | 0.48 |
| 4 hr | 101.9 | 148.3 | 148.9 | 139.8 | 17.65 | 0.29 | 0.20 | 0.17 |
| Molar proportion of VFA (mol/100mol) | | | | | | | | |
| Acetic acid (C2) | | | | | | | | |
| 0 hr | 57.1 | 57.1 | 56.3 | 56.1 | 1.03 | 0.86 | 0.45 | 0.95 |
| 2 hr | 56.0 | 57.2 | 57.7 | 55.6 | 1.20 | 0.52 | 0.73 | 0.35 |
| 4 hr | 55.5 | 56.7 | 57.6 | 55.7 | 0.99 | 0.47 | 0.72 | 0.18 |
| Propionic acid (C3) | | | | | | | | |
| 0 hr | 25.0 | 25.6 | 26.8 | 25.6 | 1.12 | 0.71 | 0.57 | 0.44 |
| 2 hr | 24.8 | 27.0 | 27.7 | 25.4 | 0.82 | 0.14 | 0.48 | 0.03 |
| 4 hr | 25.0 | 27.5 | 27.8 | 26.3 | 1.29 | 0.47 | 0.49 | 0.17 |
| Butyric acid (C4) | | | | | | | | |
| 0 hr | 17.0 | 17.3 | 17.5 | 17.3 | 0.29 | 0.75 | 0.72 | 0.35 |
| 2 hr | 16.8 | 17.3 | 17.5 | 17.0 | 0.19 | 0.14 | 0.46 | 0.03 |
| 4 hr | 16.8 | 17.1 | 17.5 | 17.0 | 0.30 | 0.47 | 0.73 | 0.18 |
| C2 : C3 | | | | | | | | |
| 0 hr | 2.2 | 2.3 | 2.3 | 2.2 | 0.16 | 0.91 | 0.70 | 0.59 |
| 2 hr | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.1 | 0.09 | 0.17 | 0.62 | 0.04 |
| 4 hr | 2.0 | 2.2 | 2.3 | 2.1 | 0.15 | 0.50 | 0.53 | 0.23 |

L = linear, Q = quadratic and [a, b and c] = significantly different ($p<0.05$) in row

**5.5.4.3 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมัก ($NH_3$-N)**

ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมัก ณ เวลาต่าง ๆ คือ 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังจากการให้อาหาร พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่มีกับไม่มีการทดแทนกากมันสำปะหลัง ในสูตรอาหาร หรือ ระหว่างกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังที่ 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยของทุกกลุ่มตามเวลาหลังการให้อาหาร เท่ากับ 13.3, 20.7 และ 25.7 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ โดยกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 66.6 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมัก ณ เวลาต่าง ๆ สูงสุด (ตารางที่ 5.7)

**5.5.4.4 กรดไขมันระเหยได้ในของเหลวจากกระเพาะหมัก (volatile fatty acids; VFAs)**

ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ ณ เวลา ต่าง ๆ หลังการให้อาหาร พบว่า ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด กรดอะซีติก กรดโพรพิออนิก และกรดบิวทีริค ณ เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมง ระหว่างกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่มีกับไม่มีการทดแทนกากมันสำปะหลัง ในสูตรอาหาร หรือ ระหว่างกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังที่ 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของทุกกลุ่มตามเวลาหลังการให้อาหารของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด เท่ากับ 113.2, 128.4 และ 134.7 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร กรดอะซีติก เท่ากับ 57.0, 56.6 และ 56.4 mol/100mol, กรดโพรพิออนิก เท่ากับ 25.8, 26.2 และ 26.7 mol/100mol และ กรดบิวทีริค เท่ากับ 17.3, 17.2 และ 17.1 mol/100mol ส่วนสัดส่วนของ C2 : C3 ก็ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มตามเวลาหลังการให้อาหาร เท่ากับ 2.3, 2.2 และ 2.2 ตามลำดับ (ตารางที่ 5.8)

ณ เวลา 2 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร แนวโน้มกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังที่ 33.3 และ 66.6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริค และส่วนสัดส่วนของ C2 : C3 สูงกว่ากลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ($p=0.04$, 0.03 และ 0.04 ตามลำดับ

## 5.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

ฟางหมักยูเรียที่ใช้ในงานทดลองนี้ เป็นฟางที่หมักด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้ต่อเนื่องจากงานทดลองในบทที่ 4 จึงได้ค่าการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน คือ มี DM, OM, CP, EE, NDF, ADF, ADL และ Ash เท่ากับ 64.8, 87.7, 7.29, 0.5, 74.9, 50.5, 10.0 และ 12.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และผลของการเพิ่มระดับของกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง จาก 0, 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารข้น ไม่ทำให้ปริมาณของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีนหยาบ

ของแต่ละปัจจัยการทดลองเปลี่ยนแปลง แต่มีผลทำให้องค์ประกอบที่เป็นเยื่อใยเพิ่มขึ้น ตามองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังที่มีเยื่อใยในระดับสูงกว่ามันสำปะหลัง

ปริมาณการกินได้อิสระของอาหารหยาบ พบว่า การกินได้ของวัตถุแห้งของโคที่ได้รับปัจจัยการทดลองต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับ พีรพจน์ นิติพจน์ (2547) ที่ทำการทดลองในโคนมรุ่นลูกผสม โฮลสไตน์ฟรีเชียน โดยมีการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 0, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ และงานทดลองของ ปิตุนาถ หนูเสน (2547) รายงานว่า โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียนที่ได้รับอาหารข้นที่มีกากมันสำปะหลังอยู่ 35, 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ไม่มีผลต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง ซึ่งใช้หญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และน้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลองของโคที่ใช้ในการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง สอดคล้องกับ พีรพจน์ นิติพจน์ (2547) รายงานไว้ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโต และน้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลองของโคที่ได้รับอาหารข้นที่ไม่ทดแทนมันสำปะหลัง หรือทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกัน และการทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง 50 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มน้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นสูงกว่ากลุ่มที่มีการทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง 100 เปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และน้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลอง มีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้ของสัตว์ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ ปริมาณการกินได้ของสัตว์ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และน้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลอง ไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน

ส่วนผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมักในกระเพาะหมักนั้น พบว่า ค่าเป็นกรด-ด่าง (rumen pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก หลังการให้อาหาร ณ เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมง ระหว่างกลุ่มได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลัง หรือระหว่างกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าเป็นกรด-ด่าง แต่ละช่วงเวลาเท่ากับ 6.7, 6.6 และ 6.5 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ พีรพจน์ นิติพจน์ (2547) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ณ เวลาต่าง ๆ คือ 0, 3, 6 และ 9 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.08, 6.88, 6.81 และ 6.86 ตามลำดับ ระดับ pH ที่เหมาะสมในกระเพาะหมักอยู่ในช่วง 6.5-7.0 โดย rumen pH จะลดต่ำลงในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหารในกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 66.6 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันสำปะหลัง หรือระหว่างกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 33.3 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร จากการศึกษาของ

Bunting et al. (1989) พบว่า เมื่อระดับโปรตีนสูงขึ้นในสูตรอาหาร จะมีผลทำให้ค่า rumen pH ลดต่ำลงเนื่องจากเกิดกระบวนการหมักสูงสุดในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร และจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ที่เพิ่มสูงขึ้นในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหารเช่นเดียวกัน ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อ rumen pH ทำให้มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่า ณ ชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร จะมีผลผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะหมักเกิดอยู่ในปริมาณที่มากที่สุด

นอกจากนี้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก โดยเป็นแหล่งไนโตรเจนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกระเพาะหมัก จากการทดลองครั้งนี้ พบว่า ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก ณ เวลาต่าง ๆ คือ 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร ระหว่างกลุ่มได้รับอาหารข้นที่ไม่มีการทดแทนมันเส้น หรือระหว่างกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันเส้น 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย ณ เวลาต่าง ๆ คือ 13.3, 20.7 และ 25.7 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาของ พีรพจน์ นิติพจน์ (2547) รายงานว่า เวลาที่ใช้ในการย่อยเพิ่มมากขึ้น คือ ณ เวลา 3, 6 และ 9 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เช่นเดียวกัน ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนจะเพิ่มสูงขึ้นในชั่วโมงที่ 3 จากกระบวนการหมักที่เพิ่มสูงขึ้นภายหลังที่ได้รับอาหารข้น และจะลดลงในชั่วโมงที่ 6 จากการใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือด อย่างไรก็ตาม ได้มีการศึกษาความต้องการแอมโมเนียไนโตรเจน เพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดย Wallace (1979) พบว่า ระดับที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 9.7-21.4 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Wanapat and Pimpa (1999) รายงานไว้ว่าระดับที่เหมาะสมอยู่ที่ 17.6 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ระดับนี้จะส่งผลให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีนหยาบ ตลอดจนประชากรแบคทีเรียในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้น ระดับแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักที่เพิ่มขึ้นนี้ จะมีความสัมพันธ์กับระดับไนโตรเจนในกระแสเลือดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากแหล่งโปรตีนจากอาหารที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักในปริมาณที่ต่างกัน พบว่า ณ เวลาชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร การทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลังที่ระดับ 33.3 และ 66.6 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร มีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือดแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีการทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลังที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร หรือไม่มีการทดแทนมันสำปะหลัง ผลมาจากในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร มีปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักของกลุ่มที่มีการทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลังที่ระดับ 33.3 และ 66.6 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร สูงกว่ากลุ่มอื่น จึงทำให้มีระดับไนโตรเจนในกระแสเลือดที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ในขณะที่ พีรพจน์ นิติพจน์ รายงานว่า ความเข้มข้นของยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด ณ เวลา 0, 3, 6 และ 9 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร ของทุกกลุ่มการทดลองอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

($p>0.05$) โดย ณ เวลาต่าง ๆ มีค่าเฉลี่ยของทุกกลุ่มเท่ากับ 7.48, 11.13, 7.79 และ 6.58 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะมีค่าสูงสุดในชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหาร และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป หลังจากถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักแล้ว จะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นยูเรียที่ตับ เพื่อป้องกันความเป็นพิษของแอมโมเนีย จึงเห็นได้ว่าระดับแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก จะมีความสัมพันธ์กับระดับไนโตรเจนในกระแสเลือด

ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด รวมทั้งระดับของกรดอะซีติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริค และส่วนสัดส่วนของ C2 : C3 ก็ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) มีค่าเฉลี่ยของทุกกลุ่มตามเวลาหลังการให้อาหารของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด เท่ากับ 113.2, 128.4 และ 134.7 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าที่ พีรพจน์ นิติพจน์ (2547) ที่รายงานไว้ ณ เวลา 0, 3, 6 และ 9 ชั่วโมง หลังการให้อาหารข้นที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 0, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร โดยมีฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ มีค่าเท่ากับ 78.40, 97.37, 86.72 และ 86.75 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงกรดไขมันระเหยได้ที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซีติก (C2) กรดโพรพิออนิก (C3) และกรดบิวทีริค (C4) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับ ปิตุนาถ หนูเสน (2547) ได้ทำการศึกษาในโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียนที่ใช้กากมันสำปะหลังในอาหารข้น 3 ระดับ คือ 35, 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร โดยมีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ มีความเข้มข้นของกรดอะซีติกเท่ากับ 66.23, 65.92 และ 62.32 mol/100mol ตามลำดับ ความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิกเท่ากับ 22.54, 23.15 และ 27.28 mol/100mol ตามลำดับ และความเข้มข้นของกรดบิวทีริคเท่ากับ 11.03, 10.77 และ 10.17 mol/100mol ตามลำดับ จากการทดลองครั้งนี้มีความเข้มข้นของกรดอะซีติก ณ เวลาต่าง ๆ ในกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 0, 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร เท่ากับ 56.2, 57.0, 57.2 และ 55.8 mol/100mol ตามลำดับ ความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิกเท่ากับ 24.9, 26.7, 27.4 และ 25.8 mol/100mol ตามลำดับ และความเข้มข้นของกรดบิวทีริคเท่ากับ 16.9, 17.2, 17.5 และ 17.1 mol/100mol ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก จะมีความสัมพันธ์กับการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ส่วนสัดส่วนของ C2 : C3 เท่ากับ 2.1, 2.3, 2.3 และ 2.1 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกัน ขณะที่ ปิตุนาถ (2547) พบว่า การใช้กากมันสำปะหลังที่ 45 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ทำให้สัดส่วนของ C2 : C3 (2.29) แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) จากกลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลังในอาหารข้น 35 (2.94) และ 40 (2.86) เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร จากปริมาณของกรดอะซีติก กรดโพรพิออนิก และสัดส่วนของ C2 : C3 สามารถที่จะบ่งบอกถึงการเกิดโรค rumen acidosis ได้ จากการรายงานของ Hutjens (1996) พบว่า ในร่างกายโคที่ปรกตินั้นจะมีการผลิต C2 : C3 ใน

อัตราส่วนที่มากกว่า 2.2 : 1 แต่ผลิต C2 : C3 ในอัตราส่วนที่ต่ำกว่านี้จะส่งผลทำให้โคเกิดโรค rumen acidosis ได้

## 5.7 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่า การใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ตามลำดับ ไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย และกระบวนการหมัก ส่วนค่ายูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด พบว่า ณ เวลาชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหารข้น การใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 33.3 และ 66.6 เปอร์เซ็นต์ มีระดับยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่นิเวศวิทยาภายในกระเพาะหมัก ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแอมโมเนียไนโตรเจน ($NH_3$-N) พบว่า ณ เวลาชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหารข้น การใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 66.6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 33.3 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแอมโมเนียไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะหมัก ไม่มีผลกระทบจากการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลัง 33.3, 66.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กากมันสำปะหลังมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ในการผลิตสัตว์ และสามารถใช้ทดแทนมันสำปะหลังที่เป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นได้ในระดับสูง (100 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานการณ์ราคาของวัตถุดิบ ที่จะนำมาประกอบสูตรอาหารเลี้ยงสัตว์

## 5.8 รายการอ้างอิง


ปิตุนาถ หนูเสน. (2547). การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พีรพจน์ นิติพจน์. (2547). ผลการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารพลังงานทดแทนมันสำปะหลังเส้นในสูตรอาหารข้น ต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก ความสามารถในการย่อยได้ และการเจริญเติบโตในโคนมรุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.** กรุงเทพฯ: ฟันนี่พับบลิชชิ่ง.

AOAC. (1990). **Official Method of Analysis.** Washington. D.C.: Association of Official Analytical Chemists.

Bromner, J.M. and Keeney, P. (1965). Steam distillation methods of determination of ammonia nitrate and nitrate. **Anal.Chem. Acta.** 32: 363-367.

Bunting, L.D., Boling, J.A., Mackown, C.T. and Devenport, G.M. (1989). Effect of dietary protein level on nitrogen metabolism in the growing bovine : II. Diffusion into and Utilization of endogenous urea nitrogen in the rumen. **J. Anim. Sci**. 67: 820.

Goering, H.K. and Van Soest, P.J. (1970). **Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and some Application).** Agric. Handbook No. 379. Washington. D.C.:ARS, USDA.

Helmut, R. and Yvette, L. (1959). A simple Method for the determination of blood urea nitrogen, with special refernce to automatic Colorimetric Anlysis. Clinical Chemistry.

Hutjens, M.F. (1996). Rumen acidosis [On-line]. Available: http://dairynet.outreach.uiuc.edo

Nocek, J.E. and Russell, J.B. (1988). Protein and energy as an integrated system, Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. **J. Dairy Sci.** 71: 2070-2107.

SAS. (1998). User's Guide: Statistics (Version 7) [Computer software]. SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Steel, R.G.D. and Torrie J.H. (1980). **Principles and Procedure of Statistics.** New York: McGraw Hill Book Co.

Wallace, R.J. (1979). Effect of ammonia concentration on the composition, hydrolytic activity and nitrogen metabolism of the microbial flora of the rumen. **J. Appl. Bacteriol**. 47: 443.

Wanapat, M. and Pimpa, O. (1999). Effect of ruminal NH3-N levels on ruminal fermentation, purine derivatives, digestibility and rice straw intake in swamp buffaloes. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** 12: 904.

# บทที่ 6
# สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในการขุนโค-นมเพศผู้ลูกผสม โดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง การทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปด้วยมันสำปะหลังและยูเรียในระดับต่าง ๆ และการทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง มีระดับใกล้เคียงกัน แต่คุณสมบัติการย่อยสลายในกระเพาะหมัก และพลังงานของโภชนะย่อยได้ทั้งหมดของมันสำปะหลังสูงกว่ากากมันสำปะหลัง จึงทำให้มีการใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารของโคเป็นหลัก

การเลี้ยงโคอาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะอาหารข้นซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง จึงทำการทดลองศึกษาการใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปในระดับต่าง ๆ ของสูตรอาหารข้น ต่อสมรรถนะการผลิตของโคนมเพศผู้ลูกผสม ซึ่งในการทดลองในครั้งนี้พบว่า การใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปที่ระดับ 33.3 และ 66.6 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตของโค ในแง่เศรษฐกิจการใช้มันสำปะหลังในระดับที่สูงจะทำให้ต้นทุนของอาหารลดลง แต่การใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อสมรรถนะการผลิตของโคลดลง ดังนั้นการใช้มันสำปะหลังและยูเรียทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปที่ระดับ 66.6 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปในการเลี้ยงโค

ส่วนกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่น่าสนใจ เนื่องจากมันสำปะหลังมีแนวโน้มของราคาที่สูงขึ้น ได้พยายามนำกากมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้งมันมาใช้ทดแทน จึงมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มทางเลือกสำหรับเกษตรกร และเพิ่มคุณประโยชน์ของผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ในศึกษาการนำกากมันสำปะหลังทดแทนมันสำปะหลังในระดับต่าง ๆ พบว่า การทดแทนมันสำปะหลังด้วยกากมันสำปะหลัง สามารถที่จะใช้ทดแทนมันสำปะหลังในระดับสูงได้ (100 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานการณ์ราคาของวัตถุดิบ ที่จะนำมาประกอบสูตรอาหารเลี้ยงโค เนื่องจากกากมันสำปะหลังศักยภาพที่จะนำมาใช้ในการผลิตสัตว์ และสามารถใช้ทดแทนมันสำปะหลังที่เป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นได้

**ข้อเสนอแนะ**

การใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับสูง จะทำให้ลดความน่ากินของอาหารที่ประกอบขึ้นมา ดังนั้นจึงควรการเพิ่มความน่ากินของอาหารที่ประกอบขึ้นด้วย เช่น การใช้กากน้ำตาล หรือสารแต่งกลิ่นร่วมด้วย

การใช้กากมันสำปะหลังมาประกอบสูตรอาหารนั้น ควรพิจารณาถึงระดับของ ADL ในสูตรอาหารด้วย เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีระดับ ADL สูง ซึ่งจะทำให้การกินได้ของสัตว์ลดลง ส่งผลให้โคได้รับโภชนะอื่นไม่เพียงพอได้

กากมันสำปะหลังที่ได้มาจากลานตาก เพื่อให้กากมันสำปะหลังแห้งสนิท สิ่งที่ควรระวังในการนำมาใช้ คือ สิ่งแปลกปลอม เช่น ทราย จะส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมี (ค่า Ash สูง) เมื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้ควรตรวจสอบเกี่ยวกับเชื้อราถ้าการแตกกากมันสำปะหลังไม่แห้งสนิท จะทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อตัวสัตว์ได้

การใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในสูตรอาหาร ควรเพิ่มจำนวนครั้งในการวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียภายในกระเพาะหมัก ยูเรียในกระแสเลือด เพื่อสอดคล้องกับการแตกตัวของยูเรีย เช่น วัดในชั่วโมงที่ 1-3 หลังจากการให้อาหาร เป็นต้น

# ภาคผนวก

# การคำนวณพลังงานในอาหาร

## 1. การคำนวณพลังงานในอาหาร (NRC, 2001)

### 1.1. พลังงานของฟางหมักยูเรีย

**พลังงานจาก NFC**

Truly digestible NFC (tdNFC) = $0.98 (100-[NDF_N + CP + EE + Ash]) \times PAF$

= $0.98 (100-[72.03 + 7.29 + 0.52 + 12.32]) \times 1$

= 7.68%

หมายเหตุ; วัตถุดิบไม่ได้แสดงในตารางที่ 2.1 (หน้า 24) PAF เท่ากับ 1

**พลังงานจากโปรตีน**

Truly digestible CP for forages (tdCPf) = $CP \times \exp^{[-1.2 \times (ADICP/CP)]}$

= $7.29 \times \exp^{[-1.2 \times (1.19/7.29)]}$

= 5.99%

**พลังงานจากไขมัน**

Truly digestible FA (tdFA) = EE – 1.0

หรือ tdFA = FA (EE<1, FA = 0)

= 0%

**พลังงานจาก NDF**

Truly digestible NDF (tdNDF) = $0.75 \times (NDF_N – Lignin) [1 – (Lignin/NDF_N)^{0.667}]$

= $0.75 \times (72.03 – 9.95) [1 – (9.95/72.03)^{0.667}]$

= 34.13%

**พลังงานโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดของอาหาร (TDN)**

$TDN_{1X}$ (%) = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF – 7

= 7.68 + 5.99 + (0 x 2.25) + 34.13 - 7

= 40.80%

**การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance**

$DE_{1X}$ (Mcal/kg) = [(tdNFC/100) x 4.2] + [(tdNDF/100) x 4.2] +
[(tdCP/100) x 5.6] + [(tdFA/100) x 9.4] – 0.3

= [(7.68/100) x 4.2] + [(34.13/100) x 4.2] +
[(5.99/100) x 5.6] + [(0/100) x 9.4] – 0.3

= 1.79 Mcal/kg

**การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual intake (NRC, 1996)**

ME (Mcal/kg) = $0.82 \times DE_{1X}$

= 0.82 x 1.79

= 1.47 Mcal/kg

**การประมาณค่า NE ของอาหารสัตว์**

$NE_M$ (Mcal/kg) = $1.37ME - 0.138ME^2 + 0.0105ME^3 - 1.12$

= $1.37(1.47) - 0.138(1.47^2) + 0.0105(1.47^3) - 1.12$

= 0.63 Mcal/kg

$NE_G$ (Mcal/kg) = $1.42ME - 0.174ME^2 + 0.0122ME^3 - 1.65$

= $1.42(1.47) - 0.174(1.47^2) + 0.0122(1.47^3) - 1.65$

= 0.10 Mcal/kg

**1.2. พลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์ (มันสำปะหลัง)**

**พลังงานจาก NFC**

Truly digestible NFC (tdNFC) = $0.98 (100-[NDF_N + CP + EE + Ash]) \times PAF$

= 0.98 (100-[17.01 + 2.02 + 0.19 + 1.63]) x 1

= 77.57%

หมายเหตุ; วัตถุดิบไม่ได้แสดงในตารางที่ 2.1 (หน้า 24) PAF เท่ากับ 1

**พลังงานจากโปรตีน**

Truly digestible CP (tdCP) = [1-(0.4*(ADICP/CP))]*CP

= [1-(0.4*(1.44/2.02))]*2.02

= 1.45%

**พลังงานจากไขมัน**

Truly digestible FA (tdFA) = EE – 1.0

หรือ tdFA = FA (EE<1, FA = 0)

= 0%

**พลังงานจาก NDF**

Truly digestible NDF (tdNDF) = $0.75 \times (NDF_N - Lignin) [1 - (Lignin/NDF_N)^{0.667}]$

= $0.75 \times (17.01 - 1.64) [1 - (1.64/17.01)^{0.667}]$

= 9.10%

**พลังงานโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดของอาหาร (TDN)**

$TDN_{1X}$ (%) = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF – 7

= 77.57 + 1.45 + (0 x 2.25) + 9.10 - 7

= 81.12%

**การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance**

$DE_{1X}$ (Mcal/kg) = [(tdNFC/100) x 4.2] + [(tdNDF/100) x 4.2] +
[(tdCP/100) x 5.6] + [(tdFA/100) x 9.4] – 0.3
= [(77.57/100) x 4.2] + [(9.10/100) x 4.2] +
[(1.45/100) x 5.6] + [(0/100) x 9.4] – 0.3
= 3.24 Mcal/kg

**การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual intake (NRC, 1996)**

ME (Mcal/kg) = 0.82 x $DE_{1X}$
= 0.82 x 3.24
= 2.81 Mcal/kg

**การประมาณค่า NE ของอาหารสัตว์**

$NE_M$ (Mcal/kg) = $1.37ME – 0.138ME^2 + 0.0105ME^3 – 1.12$
= $1.37(2.81) – 0.138(2.81^2) + 0.0105(2.81^3) – 1.12$
= 1.53 Mcal/kg

$NE_G$ (Mcal/kg) = $1.42ME – 0.174ME^2 + 0.0122ME^3 – 1.65$
= $1.42(2.81) – 0.174(2.81^2) + 0.0122(2.81^3) – 1.65$
= 0.68 Mcal/kg

**1.3. พลังงานของอาหารข้น (อาหารควบคุม ในบทที่ 4)**

**พลังงานจาก NFC**

Truly digestible NFC (tdNFC) = 0.98 (100-[$NDF_N$ + CP + EE + Ash]) x PAF
= 0.98 (100-[18.35 + 13.76 + 4.61 + 6.12]) x 1
= 56.21%

หมายเหตุ; วัตถุดิบไม่ได้แสดงในตารางที่ 2.1 (หน้า 24) PAF เท่ากับ 1

**พลังงานจากโปรตีน**

Truly digestible CP (tdCP) = [1-(0.4*(ADICP/CP))]*CP
= [1-(0.4*(10.00/13.76))]*13.76
= 9.76%

**พลังงานจากไขมัน**

Truly digestible FA (tdFA) = EE – 1.0
หรือ tdFA = FA (EE<1, FA = 0)

= 3.61%

**พลังงานจาก NDF**

Truly digestible NDF (tdNDF) $= 0.75 \times (NDF_N - Lignin) [1 - (Lignin/NDF_N)^{0.667}]$

$= 0.75 \times (18.35 - 4.60) [1 - (4.60/18.35)^{0.667}]$

$= 6.09\%$

**พลังงานโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดของอาหาร (TDN)**

$TDN_{1X}$ (%) = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF – 7

= 56.21 + 9.76 + (3.61 x 2.25) + 6.09 - 7

= 73.19%

**การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance**

$DE_{1X}$ (Mcal/kg) = [(tdNFC/100) x 4.2] + [(tdNDF/100) x 4.2] + [(tdCP/100) x 5.6] + [(tdFA/100) x 9.4] – 0.3

= [(56.21/100) x 4.2] + [(6.09/100) x 4.2] + [(9.76/100) x 5.6] + [(3.61/100) x 9.4] – 0.3

= 3.20 Mcal/kg

**การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual intake (NRC, 1996)**

ME (Mcal/kg) = $0.82 \times DE_{1X}$

= 0.82 x 3.20

= 2.63 Mcal/kg

**การประมาณค่า NE ของอาหารสัตว์**

$NE_M$ (Mcal/kg) = $1.37ME - 0.138ME^2 + 0.0105ME^3 - 1.12$

= $1.37(2.63) - 0.138(2.63^2) + 0.0105(2.63^3) - 1.12$

= 1.75 Mcal/kg

$NE_G$ (Mcal/kg) = $1.42ME - 0.174ME^2 + 0.0122ME^3 - 1.65$

= $1.42(2.63) - 0.174(2.63^2) + 0.0122(2.63^3) - 1.65$

= 1.07 Mcal/kg

## 2. การคำนวณความต้องการพลังงานของโค (NRC, 1996)

โคนมลูกผสมเพศผู้มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 300 กิโลกรัม น้ำหนักสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย 332 กิโลกรัม มีอัตราเจริญเติบโตต่อวันเฉลี่ย (ADG) 0.5 กิโลกรัมต่อวัน

$NE_r$ = $NE_m + NE_g$

$NE_m$ = $0.077 \times SBW^{0.75}$

= $0.077 \times (300^{0.75})$

= 5.55 Mcal/day

$NE_g$ = RE

RE = $0.0635 \times EBW^{0.75} \times EBG^{1.097}$

EBW = $0.891 \times EQSBW$

EQSBW = $SBW \times (SRW/FSBW)$

= $300 \times (435/332)$

= 393.1 kg

หมายเหตุ; SRW = standard reference weight the expected final body fat (NRC, 1996)

EBW = $0.891 \times 393.1$

= 350.2 kg

EBG = $0.956 \times SWG$

SWG = $13.91 \times RE^{0.9116} \times EQSBW^{-0.6837}$

= $13.91 \times (2.28^{0.9116}) \times (393.1^{-0.6837})$

= 0.496 kg

หมายเหตุ; ค่า RE ใช้ ADG เปรียบเทียบกับตารางที่ 3-1 (NRC, 1996)

EBG = $0.956 \times 0.496$

= 0.475 kg

RE = $0.0635 \times (350.2^{0.75}) \times (0.475^{1.097})$

RE = 2.676 Mcal/day

$NE_g$ = 2.68 Mcal/day

$NE_r$ = $NE_m + NE_g$

= 5.55 + 2.68

= 8.23 Mcal/day

ดังนั้น โคนมลูกผสมเพศผู้จะมีความต้องการพลังงานในรูปพลังงานสุทธิทั้งหมดเท่ากับ 8.23 Mcal ต่อวัน

## 3. การคำนวณความต้องการโปรตีนของโค

โคนมลูกผสมเพศผู้มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 300 กิโลกรัม น้ำหนักสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย 332 กิโลกรัม มีอัตราเจริญเติบโตต่อวันเฉลี่ย (ADG) 0.5 กิโลกรัมต่อวัน

$MP_r = MP_m + MP_g$

$MP_m = MP_u + MP_{sh} + MP_{mfp}$

$MP_u = UPN/0.67$

$UPN = 2.75 \times (LW^{0.5})$

$= 2.75 \times (316^{0.5})$

$= 72.96$ g/day

หมายเหตุ; LW = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยรวมกับน้ำหนักสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย

$MP_{sh} = SPN/0.67$

$SPN = 0.2*(LW^{0.6})$

$= 0.2 \times (316^{0.6})$

$= 6.3$ g/day

$MP_{sh} = 6.3/0.67$

$= 9.44$ g/day

$MP_{mfp}$ = MFP - (bacteria + bacterialdebris in cecum, large interstine + keratinized cell + others)

MFP = 30 x DMI (kg)

$MP_{mfp}$ = (DMI (kg) x 30)-(0.5 x ((Bact MP/0.8) - Bact MP)) + (Endo MP/0.67)

Endo MP = 0.4 x 1.9 x DMI (kg)*6.25

= 0.4 x 1.9 x 9.6 x 6.25

= 45.66 g/day

Bact MP = 0.64 x MCP

MCP = 0.85 x $RDP_r$

$RDP_r$ = 0.15294 x TDN_Actual

TDN_Actual = DMI (kg) x %TDN x 1000

$RDP_r$ = 0.15294 x ((6.8 x 40.80 x 10) + (2.8 x 73.19 x 10))

= 737.3 g/day

MCP = 0.85 x 737.3

= 626.7 g/day

Bact MP = 0.64 x 626.7

= 401.1 g/day

$MP_{mfp}$ = (9.6 x 30)-(0.5 x ((401.1/0.8) - 401.1)) + (45.66/0.67)

= 306.4 g/day

$MP_m = MP_u + MP_{sh} + MP_{mfp}$

= 72.96 + 9.44 + 306.4

= 388.8 g/day

$MP_g = NP_g/0.492$

$NP_g$ = SWG x (268 - (29.4 x (RE/SWG))

= 0.496 x (268 – (29.4 x (2.28/0.496))

= 65.9 g/day

$MP_g$ = 65.9/0.492

= 134.1 g/day

$MP_r = MP_m + MP_g$

= 388.8 + 134.1

= 522.9 g/day

การคำนวณความต้องการโปรตีนในรูปของ $MP_r$ ไม่สะดวกในการจัดการด้านอาหาร จึงต้องแสดงในรูปของ $CP_r$ ฉะนั้นจึงต้องคำนวณจาก $MP_r$ เป็น $CP_r$

นั่นคือ $MP_r = MP_{RUP} + MP_{Bact} + MP_{Endo}$

$MP_{RUP} = MP_r – (MP_{Bact} + MP_{Endo})$

= 522.9 – (401.1 + 45.66)

= 76.17 g/day

$RUP_r = MP_{RUP}/0.528$

= 144.3 g/day

$CP_r = RDP_r + RUP_r$

= 737.3 + 144.3

= 881.6 g/day

ดังนั้น โคนมลูกผสมเพศผู้จะมีความต้องการโปรตีนในรูป CP ทั้งหมดเท่ากับ 881.6 กรัมต่อวัน

## 4. การคำนวณโปรตีนที่โคได้รับจากอาหาร

ในอาหาร $RDP_{sup}$ (ฟางหมักยูเรีย) = total DM fed x 1000 x CP x CP_RDP

= 313 g/day

$RDP_{sup}$ (อาหารควบคุม) = total DM fed x 1000 x CP x CP_RDP

= 242.4 g/day

$RDP_{sup}$ = $RDP_{sup}$ (ฟางหมักยูเรีย) + $RDP_{sup}$ (อาหารควบคุม)

= 313 + 242.4

= 555.4 g/day

CPtotal (ฟางหมักยูเรีย) = total DM fed x 1000 x CP

= 498.5 g/day

CPtotal (อาหารควบคุม) = total DM fed x 1000 x CP

= 381.8 g/day

CPtotal = CPtotal (ฟางหมักยูเรีย) + CPtotal (อาหารควบคุม)

= 498.5 + 381.8

= 880.3 g/day

ดังนั้น โคนมลูกผสมเพศผู้จะได้รับโปรตีนในรูป CP ทั้งหมดเท่ากับ 880.3 กรัมต่อวัน

# ประวัติผู้เขียน

นายไพบูลย์ แดงท่าขาม เกิดเมื่อวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2522 เริ่มศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่โรงเรียนชุมชนบ้านม่วงไข่ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 ถึงชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ที่โรงเรียนบำรุงพงศ์อุปถัมภ์ และชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่โรงเรียนคำสร้อยพิทยาสรรค์ อำเภอนิคมคำสร้อย จังหวัดมุกดาหาร ศึกษาต่อระดับอุดมศึกษาที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีเมื่อปี พ.ศ. 2547

ในปี พ.ศ. 2547 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี