



# วิทยานิพนธ์

ศึกษาการผลิตเส้นใยปาล์มน้ำมันหมักเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบ  
สำหรับแกะ

**STUDY ON THE ENSILING OF PALM PRESS FIBRE  
AS A ROUGHAGE OF SHEEP**

นางสาวอัญชลี โนมิตขจรเดช

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550





## ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

สัตวบาล

สัตวบาล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ศึกษาการผลิตเส้นใยปาล์มน้ำมันหมักเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับแกะ

Study on the Ensiling of Palm Press Fibre as a Roughage of Sheep

นามผู้วิจัย นางสาวอัญชลี โขมิตขจรเวช

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( รองศาสตราจารย์ดวงสมร สีนเจิมศิริ, วท.ม. )

กรรมการ

( รองศาสตราจารย์อุทัย คั่นโธ, วท.ม. )

กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมรรัตน์ พรหมบุญ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ศึกษาการผลิตเส้นใยปาล์มน้ำมันหมักเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับแกะ

Study on the Ensiling of Palm Press Fibre as a Roughage of Sheep

โดย

นางสาวอัญชลี โฉมิตขจรเดช

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2550

อัญชลี โหมยิตขจรเดช 2550: ศึกษาการผลิตเส้นใยปาล์มน้ำมันหมักเพื่อใช้เป็นอาหาร  
หยาบสำหรับแกะ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาสัตวบาล  
ภาควิชาสัตวบาล ปรชชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ดวงสมร สิ้นเจิมสิริ,  
วท.ม. 88 หน้า

ศึกษาการผลิตเส้นใยปาล์มน้ำมันหมักเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับแกะ โดยแบ่งการ  
ทดลองออกเป็นสองส่วน การทดลองที่หนึ่งศึกษาความแปรปรวนขององค์ประกอบทางโภชนะ  
ของเส้นใยปาล์มและองค์ประกอบทางโภชนะเมื่อนำมาผลิตเป็นพีชหมัก จากการทดลองไม่พบ  
ความแตกต่างของปริมาณอินทรีย์วัตถุ โปรตีนรวม ไขมันรวม เถ้า ปริมาณผนังเซลล์ ลิกโน  
เซลลูโลส ลิกนิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าศักยภาพการสลายตัวของวัตถุแห้งของเส้นใย  
ปาล์ม ( $p>0.05$ ) ในขณะที่ปริมาณวัตถุแห้ง เยื่อใยรวม และปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกกลับ  
มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) และเมื่อนำเส้นใยปาล์มมาผลิตเป็นพีชหมัก  
ร่วมกับกากน้ำตาล มันเส้น และยูเรียในอัตราส่วนต่างกัน พบว่าปริมาณผนังเซลล์และ  
ลิกโนเซลลูโลสลดลง ( $p<0.05$ ) นอกจากนั้นค่าศักยภาพการสลายตัวของวัตถุแห้งยังเพิ่มขึ้น  
( $p<0.05$ ) การทดลองที่สองศึกษาการกินได้ การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ของเส้นใยปาล์ม  
หมักในแกะ โดยคัดเลือกเส้นใยปาล์มหมักที่มีค่าศักยภาพการสลายตัวของวัตถุแห้งสูงสุดจำนวน  
สี่สูตรจากการทดลองที่หนึ่งมาใช้เปรียบเทียบกับหญ้าแพงโกล่าแห้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า  
การใช้เส้นใยปาล์มหมักทำให้สัตว์มีน้ำหนักตัวลดลง ( $p<0.05$ ) ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับหญ้าแพงโกล่า  
แห้งมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นและมีความเข้มข้นของกรดอะซิติกในน้ำจากกระเพาะรูเมนมากกว่า  
กลุ่มที่เลี้ยงด้วยเส้นใยปาล์มหมัก ( $p<0.05$ ) และไม่พบความแตกต่างของกรดโพรพิโอนิกระหว่าง  
กลุ่มทดลอง ( $p>0.05$ ) นอกจากนั้นแกะที่ได้รับหญ้าแพงโกล่าแห้งมีปริมาณกรดบิวทีริกใน  
กระเพาะรูเมนต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับเส้นใยปาล์มหมัก ( $p<0.05$ ) ดังนั้นแล้วหากพิจารณาในด้านความ  
เป็นไปได้ในการใช้เส้นใยปาล์มเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์กระเพาะรวม พบว่าเส้นใย  
ปาล์มมีองค์ประกอบทางโภชนะที่มีศักยภาพนำไปใช้ประโยชน์ได้ อย่างไรก็ตามควรนำเส้นใย  
ปาล์มมาปรับปรุงคุณภาพโดยการผลิตเป็นพีชหมักเพื่อเพิ่มค่าการย่อยได้ และควรใช้ร่วมกับพืช  
อาหารสัตว์ชนิดอื่นเพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสมรรถภาพการผลิตของสัตว์

Anchalee Kositkajorndet 2007: Study on the Ensiling of Palm Press Fibre as a Roughage of Sheep. Master of Science (Agriculture), Major Field: Animal Science, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Associate Professor Duangsmorn Sinchermsiri, M.S. 88 pages.

Study on the ensiling of palm press fibre (PPF) as a roughage of sheep. There are two experiments. The first experimental was conducted to determined variability of nutrients content in PPF and nutritional change when ensilaged. The result showed, the variability of PPFs did not significantly influence to organic matter, crude protein, crude fat, ash, NDF, ADF, lignin, pH and potential degradability ( $p>0.05$ ). However, there were significantly difference between dry matter, crude fiber and nitrogen free extract ( $p<0.05$ ) and ensiling of PPF with variation ratio of molasses, cassava chip and urea caused to decrease NDF and ADF ( $p<0.05$ ). Additionally, potential degradability was increased when ensilaged ( $p<0.05$ ). The second experiment was conducted to study of voluntary intake, digestibility and utilization of ensilaged PPF in sheep. There were four of ensilaged PPFs those selected from the first experiment, which highest potential degradability, were compared with Pangola hay. The experiment showed, ensilaged PPFs caused to decrease body weight when fed to sheep ( $p<0.05$ ), while those sheep which fed Pangola hay caused to increase body weight and acetic acid concentration in ruminal fluid was increased ( $p<0.05$ ) and dietary treatment did not effect to propionic acid concentration ( $p>0.05$ ). Moreover, Pangola hay caused to increase butyric acid concentration in ruminal fluid than those ( $p<0.05$ ). It can be concluded, PPF be able to use as ruminant roughage with contained utilizable nutrients. However, using of PPF be required to ensilage therefore increased digestibility and should be used with other forage to reduce the risk to production performance of animals.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดวงสมร สินเจิมสิริ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้ให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษาแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ อุทัย คันโธ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พรหมบุญ กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ และ ศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ ทัดศรี ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ โครงการวิจัยพืชอาหารสัตว์เพื่อสนับสนุนการเลี้ยงสัตว์เพื่อผลิตอาหารฮาลาล ในภาคใต้ของประเทศไทยที่ได้มอบเงินทุนวิจัยเริ่มต้น และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้สนับสนุนงบประมาณสมทบเพื่อการวิจัยครั้งนี้ด้วย “ทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา” ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตนม และศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก สถาบันสุวรรณวจากกลกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้ให้การสนับสนุนสัตว์เพื่อใช้ในการทดลอง และสถานที่ทำงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่และพนักงานทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในระหว่างดำเนินการทดลอง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ที่ได้ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ในทุกด้าน ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้การอบรมสั่งสอนจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นิสิตปริญญาตรี โทและเอก ภาควิชาสัตวบาลทุกท่านที่ได้ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อัญชลี โหมยิตขจรเดช

มีนาคม 2550

## สารบัญ

### หน้า

สารบัญ.....	(1)
สารบัญตาราง.....	(2)
สารบัญภาพ.....	(4)
คำนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
การตรวจเอกสาร.....	3
อุปกรณ์และวิธีการ.....	32
อุปกรณ์.....	32
วิธีการ.....	36
ผลและวิจารณ์.....	45
สรุปและข้อเสนอแนะ.....	75
เอกสารและสิ่งอ้างอิง.....	77

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางอาหารและการย่อยได้ของส่วนต่าง ๆ ของปาล์มน้ำมัน.....	15
2	มาตรฐานและคุณค่าทางอาหารของมันเส้นและมันอัดเม็ดในประเทศไทย.....	26
3	สูตรอาหารชั้นที่ใช้เลี้ยงโคในการทดลองที่ 1.....	34
4	สูตรอาหารชั้นที่ใช้เลี้ยงแกะในการทดลองที่ 2 .....	34
5	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผลิตพืชหมักในการทดลองที่ 1.2 .....	35
6	องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มน้ำมันจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Proximate analysis .....	46
7	องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มน้ำมันจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Detergent method และค่าการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้ง	47
8	องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มน้ำมันหมัก19กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Proximate analysis .....	50
9	องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มน้ำมันหมัก19กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Detergent method .....	53
10	องค์ประกอบทางโภชนาที่ได้จากการวิเคราะห์ ของอาหารที่สัตว์กินระหว่างทดลอง .....	59

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	น้ำหนักตัวแกะเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองที่ 2 และปริมาณการกิน.....	60
12	ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารทดลอง.....	62
13	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนภายหลังการกินอาหารทดลอง 5 กลุ่มที่เวลาต่างกัน.....	64
14	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมนภายหลังการ กิน อาหารทดลอง 5 กลุ่มที่เวลาต่างกัน (มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์).....	66
15	ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดอะซิติกภายในกระเพาะรูเมนภายหลังการกินอาหารทดลอง 5 กลุ่มที่เวลาต่างกัน (มิลลิโมลต่อลิตร) .....	70
16	ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดโพรพิโอนิกภายในกระเพาะรูเมนภายหลังการกินอาหาร ทดลอง 5 กลุ่มที่เวลาต่างกัน (มิลลิโมลต่อลิตร) .....	71
17	ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดบิวทิริกภายในกระเพาะรูเมนภายหลังการกินอาหารทดลอง 5 กลุ่มที่เวลาต่างกัน (มิลลิโมลต่อลิตร) .....	72
18	ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดภายในกระเพาะรูเมนภายหลังการกิน อาหารทดลอง 5 กลุ่มที่เวลาต่างกัน (มิลลิโมลต่อลิตร) .....	74

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของสวนปาล์มน้ำมัน (A) ลักษณะของทะเลสาบผลปาล์มดิบ (B) ทะเลสาบของผลปาล์มสุกที่ถูกเก็บเกี่ยวก่อนส่งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (C) และเปรียบเทียบลักษณะเมล็ดปาล์มสุกที่มีคุณภาพพันธุ์เทเนอราซึ่งมีส่วน pericarp หนา กับพันธุ์ฟิลิเฟอร์ราซึ่งมีขนาดเล็กกว่า (D) .....	5
2	แผนภาพแสดงกระบวนการกลั่นน้ำมัน .....	8
3	กระบวนการกลั่นน้ำมัน .....	9

## ศึกษาการผลิตเส้นใยปาล์มน้ำมันหมักเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับแกะ

### Study on the Ensiling of Palm Press Fibre as a Roughage of Sheep

#### คำนำ

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ดังจะเห็นได้จากปัจจุบันมีการเร่งส่งเสริมเกษตรกรให้มีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน โดยภาครัฐมีการส่งเสริมและนำเข้าพันธุ์ปาล์มคุณภาพดีเพื่อมาปรับปรุงพันธุ์ที่มีอยู่เดิมให้ได้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น ทำให้มีผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปาล์มออกมามาก นอกจากนั้นยังได้มีผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันออกมามากด้วย เช่น กากเมล็ดในปาล์ม กากตะกอนปาล์ม เส้นใยปาล์ม ทะลาย กะลา เป็นต้น ซึ่งแต่เดิมเศษเหลือเหล่านี้มักถูกนำไปเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานแก่โรงงานสกัดน้ำมัน แต่ก็ยังคงมีส่วนเกินที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์เหลืออยู่ ดังนั้นจึงมีการนำเศษเหลือเหล่านี้ไปประโยชน์ด้านอื่น ๆ การเกษตรเลี้ยงสัตว์ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ถูกนำมาพิจารณาแก้ปัญหาด้วย ดังจะเห็นได้จากประเทศที่มีการปลูกปาล์มน้ำมันจำนวนมากเช่นมาเลเซียได้มีการนำเศษทางใบปาล์มสดไปใช้เลี้ยงโค นอกจากนี้ยังมีการใช้กากตะกอนปาล์มเสริมในอาหารชั้นเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนแก่โคนมอีกด้วย

หากพิจารณาในประเทศไทยเองพบว่าในภาคใต้มีการปลูกปาล์มน้ำมันจำนวนมาก อีกทั้งในหลายพื้นที่มีการเลี้ยงโคเนื้อ-โคนมมากด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากมีการศึกษานำเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมาใช้เลี้ยงสัตว์อย่างจริงจัง ก็น่าจะช่วยลดค่าอาหารสัตว์ลงได้ และยังช่วยในด้านการจัดการเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มอีกด้วย ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงเพื่อศึกษาหาแนวทางนำเส้นใยปาล์มที่ได้ไปใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางโภชนะและค่าการย่อยได้ของเส้นใยปาล์มน้ำมัน
2. เพื่อศึกษาความแปรปรวนขององค์ประกอบทางโภชนะและค่าการย่อยได้ของเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ได้จากแหล่งผลิตต่าง ๆ กัน
3. เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางโภชนะและค่าการย่อยได้ของเส้นใยปาล์มน้ำมันเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการผลิตเป็นฟิชหมัก
4. เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ทางโภชนะของเส้นใยปาล์มน้ำมันในแกะ

## การตรวจเอกสาร

### ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันมีถิ่นกำเนิดในแอฟริกา และนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยเป็นเวลานานแล้ว ตั้งแต่ปี 2472 โดย พระยาประดิพัทธ์ ภูบาล เป็นผู้นำเข้ามาเป็นครั้งแรก (ศักดิ์ศิลป์ และคณะ, 2541) โดยนำมาจากอินโดนีเซีย และมาเลเซีย แต่ปลูกเป็นไม้ประดับที่สถานีทดลองยาง คอหงษ์ จังหวัดสงขลา และสถานีกสิกรรมพริ้ว จังหวัดจันทบุรี ปาล์มน้ำมันได้รับการส่งเสริมปลูกเป็นรูปบริษัทเพื่อการค้าอย่างจริงจังในปี พ.ศ. 2511 ซึ่งขณะนั้นมีโครงการปลูกปาล์มน้ำมันอยู่ 2 โครงการ โดยมีสมาชิกจำนวน 1,645 ราย ปลูกรายละ 16 ไร่ คือ โครงการนิคมสร้างตนเองพัฒนาภาคใต้ จังหวัดสตูล เนื้อที่ปลูก 20,000 ไร่ และโครงการบริษัทอุตสาหกรรมน้ำมัน และสวนปาล์มจำกัด (สวนเจียรวานิช) ตำบลปลายพระยา อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ เนื้อที่ปลูก 20,000 ไร่ เช่นกัน ภายหลังได้รับความสำเร็จทั้งสองโครงการ จึงมีผู้สนใจและบริษัทปลูกปาล์มเกิดขึ้นมาก ทำให้การปลูกปาล์มในประเทศไทยได้ขยายไปอย่างรวดเร็ว

ศักดิ์ศิลป์ และคณะ (2541) รายงานว่าประวัติการพัฒนาการปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทยจากเริ่มต้นจนถึงปัจจุบันสามารถแยกระยะเวลาการพัฒนาเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกเป็นระยะการเริ่มต้นตั้งแต่ปี 2472 ถึงปี 2525 (53 ปี) เป็นช่วงระยะเวลาที่มีการขยายพื้นที่ค่อนข้างช้า ระยะที่สองจากปี 2525 ถึงปัจจุบัน เป็นระยะที่มีการพัฒนาการขยายพื้นที่ปลูกอย่างรวดเร็ว เฉลี่ยแล้วมีการเพิ่มพื้นที่ปลูกประมาณ 100,000 ไร่/ปี ณ ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันประมาณ 1,800,000 ไร่ ปัจจุบันผู้ประกอบการภายในประเทศในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมีจำนวนทั้งสิ้น 58 ราย แบ่งเป็นผู้ประกอบการขนาดใหญ่จำนวน 6 ราย ผู้ประกอบการขนาดกลางจำนวน 32 ราย และผู้ประกอบการขนาดเล็กจำนวน 20 ราย ส่วนผู้นำเข้าในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมีจำนวนทั้งสิ้น 5 ราย และผู้ส่งออกในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมีจำนวนทั้งสิ้น 24 ราย ในปี 2544 มีการกระจายพื้นที่ปลูกทั่วไปในทุกจังหวัดภาคใต้ และจังหวัดที่มีพื้นที่การปลูกมากที่สุดได้แก่ กระบี่ สุราษฎร์ธานี และชุมพร ปริมาณการผลิตจากพื้นที่ปลูกปาล์มรวมประมาณ 1,450,000 ไร่ เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณ 1,300,000 ไร่ ให้ผลผลิตโดยรวมในรูปของทะลายสดประมาณ 3 ล้านตันต่อปี ได้น้ำมันดิบรวม 4-5 แสนตันต่อปี น้ำมันปาล์มมีส่วนแบ่งในตลาดน้ำมันบริโภคประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันพืชทั้งหมด ประมาณการว่าประเทศไทยมีความต้องการบริโภคน้ำมันปาล์ม

ประมาณ 8-9 แสนตันต่อปี ในขณะที่ผลิตได้เพียง 5 แสนตันซึ่งไม่เพียงพอต่อการบริโภคภายในประเทศ ในบางปีจึงมีการนำเข้าเพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศ ปริมาณส่งออกไม่แน่นอนแล้วแต่ผลผลิตและราคา ประเทศผู้นำเข้าก็ไม่แน่นอนด้วยเหตุผลที่ไม่มีอุปทานที่จะสนองตอบตลาดได้สมำเสมอในเวลาที่ต้องการ

### ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm) จัดอยู่ในพืชตระกูลปาล์ม (*Palmae* หรือ *Recaceae*) โดยอยู่ใน sub-family เดียวกับมะพร้าว คือ *Cocoideae* สกุล *Elaeis* ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ *Elaeis guineensis* (african oil palm), *E. oleifera* (south american oil palm) และ *E. odora* (american oil palm) โดย *E. guineensis* เป็นปาล์มน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ นิยมปลูกเป็นการค้าเพราะให้ผลผลิตสูง ส่วนอีก 2 ชนิดไม่นิยมปลูกเพราะเจริญเติบโตช้า ให้ผลเล็กและน้ำมันที่ได้มีน้อย ปาล์มน้ำมันชอบอากาศในเขตร้อนฝนตกชุก การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันของโลกจึงจำกัดอยู่ในเขตที่ราบต่ำของภูมิภาคแถบเส้นศูนย์สูตรที่มีความชื้นสูง เป็นที่ราบใกล้ฝั่งทะเล เนื้อดินสมบูรณ์และลึก น้ำไม่ขังเช่นดินเหนียวปนทราย (Piggott, 1990) ปาล์มน้ำมันจึงสามารถปลูกได้ดีที่ภาคใต้ของประเทศไทย ปาล์มสามารถให้ผลผลิตน้ำมันได้สูงสุดหากพื้นที่ปลูกมีอุณหภูมิอากาศเหมาะสม โดยพบว่าพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ปลูกอยู่ในพื้นที่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 10 องศาเหนือ และเส้นละติจูดที่ 10 องศาใต้ (ศักดิ์ศิลป์ และคณะ, 2541)

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีลักษณะลำต้นเป็นต้นเดี่ยว ตั้งตรงรูปร่างทรงกระบอก มีเนื้อเยื่อเจริญเฉพาะปลายยอด ซึ่งใน 2-3 ปีแรกจะมีการเจริญเติบโตทางด้านกว้าง หลังจากนั้นจึงจะมีการเจริญทางด้านความสูงเรื่อยไปประมาณ 25-50 เซนติเมตรต่อปี ลำต้นมีข้อสั้น ๆ เป็นที่เกิดของใบต้นปาล์มที่เจริญเต็มที่จะมีทางใบ (frond) เกิดที่รอยยอด (crow) ประมาณ 40-50 ทาง ปาล์มน้ำมันสามารถให้ผลประมาณ 1,600 ผลต่อทะลาย ผลปาล์มเป็นแบบ drupe ประกอบด้วยเปลือกชั้นนอก (exocarp) เปลือกชั้นกลางหรือกาบ (mesocarp) ซึ่งเป็นส่วนที่มีน้ำมันอยู่ทั้งสองส่วนเรียกรวมกันว่า pericarp และมีชั้นในสุดเป็นกะลา (endocarp) ถัดจากนั้นเป็นส่วนของเมล็ดซึ่งประกอบด้วย เนื้อในเมล็ด (kernel หรือ endosperm) โดยเป็นส่วนที่มีน้ำมันอยู่เช่นกัน และคัพภะ (embryo) เปลือกชั้นนอก ชั้นกลาง และเมล็ดเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุดเพราะเป็นส่วนที่ให้น้ำมัน ผลของปาล์มน้ำมันโดยทั่วไปเมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีน้ำตาลดำ เมื่อสุกจะมีสีแดงเนื่องจากมีคาโรทีนอยด์ (carotenoid) อยู่ใน pericarp ส่วนที่โคนผลจะไม่มีสี น้ำมันที่สกัดออกมาจะมีสี

เนื่องจากมีคาร์บอนไดออกไซด์ปนออกมา ในกระบวนการผลิตจึงต้องมีขั้นตอนการฟอกสีด้วย ผลปาล์มที่ผสมติดจะใช้เวลาประมาณ 5 เดือนครึ่ง ถึง 6 เดือนผลจึงแก่จัดและเริ่มสุก อย่างไรก็ตามเวลาในการสุกอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้นปาล์มและสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ เช่นถ้าฝนตกติดต่อกันเป็นเวลานาน ผลปาล์มก็จะสุกเร็ว แต่ถ้าฝนตกชุกหรือน้อยเกินไป ผลปาล์มจะสุกช้าไปได้เช่นกัน น้ำมันปาล์ม (palm oil) ที่ต้องการจะอยู่ในส่วนของเปลือกผล (mesocarp) กับอีกส่วนหนึ่งได้จากเนื้อในกะลา (kernel) ซึ่งเรียกว่าน้ำมันจากเนื้อใน (palm kernel oil) (Piggott, 1990)



(A)



(B)



(C)



(D)

ภาพที่ 1 ลักษณะของสวนปาล์มน้ำมัน (A) ลักษณะของทะลายผลปาล์มดิบ (B) ทะลายของผลปาล์มสุกที่ถูกเก็บเกี่ยวก่อนส่งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (C) และเปรียบเทียบลักษณะเมล็ดปาล์มสุกที่มีคุณภาพ พันธุ์เทเนอราซึ่งมีส่วน pericarp หนา กับพันธุ์ฟิลิเฟอร์ราซึ่งมีขนาดเล็กกว่า (D)

ที่มา: Piggott (1990)

Vaughan (1970) รายงานว่าปฏิกิริยาทางชีวเคมีในช่วงปาล์มน้ำมันแก่จัดช่วงนี้จะมีคาร์โบไฮเดรตในส่วนของเปลือกสูง จากนั้นจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นไตรกลีเซอไรด์ ในขณะที่ผลปาล์มเริ่มสุก สีของผลจะเปลี่ยนจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดง ในช่วงนี้จะมีเอนไซม์ไลเปส (lipase) ทำการสลายไตรกลีเซอไรด์ให้กลายเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) กับกลีเซอรอล (glycerol) เมื่อผลปาล์มเริ่มสุกใหม่ ๆ กรดไขมันอิสระจะมีในปริมาณน้อย แต่ถ้าผลปาล์มน้ำมันเกิดบาดแผลจากการตกกระแทกในระหว่างการตัดและขนส่ง กรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว กรดไขมันอิสระที่พบในส่วนของเปลือกปาล์มมีหลายชนิด เช่น Linoleic acid, Myristic acid, Oleic acid, Palmitic acid และ Stearic acid เป็นต้น กรดไขมันแต่ละชนิดมีปริมาณมากน้อยไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามหากมีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นมากเท่าใดจะส่งผลให้คุณภาพของผลผลิตน้ำมันปาล์มต่ำลงตามไปด้วย

ปาล์มน้ำมันที่มีการปลูกในปัจจุบันมีด้วยกัน 3 สายพันธุ์ (ศักดิ์ศิลป์ และคณะ, 2541) ได้แก่

1. พันธุ์คูรา (Dura) ปาล์มน้ำมันคูราที่ตีพบในแถบตะวันออกไกล เรียกว่า Deli Dura ซึ่งให้น้ำมันต่อทะลายประมาณ 18–19.5 เปอร์เซ็นต์ กะลาขนาดปานกลาง 2–8 มิลลิเมตร หรือ 25–30 เปอร์เซ็นต์ มีเปลือกหนาระหว่างเนื้อมากที่มีน้ำมันและเนื้อในหนา ปัจจุบันมีการปลูกคูราเพื่อใช้เป็นแม่พันธุ์สำหรับผลิตลูกผสมเทนอรา

2. พันธุ์พิลีเฟอร์รา (Pisifera) เป็นพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง มีกะลาบางมาก เปลือกนอกหนากว่าพันธุ์คูรา (5–10 มิลลิเมตร) เมล็ดในเล็ก แต่มีข้อเสียคือ ขนาดของผลเล็ก ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน และให้ผลผลิตทะลายต่อต้นต่ำ ปัจจุบันใช้พันธุ์พิลีเฟอร์ราเป็นพันธุ์พ่อสำหรับผลิตพันธุ์ลูกผสม

3. พันธุ์เทนอรา (Tenera) เป็นพันธุ์ผสมระหว่าง คูรา (พันธุ์แม่) กับ พิลีเฟอร์รา (พันธุ์พ่อ) ทำให้ได้พันธุ์ที่มีเปลือกหนาเหมาะสำหรับอัดน้ำมัน มีกะลาบาง (0.5–4 มิลลิเมตร) ให้น้ำมันต่อทะลาย 22–25 เปอร์เซ็นต์ ออกทะลายคกกว่าพันธุ์คูรา ผลดิบจะมีสีม่วงดำและเมื่อสุกเปลือกผลจะมีสีส้มแดง เนื่องจากพันธุ์เทนอรามีคุณสมบัติที่ดีหลายประการจึงเป็นที่นิยมปลูกเพื่อการค้า

## การแปรรูปปาล์มน้ำมัน

การแปรรูปปาล์มน้ำมันมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การผลิตน้ำมันแบบแยกเปลือกและเมล็ดใน โดยไม่ใช้น้ำ การผลิตน้ำมันแบบแยกเปลือกและเมล็ดในโดยใช้น้ำ และการผลิตน้ำมันดิบแบบรวมเมล็ดใน แต่วิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือ การผลิตน้ำมันดิบแบบแยกเมล็ดออก อย่างไรก็ตามการแปรรูปผลปาล์มมีหลักการทำ 3 กระบวนการ (ศักดิ์ศิลป์ และคณะ, 2541) คือ

1. การบีบเอาน้ำมันจากส่วนเปลือกและส่วนเมล็ดในได้น้ำมันปาล์มดิบ
2. กระบวนการกลั่นใส่น้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์
3. นำน้ำมันที่ได้จากการกลั่นใสมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

ตัวอย่างขั้นตอนของกระบวนการผลิตน้ำมันที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเป็นแบบแยกเปลือกและเมล็ดในโดยใช้น้ำมีดังนี้ (บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด, 2546)

1. นำทะลายปาล์มสดซึ่งตัดจากต้นมาทำการอบทะลายปาล์มด้วยไอน้ำ โดยใช้หม้ออบ ความดันไอน้ำ ประมาณ 40-80 นาที่
2. นำเข้าเครื่องนวดเพื่อนวดผลปาล์มให้ออกจากทะลายปาล์ม
3. ผลปาล์มจะถูกส่งไปยังเครื่องย่อยคดเพื่อย่อยเปลือกออกจากเมล็ด ในขั้นตอนนี้จะได้เมล็ดใน กากเปลือกชั้นนอก และน้ำมันดิบ
4. เมล็ดในจะถูกส่งไปยังเครื่องตะแกรงเมล็ดเพื่อแยกส่วนของกะลาและเนื้อในออกจากกัน เนื้อในปาล์มจะถูกส่งไปยังเครื่องอบแห้งและส่งไปยังโรงกลั่นน้ำมันเมล็ดในต่อไป
5. น้ำมันดิบและเปลือกนอกที่มีน้ำมันจะถูกส่งไปยังเครื่องหีบน้ำมันแบบเกลียวอัด (screw press) หีบน้ำมันดิบออกจากเปลือก กากที่ได้จะถูกนำไปยังเตาเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับกะลา
6. น้ำมันดิบจะนำไปยังเครื่องกรองน้ำมันแบบเครื่องจักรองหลายชั้นเพื่อแยกน้ำมันออกจากสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่
7. น้ำมันดิบที่กรองได้จะถูกส่งไปทำความสะอาดโดยเครื่องฟอกเหวี่ยงความเร็วสูง แยกน้ำและสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันดิบ
8. จากนั้นน้ำมันดิบที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องกำจัดความชื้นเพื่อให้ความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด และบรรจุถังเก็บเพื่อรอจำหน่ายต่อไป



## ผลผลิตจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

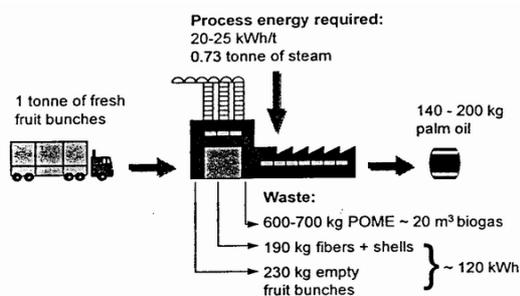
Piggott (1990) ได้สรุปว่าผลผลิตจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ

### 1. น้ำมันปาล์มดิบ

เป็นผลผลิตที่ได้โดยตรงจากการสกัดผลปาล์ม ซึ่งสามารถแบ่งน้ำมันออกได้เป็นสองส่วน คือ น้ำมันที่สกัดได้จากเปลือกนอกและน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม โดยน้ำมันทั้งสองส่วนจะมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน น้ำมันปาล์มทั่วไปได้จากส่วนเปลือกนอกของผลปาล์ม (palm oil) น้ำมันดิบที่ได้มีลักษณะเหลวและมีน้ำปนอยู่ โดยหลังจากนำไปกรองแยกสิ่งปนเปื้อนและนำออก น้ำมันปาล์มที่ได้จะมีสีแดงส้ม โดยเป็นส่วนของสารสีซึ่งประกอบด้วย คาโรทีน (carotene) ไลโคพีน (lycopine) และซินโทฟิล (xanthophyll) ส่วนเมล็ดในปาล์มจะมีน้ำมัน (palm kernel oil) ประมาณ 46-57 เปอร์เซ็นต์ การหีบน้ำมันเมล็ดในทำได้โดยหีบด้วยเครื่องอัดทรงสูง หรือสกัดด้วยตัวทำละลาย น้ำมันที่ได้แตกต่างจากน้ำมันเปลือกปาล์ม แต่มีคุณสมบัติและส่วนประกอบใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดในจะใสไม่มีสี หรืออาจมีสีเหลืองอ่อน

### 2. เศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบข้างต้นทำให้ได้เศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันหลายชนิด เช่น ทะลายเปล่า กะลา เส้นใย และกากเมล็ดในปาล์ม ผลพลอยได้เหล่านี้มักถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไอน้ำ และไฟฟ้า ใช้ในขบวนการสกัดน้ำมัน โดยเมื่อนำทะลายปาล์ม 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 20-25 kWh และใช้ไอน้ำอีก 0.73 ตัน เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มประมาณ 140-200 กิโลกรัม และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตเช่น เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม ประมาณ 190 กิโลกรัม และได้เป็นทะลายปาล์ม 230 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 120 kWh



ภาพที่ 3 กระบวนการกลั่นน้ำมัน

ที่มา: Piggott (1990)

## ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันกับการเลี้ยงสัตว์

เศษเหลือที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม นอกจากใช้เป็นเชื้อเพลิงแล้วยังสามารถนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์ได้อีกด้วย โดยโรงงานที่ผลิตน้ำมันจากผลปาล์มทั้งทะลายจะมีเศษเหลือออกมา คือ ทะลายปาล์มเปล่า กากเปลือกปาล์มหรือเส้นใยปาล์ม กากเมล็ดเนื้อในปาล์ม กากตะกอนปาล์ม ในขณะที่เศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันจากผลปาล์มร่วงจะได้กากปาล์มน้ำมัน ปริมาณวัสดุเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้แสดงดังภาพที่ 3

### 1. กากปาล์มน้ำมัน

กากปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Meal; POM) ได้จากการหีบผลปาล์มทั้งผลภายหลังการอบผลพลอยได้นี้มักได้มาจากโรงงานขนาดเล็กที่หีบสกัดน้ำมันโดยใช้เกลียวอัด (screw press) การหีบทำได้โดยการหมุนสกรูให้แผ่นกด กดลงบนเมล็ดปาล์มในกรอบส่วนของกากปาล์มน้ำมันประกอบด้วยส่วนของกะลา เส้นใย และกากเมล็ดเนื้อในปาล์มรวมกันการหีบน้ำมันปาล์มดิบวิธีนี้เหมาะกับเมล็ดปาล์มขนาดเล็กซึ่งมักเป็นผลที่ร่วงออกจากทะลาย กากปาล์มน้ำมันสามารถนำมาใช้เลี้ยงโค แพะ และแกะ สมพงษ์ (2526) รายงานว่ากากปาล์มทั้งผลมีโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และความชื้นคือ 7.08 6.91 30.51 และ 12.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนขี้โพดได้สูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารโครุ่นโดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตของโค และยังเป็น การช่วยลดต้นทุนค่าอาหารลงได้ด้วย Rengsirikul and Aai Nai (1991) ได้ทำการทดลองใช้กากปาล์มทั้งผลซึ่งมีโปรตีน 7.91 เปอร์เซ็นต์ในระดับ 0 15 30 และ 45 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารเลี้ยงแพะหลังหย่านมร่วมกับการใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย ปรากฏว่าเมื่อใช้กากปาล์มทั้งผลในระดับสูงขึ้นถึง 45 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้แพะมีการเจริญเติบโตลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ จารุรัตน์ (2528) กล่าวว่าโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังไม่สามารถแยกกะลาออกจากเมล็ดปาล์มได้หมดทำให้กากเมล็ดปาล์มที่ได้มีโปรตีนต่ำและเยื่อใยสูงควรนำไปใช้ผสมอาหารเลี้ยงโคนมจะทำให้ได้ไขมันสูงขึ้น แต่ถ้าจะใช้เป็นอาหารสัตว์กระเพาะเด็วก็ไม่ควรใช้เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร วินัย และคณะ (2526) ได้ทดลองใช้กากเมล็ดปาล์มซึ่งมีโปรตีน 10.8 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย 27.25 เปอร์เซ็นต์เป็นอาหารเลี้ยงไก่กระทง พบว่าสามารถใช้กากเมล็ดปาล์มได้ในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ในไก่เล็ก อายุ 0-4 สัปดาห์ และใช้ได้สูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ใหญ่ อายุ 4-8 สัปดาห์ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ Onwudile (1988) ที่รายงานว่าสามารถใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มเป็นอาหารไก่ไข่ได้ในระดับสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร

## 2. เส้นใยปาล์ม

เส้นใยปาล์ม (Palm Press Fibre; PPF) เป็นกากส่วน pericarp ของผลปาล์มน้ำมันภายหลังกระบวนการอบและอัดน้ำมันแล้ว ซึ่งมักได้จากโรงงานผลิตน้ำมันขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ น้ำมันปาล์มดิบจะถูกแยกออก ส่วนกากที่เหลือประกอบด้วยเส้นใยและเมล็ดในของผลปาล์มที่มีกะลาหุ้ม ซึ่งส่วนของเนื้อในเมล็ดสามารถนำไปสกัดน้ำมันออกได้อีกครั้ง เส้นใยจากเปลือกปาล์มที่ได้มีความฟ้าม (bulkiness) และมีคุณค่าทางโภชนาต่ำ โดยมากถูกนำมาใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์กระเพาะรวม แต่ทั้งนี้เส้นใยปาล์มมีข้อจำกัดในด้านระดับโปรตีน พลังงาน และการย่อยได้ต่ำ ดังนั้นในการใช้เส้นใยปาล์มเป็นอาหารสัตว์จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใย การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยปาล์มทางเคมีอาจใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ยูเรีย หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาของ *Jelan et al. (1986)* พบว่าการใช้เส้นใยปาล์มหมักด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 เปอร์เซ็นต์ เป็นอาหารกระบือจะช่วยเพิ่มการย่อยได้ของวัตถุแห้งจาก 43.3 เปอร์เซ็นต์เป็น 58.0 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การหมักเส้นใยปาล์มด้วยยูเรียและคลุกด้วยกากน้ำตาลจะช่วยเพิ่มปริมาณการกินของสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ เส้นใยปาล์มที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันสามารถนำไปทำให้แห้งและอัดเป็นเม็ดได้ เพื่อรักษาคุณภาพเส้นใยและลดความฟ้ามลงด้วย *Idris (1981)* ได้ศึกษาการใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันร่วมกับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันระดับต่าง ๆ คือ 15:35, 30:29 และ 45:23 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารชั้นตามลำดับเลี้ยงโคลูกผสม Red dane – Kedah Kelantan พบว่าเมื่อเพิ่มระดับของเส้นใยปาล์มน้ำมันทำให้เชื้อใยและแคลเซียมเพิ่มขึ้น แต่พลังงานทั้งหมดลดลง ทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำลง โคในกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีอัตราการเจริญเติบโต 470 กรัมต่อวัน สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารทดลองสูตรอื่น ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่ *Wong et al. (1988)* รายงานว่าโค Kedah Kelantan ที่ได้รับอาหารชั้นเสริมด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน 11.6 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน 25 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (volatile fatty acids, VFAs) ในกระเพาะรูเมนเฉลี่ย 81.8–94.3 มิลลิโมลต่อลิตร สัดส่วนกรดอะซิติก (acetic acid) : กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) : กรดบิวทีริก (butyric acid) เป็น 57.7 : 18.0 : 20.0 โมลาร์เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนของกรดโพรพิโอนิกจะลดต่ำลง เนื่องจากเส้นใยปาล์มน้ำมันย่อยได้ในกระเพาะรูเมนเพียง 11.7 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ทำให้จุลินทรีย์ผลิตกรดโพรพิโอนิกได้น้อยลง

### 3.กากเมล็ดเนื้อในปาล์ม

กากเมล็ดเนื้อในปาล์ม (Palm Kernel Cake; PKC หรือ Palm Kernel Meal; PKM) ผลพลอยได้ชนิดนี้ได้จากการนำเนื้อในของปาล์มน้ำมันที่อยู่ภายในกะลาไปสกัดน้ำมันออก กากเมล็ดในปาล์มหากเป็นแผ่นเรียก palm kernel cake หากเป็นผงเรียก palm kernel meal โภชนะที่เหลือในส่วนนี้มีสูงกว่าในเส้นใย โปรตีนรวมอยู่ในช่วง 7.7-18.7 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการสกัดน้ำมัน ปัญหาที่พบมากจากการใช้กากเมล็ดเนื้อในปาล์มเป็นอาหารสัตว์คือ กากส่วนนี้มีน้ำมันและทองแดง (copper) สูง บางครั้งมีน้ำมันสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการหินและสัตว์ปฏิเสธอาหารได้ สำหรับทองแดงหากมีสูงเกินไปในอาหารสัตว์จะมีความเป็นพิษได้ โดยเฉพาะในสัตว์กระเพาะรวมขนาดเล็ก เช่น แกะ (วรรณะ, 2536) โดยทั่วไปกากเมล็ดในปาล์มถูกนำมาใช้เป็นอาหารโค ซึ่งพบมากในการขุนโค นอกจากนี้พบว่าหากใช้เลียงโคนมจะช่วยให้ไขมันในน้ำนมสูงขึ้น กากเมล็ดในปาล์มที่ได้จากการสกัดน้ำมันแบบที่ใช้ตัวทำละลายจะมีความน่ากินต่ำ ดังนั้นในการให้สัตว์กินจึงต้องผสมกับวัตถุดิบตัวอื่นเพื่อช่วยเพิ่มความน่ากิน เช่น กากน้ำตาล Ahmad (1986) ได้รายงานไว้ในประเทศมาเลเซียสามารถใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม น้ำมันเป็นอาหารโครุ่นได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มน้ำหนักตัว 600–1,000 กรัมต่อวัน และมีปริมาณการกินอาหาร 4.8–6.0 กิโลกรัมต่อวัน ในขณะที่ Yosoff *et al.* (1985) รายงานว่าโคเนื้อลูกผสม Sahiwal–Friesian ที่ได้รับอาหารมีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบ มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัว 740–760 กรัมต่อวัน และยังพบว่าอาหารที่มียูเรีย มั่นเส้น และโภชนะย่อยได้รวม (Total Digestible Nutrient; TDN) สูง ทำให้โคมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวต่อวันใกล้เคียงกันกับอาหารที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันสูง (610 และ 510 กรัมต่อวัน) ซึ่งมี TDN ต่ำกว่า เช่นเดียวกับ Yosoff (1987) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของโคลูกผสม Sahiwal–Friesian โดยใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบในอาหารด้วยกัน 4 สูตรคือ 1.) กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม น้ำมัน 60 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับมันเส้น 30 เปอร์เซ็นต์ 2.) กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม น้ำมัน 80 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับมันเส้น 17 เปอร์เซ็นต์ 3.) กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม น้ำมัน 80 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกากน้ำตาล 17 เปอร์เซ็นต์ และ 4.) กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม น้ำมัน 98 เปอร์เซ็นต์ อาหารทั้ง 4 สูตรมี TDN ดังนี้ 72.0 69.0 69.0 และ 65.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าโคทุกกลุ่มมีน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 420–440 กรัมต่อตัวต่อวัน ( $p>0.05$ ) ปริมาณวัตถุดิบที่ได้รับต่อวัน 5.72–5.77 กิโลกรัม ( $p>0.05$ ) นอกจากนี้ Abdullah and Hutagalung (1988) พบว่าโค Kedah Kelantan ที่กินอาหารขึ้นเสริมกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม น้ำมัน 89 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดในกระเพาะรูเมน 78.8 มิลลิโมลต่อลิตร สัดส่วนของกรดอะซิติก : กรดโพรพิโอนิก : กรดบิวทีริก เป็น 53.2 : 26.2 : 10.3 โมลาร์เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ของเหลวในกระเพาะรูเมนเมื่อโคกินกากเนื้อ

ในเมล็ดปาล์มน้ำมันเป็นอาหารชั้นเสริมโดยทั่วไปจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 5.85–7.45 ขึ้นอยู่กับระดับของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในสูตรอาหาร (Abdullah *et al.*, 1986)

#### 4. กากตะกอนปาล์ม

กากตะกอนปาล์ม (Palm Oil Sludge; POS) เป็นของเสียที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ กากมีลักษณะเป็น emulsion คือมีส่วนกากของแข็ง น้ำเสีย และน้ำมันปนกัน กากตะกอนปาล์มไม่นิยมนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงดังเช่นเศษเหลือชนิดอื่นเนื่องจากมีค่า Biological Oxygen Demand (BOD) สูง การเผาจะทำให้เกิดควันมากและเกิดมลภาวะตามมาสูง Vaughan (1970) รายงานว่ากากส่วนนี้มีคาร์โบไฮเดรต 54 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม 20 เปอร์เซ็นต์ ไขมันรวม 12 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใยรวม 12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ดังนั้นการกำจัดกากส่วนนี้จึงนิยมนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์และทำเป็นปุ๋ยบำรุงดิน การนำกากส่วนนี้ไปใช้เป็นอาหารสัตว์พบว่าโคสามารถกินได้สูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ของอาหารที่ให้ แต่ปัญหาของการใช้เป็นอาหารสัตว์คือหากเก็บตะกอนปาล์มไว้นานเกินกว่า 36 ชั่วโมงจะทำให้ความน่ากินลดลงอย่างมากและสัตว์จะปฏิเสธอาหารได้ Hutagalung (2004) รายงานว่าในขั้นตอนการนำกากตะกอนปาล์มมาใช้เป็นอาหารสัตว์จึงมีอยู่หลายวิธีเพื่อแปรรูปให้สามารถเก็บได้นานขึ้น และเพิ่มความน่ากิน วิธีที่ใช้ได้แก่ การตากกากตะกอนให้แห้ง การกรอง การปั่นเหวี่ยงแยกกาก การย่อยสลายด้วยวิธีชีวภาพ และการใช้เป็นวัตถุดิบในการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ การตากกากตะกอนปาล์มเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายที่สุดและมีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่มีข้อเสียคือใช้พื้นที่มาก และถ้าตากไม่แห้งพออาจทำให้เกิดเชื้อราและการเน่าตามมา ส่วนการกรองแยกตะกอนกากปาล์มสามารถทำได้ไม่ยุ่งยากนัก โดยการใช้ผ้าฝ้ายบาง ๆ คลุมบนตะแกรงโลหะ แล้วจึงเทแยกน้ำเสียออกจากกากของแข็งได้ จากนั้นจึงนำมันเส้นหรือกากเมล็ดในปาล์มมาผสมเพื่อดูดซับน้ำ แล้วอบให้แห้งจะช่วยให้เก็บกากตะกอนปาล์มได้นานขึ้น สำหรับวิธีการปั่นเหวี่ยงแยกกากมีขั้นตอน คือ กากตะกอนปาล์มจะถูกแยกส่วนของเหลวและของแข็งออกจากกันโดยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง จากนั้นส่วนตะกอนของแข็งที่นอนก้นอยู่จะถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic fermentation) เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพโปรตีน จากนั้นตะกอนในส่วนที่หมักย่อยแล้วจะถูกนำไปผสมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่น เช่น มันเส้น แล้วทำให้แห้งใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป วิธีการย่อยสลายกากตะกอนปาล์มด้วยวิธีชีวภาพ (Biodegradation) เป็นการใช้อุณหภูมิที่จำเพาะบางชนิดทำการหมักเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม นอกจากนั้นยังช่วยลดค่า BOD ของน้ำล้างด้วยในขั้นตอนการหมักย่อยจะทำให้ได้กากส่วนที่เป็นของแข็งขึ้นมาเรียกว่า Prolima ซึ่งส่วนนี้แยกออกได้ด้วยการกรอง Prolima มีโปรตีนสูงถึง 35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์หาโภชนะและ

ความปลอดภัยเบื้องต้นในหนูและไก่พบว่า *Prolima* มีคุณค่าทางโภชนาสูงเทียบได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของกากถั่วเหลือง โดยไม่ปรากฏว่ามีสารก่อมะเร็งหรือสารพิษจากเชื้อราปนอยู่นอกจากตะกอนกากปาล์มจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์ได้แล้ว ยังพบว่าน้ำทิ้งที่แยกได้นั้นมีองค์ประกอบทางโภชนาสูงพอและเหมาะสมนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เพื่อผลิตโปรตีนจากสัตว์เซลล์เดียว (single cell protein) และใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย (*Chlorella sp.*) ซึ่งสาหร่ายกลุ่มนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งในคนและสัตว์ (Hutagalung, 2004)

### 5. ทางใบปาล์ม

การปลูกปาล์มน้ำมันจำเป็นต้องมีการตัดแต่งต้นปาล์มเพื่อให้ใบปาล์มไม่ออกหนาแน่นเกินไป เศษทางใบปาล์ม (Oil Palm Fronds; OPF) แต่เดิมถูกใช้เพื่อคลุมดินและทำเป็นปุ๋ย ต่อมา มีการนำมาใช้เป็นอาหารสำหรับโค การนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์จำเป็นต้องตัดให้มีขนาดเล็กลงในทางการค้ามีการนำทางใบปาล์มแปรรูปโดยการอัดเม็ด ขนาดที่เหมาะสมของทางใบปาล์มอัดเม็ด คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร และยาว 3-5 เซนติเมตร (Asada *et al.*, 1991) Hassan (1996) รายงานว่าทางใบปาล์มมีคุณค่าทางโภชนาต่ำ คือ มีโปรตีน 6.25 เปอร์เซ็นต์ แต่มีผนังเซลล์และลิกโนเซลลูโลสสูงคือ 67.6 และ 45.5 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังมีลิกนินสูงถึง 26.6 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการใช้อาหารของโคจะลดลงถ้าได้รับทางใบปาล์มมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบแห้ง ดังนั้นหากจะนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบควรมีการปรับปรุงคุณภาพให้สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น Khamseekhiew *et al.* (2002) ได้ศึกษาการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งอาหารหยาบในโค Kedah Kelantan โดยมีการเสริมถั่วลิสงเถา (*Arachis pintoi*) ในสัดส่วนทางใบปาล์มน้ำมัน : ถั่วลิสงเถา ต่าง ๆ กัน 4 ระดับคือ 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 พบว่าการเสริมถั่วลิสงเถาช่วยเพิ่มการย่อยได้ของวัตถุดิบแห้งและผนังเซลล์ของทางใบปาล์มน้ำมัน ( $p < 0.05$ ) ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้งหมดในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) ตามระดับของการเสริมถั่วลิสงเถาจาก 59.5 มิลลิโมลต่อลิตรเป็น 69.2 มิลลิโมลต่อลิตรในสูตร 80: 20 และ 50 : 50 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถั่วลิสงเถาสามารถใช้เสริมเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเพื่อช่วยในการย่อยเชื้อใยของทางใบปาล์มน้ำมันในโคได้ สอดคล้องกับ Preston and Leng (1987) ได้แนะนำว่าในอาหารหยาบคุณภาพต่ำควรมีการเสริมพืชตระกูลถั่วเพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบนั้นด้วย โดยอาจเสริมได้สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบแห้ง

### คุณค่าทางโภชนาของเส้นใยปาล์ม

กากปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้โดยทั่วไปแล้วจะมีอยู่หลายชนิดและมีคุณภาพแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการสกัดน้ำมัน อาทิ กากเส้นใยปาล์ม เป็นส่วนที่เหลือจากการอัดน้ำมันส่วนเปลือกผลปาล์ม กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม เป็นส่วนที่เหลือจากการสกัดน้ำมันส่วนเนื้อในเมล็ดปาล์ม กากปาล์มน้ำมัน เป็นส่วนที่เหลือจากการอัดน้ำมันจากผลปาล์มทั้งผลซึ่งกากชนิดนี้จะมีทั้งส่วนของเปลือก กะลา และเนื้อในเมล็ดปาล์มปนกันอยู่ (พานิช, 2527 และ จารุรัตน์, 2528) ดังเช่น วรรณะ (2536) พบว่าคุณค่าทางอาหารและการย่อยได้ของวัตถุแห้งมีความแตกต่างกัน ( $p < 0.01$ ) ในส่วนของผลปาล์มน้ำมัน เนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน เมล็ดปาล์มน้ำมัน กากเส้นใยปาล์มน้ำมัน และกะลาปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารและการย่อยได้ของส่วนต่าง ๆ ของปาล์มน้ำมัน

รายการ	วัตถุแห้ง	เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง					
		โปรตีน	NDF	ADF	ไขมัน	เถ้า	IVDMD
ผลปาล์ม	71.28±1.19 <sup>ก</sup>	3.34±0.20 <sup>ล</sup>	25.57±1.14 <sup>ล</sup>	19.52±1.27 <sup>ล</sup>	65.04±2.05 <sup>ก</sup>	1.57±0.09 <sup>ก</sup>	31.94±2.25 <sup>ก</sup>
เนื้อในเมล็ด	93.24±0.58 <sup>ก</sup>	7.34±0.38 <sup>ข</sup>	51.29±1.86 <sup>ก</sup>	37.03±1.75 <sup>ก</sup>	48.32±0.45 <sup>ข</sup>	2.11±0.18 <sup>ก</sup>	41.07±1.59 <sup>ข</sup>
กากเนื้อในเมล็ด	93.82±1.59 <sup>ก</sup>	12.28±0.73 <sup>ข</sup>	74.33±2.38 <sup>ข</sup>	52.78±3.44 <sup>ข</sup>	12.15±1.43 <sup>ล</sup>	3.27±0.32 <sup>ข</sup>	64.92±1.14 <sup>ก</sup>
เมล็ดปาล์ม	83.83±0.93 <sup>ข</sup>	5.73±0.22 <sup>ข</sup>	70.42±1.11 <sup>ข</sup>	52.54±1.93 <sup>ข</sup>	25.51±1.11 <sup>ก</sup>	1.85±0.05 <sup>ก</sup>	23.60±1.49 <sup>ล</sup>
กากเส้นใย	80.85±4.41 <sup>ข</sup>	7.08±0.54 <sup>กข</sup>	78.08±3.12 <sup>กข</sup>	60.10±1.13 <sup>ข</sup>	8.83±1.36 <sup>ล</sup>	6.82±0.67 <sup>ก</sup>	43.77±2.88 <sup>ข</sup>
กะลาปาล์ม	88.55±1.19 <sup>กข</sup>	2.99±0.23 <sup>ล</sup>	83.38±2.13 <sup>ก</sup>	70.91±2.35 <sup>ก</sup>	5.91±1.58 <sup>ล</sup>	1.68±0.18 <sup>ก</sup>	15.08±1.52 <sup>ล</sup>
เฉลี่ย	84.48±5.17	5.93±0.87	62.89±4.88	48.45±4.41	29.03±3.57	2.85±0.78	34.17±4.79

กขคจ อักษรกำกับตัวเลขที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.01$ )  
ที่มา: วรรณะ (2536)

จากตารางที่ 1 เส้นใยปาล์มน้ำมันมีปริมาณวัตถุแห้ง โปรตีน ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส เถ้า และไขมัน เฉลี่ย 80.85 7.08 78.08 60.10 6.82 และ 8.83 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับ Aznam (1982) ที่ได้รายงานไว้ว่าเส้นใยปาล์มน้ำมันมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า เฉลี่ย 9.30 8.78 และ 6.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เส้นใยปาล์มน้ำมันมีปริมาณเถ้าสูงกว่าส่วนอื่นของปาล์มน้ำมัน

( $p < 0.01$ ) แสดงให้เห็นว่าเส้นใยปาล์มน้ำมันมีปริมาณแร่ธาตุสูง ควรนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์แทนการนำไปทำเป็นเชื้อเพลิง ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของเส้นใยปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 43.77 เปอร์เซ็นต์ จุลินทรีย์ต้องการโปรตีนเพื่อใช้ในการเจริญทำให้การย่อยได้เป็นไปอย่างสมบูรณ์เต็มที่ แต่ไขมันเป็นตัวจำกัดการใช้ประโยชน์ของเยื่อใยจากการหมักย่อยของจุลินทรีย์ เส้นใยปาล์มน้ำมันมีปริมาณไขมันต่ำเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ๆ ของปาล์มน้ำมันทำให้มีค่าการย่อยได้สูงกว่าด้วย เส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มที่น่าจะนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบของสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นอย่างมากเพราะมีปริมาณ ผนังเซลล์และลิกโนเซลลูโลสสูง แต่ทั้งนี้ก็ยังถือว่าเส้นใยปาล์มมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งต่ำหากนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ ดังเช่น *Jelan et al.* (1986) รายงานว่าเส้นใยปาล์มมีค่าการสลายของวัตถุแห้งต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากเส้นใยปาล์มมีปริมาณลิกนินสูงโดยมีอยู่ถึง 21.3 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ *Obese* (2001) ซึ่งพบว่าเส้นใยปาล์มมีลิกนินถึง 21.9 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นหากจะนำเส้นใยปาล์มไปใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์ ควรทำการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยปาล์มให้มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น

### การปรับปรุงคุณภาพของอาหารหยาบคุณภาพต่ำ

การปรับปรุงคุณภาพของอาหารหยาบคุณภาพต่ำสามารถทำได้หลายวิธี ดังเช่น *เมธา* (2529) ได้แบ่งวิธีการปรับปรุงออกเป็น 4 วิธี คือ

1. วิธีกายภาพ (Physical treatment) เป็นวิธีที่เพิ่มการกินได้และค่าการย่อยได้ด้วยวิธีการ เช่น การแช่น้ำ การตัด การบด การอัดเม็ด การใช้ไอน้ำภายใต้สภาพความดัน และการใช้รังสีแกมมา เป็นต้น

2. วิธีทางเคมี (Chemical treatment) เป็นวิธีเพิ่มความสามารถในการละลายได้ของเยื่อใย (solubilization) หรือทำลายโครงสร้างลิกนินในส่วนของผนังเซลล์ สารเคมีที่นิยมใช้เช่น กรดกำมะถัน กรดเกลือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนีย ยูเรีย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซัลเฟอร์ไฮดรอกไซด์ หรือโอโซน เป็นต้น

3. วิธีทางชีวภาพ (Biological treatment) ซึ่งวิธีที่นิยมมากคือการหมัก (ensilage) ในสภาพไร้ออกซิเจนร่วมกับการเพิ่มคุณค่าทางอาหารโดยการเติม ยูเรีย แอมโมเนีย เชื้อรา หรือเอนไซม์เป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อทำให้เกิดการย่อยสลายส่วนผนังเซลล์พืช

4. วิธีทางกายภาพ-เคมี (Physical-chemical treatme) เป็นการใช้วิธีการโดยการบดหรือตัดเพื่อเพิ่มผิวสัมผัสก่อน จากนั้นจึงใช้สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยาซึ่งทำให้สารกระจายตัวได้ทั่วถึงมากขึ้น

## หญ้าหมัก

หญ้าหมักหรือพืชอาหารสัตว์หมัก (Silage) หมายถึง พืชอาหารสัตว์ต่าง ๆ เช่นต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง หญ้าและถั่วต่าง ๆ ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่มีความชื้นพอเหมาะนำมาหมักเก็บไว้ในสภาพสุญญากาศ เก็บถนอมไว้ในสภาพหมักดอง เมื่อพืชอาหารสัตว์สด ๆ เหล่านี้ได้เปลี่ยนสภาพเป็นหญ้าหมักแล้วจะสามารถอยู่ได้เป็นเวลานานและคุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลง โดยพืชอาหารสัตว์ที่นำมาใช้หมักจะต้องมีความชื้นสูงพอเหมาะ (McDonald *et al.*, 1991) กระบวนการหมักจะเกิดภายใต้สภาวะไร้อากาศโดยจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียกรดแลคติก ซึ่งสามารถใช้น้ำตาลในพืชได้ทำให้เกิดกรดแลคติกในปริมาณสูงเป็นผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ซึ่งจะไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของพืชหมัก (Brookes and Buckle, 1992) ลักษณะพืชหมักที่ดีควรมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.2 ปริมาณกรดแลคติก 3 – 13 เปอร์เซ็นต์ กรดบิวทีริกควรมีน้อยกว่า 0.2 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไม่เกิน 11 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (อำนาจ, 2540)

พืชที่เหมาะสมสำหรับนำมาทำพืชหมัก ควรมีการพิจารณาคูณสมบัติเบื้องต้นก่อน ซึ่งจะช่วยให้พืชหมักที่ได้เกิดกระบวนการหมักที่สมบูรณ์ รวดเร็ว และมีคุณภาพดี โดยพืชที่เหมาะสมนำไปใช้ผลิตเป็นพืชหมักควรมีลักษณะดังนี้

1. ต้องมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ในระดับที่เพียงพอต่อการหมัก Dougherty (1977) รายงานว่าถ้าพืชที่นำมาหมักมีระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบแห้งจะมีผลกระทบต่อการทำงานของเชื้อแบคทีเรีย “Lactobacilli” เนื่องจากถูกจำกัดโดยพลังงาน ถ้าคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบแห้ง อาจจะไม่สามารถทำหญ้าหมักได้ ซึ่งรายงานดังกล่าวสรุปว่าทุก 1 เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น จะเพิ่มกรดแลคติกประมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์
2. พืชนั้นต้องมีค่า buffering capacity ต่ำ หมายถึง ความต้านทานต่อการลดลงของความเป็นกรด-ด่างมีค่าน้อย ซึ่งจะช่วยให้พืชหมักเป็นกรดเร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียทั้งในด้านวัตถุดิบแห้งและคุณภาพเกิดขึ้นน้อย
3. เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบแห้งในพืชสดต้องมีมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์
4. ลักษณะทางกายภาพของพืชในด้าน โครงสร้างจะต้องเหมาะสมต่อการอัดแน่น

พืชหลายชนิดมีคุณสมบัติไม่ครบ เกษตรกรอาจต้องใช้กรรมวิธีบางอย่างเข้าช่วย เช่น ต้องลดความชื้นในพืชสดที่อบน้ำโดยการทำให้พืชเหี่ยวเฉาก่อนการหมัก การสับเป็นท่อนขนาดเล็ก หรือการใช้สารเสริม (Additives) ต่าง ๆ เข้าช่วย โดยสารเสริมที่ใส่เพิ่มจะสามารถชะงักขบวนการ anaerobic decomposition ในระหว่างการหมัก ซึ่งการใช้สารเสริมอาจไปชะงักการเจริญของเชื้อแบคทีเรียโดยตรง หรือโดยทางอ้อม โดยกระตุ้นให้เกิดการหมักดองตามธรรมชาติ (natural fermentation) เร็วขึ้น การใส่สารหรือวัตถุดิบใดเพื่อเพิ่มคุณภาพของพืชหมักหรือรักษาพืชหมักให้อยู่สภาพหมักดองเรียกว่า preservative ตัวอย่างกลุ่มสารเสริมที่นิยมใช้กัน ได้แก่ กากน้ำตาล กรดอินทรีย์ และเมล็ดธัญพืช เป็นต้น

พืชที่นำมาผลิตพืชหมักมีด้วยกันหลายชนิด แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลักคือ พืชตระกูลหญ้า พืชตระกูลถั่ว และธัญพืช ดังนั้นการเลือกนำพืชมาทำพืชหมักขึ้นยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่มีในท้องถิ่นนั้น ๆ และปริมาณในการเพาะปลูกของเกษตรกรอีกด้วย อำนาจ (2540) แนะนำว่า พืชที่ใช้หมักควรมีการตัดให้มีความยาวไม่เกิน 2.5 เซนติเมตร การทำให้ชื้นของพืชมีขนาดเล็กจะช่วยให้การอัดแน่นของพืช ทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศได้ดีขึ้น และยังเอื้ออำนวยต่อสภาวะการหมักด้วย โดยทำให้น้ำตาลที่มีอยู่ในพืชถูกปลดปล่อยออกมาได้เร็ว ส่งผลโดยตรงต่อการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติก ทำให้เกิดการหมักได้กรดแลคติกเร็วขึ้น อีกทั้งพืชที่มีขนาดเล็กจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการบรรจุด้วย เมื่อทำการตัดพืชให้มีขนาดเหมาะสมแล้ว นำมาบรรจุในภาชนะสำหรับการหมัก ทำการอัดให้แน่น ภาชนะที่ใช้หมักหรือหลุมหมักที่ดีควรจะสามารถป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปภายในได้ ป้องกันฝนและแสงแดด ภาชนะที่ใช้หมักมีอยู่หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการลงทุนของเกษตรกร สภาพภูมิอากาศ และปริมาณพืชที่ใช้หมัก รูปแบบของภาชนะที่ใช้หมักได้แก่ แบบหลุมลึก แบบหอคอย แบบหลุมลอย แบบกอง และแบบอัดในถุงพลาสติก (Cecava, 1995) สำหรับกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในพืชหมักสามารถแบ่งได้เป็น 4 ระยะดังนี้

**ระยะที่ 1** ระยะที่มีการใช้ออกซิเจนเมื่อเก็บพืชวัตถุดิบไว้ในภาชนะหมัก เอนไซม์จากพืชวัตถุดิบเช่น โปรติเอส (protease) และคาร์โบไฮเดรส (carbohydrase) ยังคงมีกิจกรรมอยู่ (Elferink *et al.*, 2000) ดังนั้นเซลล์พืชจะต้องใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมแทบอลิซึม โดยใช้คาร์โบไฮเดรสที่ละลายน้ำ และถ่ายเทคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อนออกมา ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับพืช เช่น แบคทีเรีย รา และยีสต์ ที่ต้องการอากาศในการเจริญจะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรสที่ละลายในน้ำให้เป็นกรดอินทรีย์ต่าง ๆ และเพิ่มจำนวนขึ้นจนกระทั่งอากาศถูกใช้

ไปหมด เป็นผลให้จุลินทรีย์ดังกล่าวไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้อีกและตายลง ระยะเวลาที่เกิดกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจนนี้ใช้ระยะเวลาประมาณ 4–5 ชั่วโมง (Cecava, 1995)

**ระยะที่ 2** **สภาวะการหมักที่ไม่มีออกซิเจน** ใช้ระยะหลายวันถึงหลายสัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ และสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการหมัก (Weinberg and Muck, 1996) กระบวนการที่เกิดขึ้นในระยะนี้เกิดจากแบคทีเรียกรดแลคติก โดยจะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำไปเป็นกรดแลคติกและกรดอื่นๆ ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงประมาณ 3.8–5.0 (Elferink *et al.*, 2000)

**ระยะที่ 3** **ระยะคงที่** การเปลี่ยนแปลงในระยะนี้เกิดขึ้นน้อยมาก สภาวะที่เกิดขึ้นในระยะนี้ยังคงเป็นแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Weinberg and Muck, 1996) แบคทีเรียส่วนใหญ่ที่พบในระยะที่ 2 จะลดปริมาณลงช้า ๆ กลุ่มแบคทีเรียทนกรดบางชนิดสามารถมีชีวิตรอดได้ แต่อยู่ในสภาวะที่ไม่มีกิจกรรม เช่น Clostridia และ Bacilli ที่มีชีวิตอยู่ในรูปสปอร์ (Elferink *et al.*, 2000) Clostridia เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่สามารถเจริญได้ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน สายพันธุ์ที่พบมากในพืชหมักได้แก่ *Clostridia butyricum*, *Clostridia sporogenes*, *Clostridia sphenoides* เป็นต้น แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเปลี่ยนกรดแลคติกไปเป็นกรดบิวทีริก ทำให้พืชหมักที่ได้มีกลิ่นเหม็นและเกิดการเน่าเสียได้ อย่างไรก็ตามการควบคุมการเจริญของพวก Clostridia สามารถทำได้โดยการควบคุมความชื้นของวัตถุดิบให้มีความชื้นไม่เกิน 70 เปอร์เซ็นต์ และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำกว่า 4.2 (McDonald *et al.*, 1991)

**ระยะที่ 4** **ระยะที่มีการเปิดใช้พืชหมัก** ระยะนี้เกิดขึ้นเมื่อพืชหมักสัมผัสกับอากาศในระหว่างการนำไปใช้ กระบวนการที่เกิดขึ้นในระยะนี้เรียกว่า การหมักครั้งที่ 2 (secondary fermentation) ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศในการเจริญจะเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วเป็นผลให้พืชหมักเกิดการเน่าเสีย (McDonald *et al.*, 1991) โดยเริ่มจากยีสต์และแบคทีเรียกรดอะซิติกจะใช้กรดอินทรีย์ที่มีในพืชหมักทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้น และสภาวะดังกล่าวยังเอื้ออำนวยต่อแบคทีเรียกลุ่ม Bacilli รา และ Enterobacteria ซึ่งเป็นสาเหตุของการเน่าเสียในพืชหมัก (Elferink *et al.*, 2000) ทำให้พืชหมักที่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี เนื้อสัมผัส ส่งผลให้การกินได้ของสัตว์ลดลง อีกทั้งเชื้อราที่พบในพืชหมักยังผลิตสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพสัตว์และผู้บริโภคด้วย (Weinberg and Muck, 1996)

## ยูเรีย

ยูเรียเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) มีลักษณะเป็นผลึกหรือเม็ดกลมสีขาว สามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ดีและการละลายน้ำสูง เกิดจากการรวมตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย มีสูตรทางเคมี คือ  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  ยูเรียที่บริสุทธิ์มีไนโตรเจนประมาณ 46 เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับ 287.5 เปอร์เซ็นต์ ยูเรียประเภทนี้เป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับพืชซึ่งมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย ส่วนยูเรียที่ผลิตขึ้นเป็นอาหารสัตว์โดยเฉพาะ (feed grade urea) มีการเคลือบด้วยสารป้องกันการดูดความชื้น และสามารถละลายน้ำได้ดีเช่นกัน แต่มีไนโตรเจนเพียง 42 เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับโปรตีน 262 เปอร์เซ็นต์ (Hugue and Stem, 1994) สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถในการนำยูเรียมาใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ โดยมีแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนจะทำการผลิตเอนไซม์ยูรีเอส (urease) เปลี่ยนยูเรียให้กลายเป็นแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ได้แอมโมเนียสูงสุดใน 1-2 ชั่วโมง แอมโมเนียจะรวมตัวกับกรดคีโตน (keto acid) ที่ได้จากการหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตแล้วเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโน จากนั้นจุลินทรีย์จะนำกรดอะมิโนที่ได้ไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ (microbial protein) แบ่งเซลล์และเพิ่มจำนวนต่อไป (NRC, 1976) โปรตีนที่ผ่านไปยังลำไส้เล็กมีประมาณ 50-80 เปอร์เซ็นต์อยู่ในรูปของโปรตีนจุลินทรีย์ ส่วนที่เหลือเป็นโปรตีนไหลผ่านกระเพาะรูเมน (by-pass protein)

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากยูเรียคือ แหล่งอาหารพลังงาน ปริมาณกำมะถันในอาหาร การปรับตัวของสัตว์ ระดับของยูเรียในอาหาร ความถี่ในการให้ยูเรีย และการผสมยูเรียในอาหารขึ้น (NRC, 1976) การสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์และการเจริญของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจำเป็นที่ต้องได้รับพลังงาน ไนโตรเจน โครงคาร์บอน (carbon skeleton) บางชนิด และธาตุอาหารปืกย่อยอื่น ๆ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะทำให้จุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้สูงสุด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าระดับและสมดุลของไนโตรเจนกับพลังงานมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ (เทอดชัย, 2532) เนื่องจากโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเป็นโภชนะหลักที่จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนต้องการเพื่อการเจริญ แอมโมเนียที่ได้จาก NPN ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นโปรตีนจุลินทรีย์ได้ถ้าขาดโครงคาร์บอนและแหล่งพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตจึงจำเป็นสำหรับอาหารที่ใช้ยูเรีย แหล่งคาร์โบไฮเดรตที่เร็วที่สุดคือเซลลูโลสจากอาหารหยาบและดีที่สุดคือแป้ง แป้งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ดีกว่ากากน้ำตาล และกลูโคส ทั้งนี้วัดจากอัตราการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตและให้พลังงานออกมา การมีพลังงาน (คาร์โบไฮเดรต) สำหรับการ

สังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์อย่างไม่จำกัด มีผลทำให้เปปไทด์และกรดอะมิโนถูกนำไปสังเคราะห์ต่อเป็นโปรตีนจุลินทรีย์ได้ทันที การปลดปล่อยพลังงานที่ซ้ากินไปของเซลล์โลส หรือเร็วเกินไปของกลูโคส ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้ประโยชน์จาก NPN ได้เต็มที่ หากอัตราการการผลิตแอมโมเนียสูงกว่าอัตราการนำไปใช้ แอมโมเนียจะซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนแล้วถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียที่ตับ ซึ่งยูเรียบางส่วนสามารถนำกลับเข้ามายังกระเพาะรูเมนได้ใหม่ทางน้ำลายหรือทางผนังกระเพาะรูเมนโดยตรง แต่ถ้าแอมโมเนียไหลออกจากกระเพาะรูเมนในปริมาณมากแล้ว การสูญเสียยูเรียทางปัสสาวะจะเพิ่มมากขึ้น และการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนสำหรับตัวสัตว์จะลดลง (Hino and Russel, 1987)

แร่ธาตุกำมะถันมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นคือ ซิสทีนและเมทไธโอนีน อัตราส่วนของไนโตรเจนต่อกำมะถันในอาหารแกะควรมีค่า 15 : 1 และในโคมีค่า 10 : 1 เนื่องจากโคมีการหมักเนืวกำมะถันกลับสู่กระเพาะรูเมนมากกว่าแกะ (Dhiman and Arora, 1990) อาหารคุณภาพต่ำชนิดต่าง ๆ เช่น ฟางข้าว และเปลือกสับปะรด มีอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อกำมะถันอยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยมักมีการขาดไนโตรเจนและกำมะถัน ดังนั้นการเสริมยูเรียเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนเพิ่มเติมในอาหารหยาบคุณภาพต่ำจึงควรเสริมกำมะถันในอัตรา 0.1 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอาหารทั้งหมด (NRC, 1976)

แม้ว่ายูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนที่มีราคาถูก แต่การใช้ยูเรียอย่างไม่ระมัดระวังนอกจากประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จะไม่ได้ดีเท่าที่ควรแล้วยังอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์ได้ ดังนั้น NRC (1976) จึงได้มีการเสนอแนะหลักเกณฑ์ในการใช้ยูเรียไว้กว้าง ๆ ดังนี้คือ ไม่ควรใช้ยูเรียเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบในอาหาร หรือไม่ควรเกิน 3 เปอร์เซ็นต์ของอาหารชั้นที่ใช้เลี้ยงสัตว์ หรือไม่ควรมีปริมาณไนโตรเจนจากยูเรียเกิน 1 ใน 3 ของไนโตรเจนทั้งหมด

### กากน้ำตาล

กากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้ที่มีความสูงจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล กากน้ำตาลมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลปนดำ เนื้อเหนียวข้น รสหวาน และมีกลิ่นหอม ในการเลี้ยงสัตว์ได้มีการนำกากน้ำตาลมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตอาหารสัตว์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งสามารถกินกากน้ำตาลได้มากกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว กากน้ำตาลมีความชื้นประมาณ 25–28 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 3–5 เปอร์เซ็นต์ และโภชนะย่อยได้ทั้งหมด 72–79 เปอร์เซ็นต์ (กองอาหารสัตว์,

2529) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในกากน้ำตาลประกอบด้วยซูโครส 60 เปอร์เซ็นต์ และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ได้แก่ ฟรุคโตส และกลูโคส 30 เปอร์เซ็นต์ (Preton, 1972) นอกจากนี้ Karalazos and Swan (1977) รายงานว่ากากน้ำตาลมีเถ้าสูงถึง 11 เปอร์เซ็นต์ โดยประกอบด้วยแร่ธาตุ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมงกานีส และกำมะถันในปริมาณ 1.16 0.08 3.45 0.06 และ 0.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กากน้ำตาลจัดเป็นแหล่งของพลังงานหรือคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่าย โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถผลิตเอนไซม์มาย่อยกากน้ำตาล ผลผลิตที่จากการย่อยเป็นกรดไขมันระเหยได้ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดโพรพิโอนิก (Ei-Khidir and Tomsen, 1982)

Minson (1990) ได้ศึกษาการใช้กากน้ำตาลในอาหารสัตว์พบว่า สัตว์เลี้ยงเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบคุณภาพต่ำเพียงอย่างเดียวจะมีน้ำหนักตัวลดลง การเสริมกากน้ำตาลที่มีความหวานหอม น่ากิน สามารถช่วยปรับปรุงการกินได้ของอาหารหยาบคุณภาพต่ำให้สูงขึ้น แต่ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักตัวได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับ Church (1991) ที่รายงานว่า การใช้กากน้ำตาลปริมาณมากในสูตรอาหารไม่ได้ช่วยให้สมรรถภาพการผลิตและประสิทธิภาพการใช้ อาหารดีขึ้น แต่กลับมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกากน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร และถ้าให้กินในปริมาณที่มากเกินไป การย่อยได้ของเซลลูโลสหรือเยื่อใยจะลดลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมการย่อยเยื่อใยของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนลดลง ดังนั้นจึงไม่ควรใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวเลี้ยง สัตว์เลี้ยงเอื้อง ควรใช้เป็นส่วนประกอบร่วมกับอาหารอื่นจะเป็นประโยชน์มากกว่า การใช้กากน้ำตาลในพืชหมักได้กระทำกับพืชอาหารสัตว์เขตร้อนหลายชนิด โดยเฉพาะพวกที่มีระดับโปรตีนสูงและระดับน้ำตาลต่ำเช่น ถั่วโลโตนนนิส อย่างไรก็ตามถ้าพืชชนิดนั้นมีความชื้น 60-65 เปอร์เซ็นต์ และสับให้มีขนาดน้อยกว่า 2 เซนติเมตร การใช้พวก additive ก็อาจไม่จำเป็น ในแถบยุโรปกากน้ำตาลใช้ในอัตรา 7 กิโลกรัมต่อหนึ่งตันหญ้าของหญ้าแห้ง และอาจสูงถึง 22 กิโลกรัมต่อหนึ่งตันสำหรับหญ้าอ่อน ประเทศในแถบอเมริกากากน้ำตาลใช้ในอัตรา 30-50 กิโลกรัมต่อตันของพืชหมักซึ่งจัดว่ามากมายและพอเพียง ส่วนพืชอาหารสัตว์เขตร้อนนั้นอัตราที่ใช้ในยุโรปไม่เพียงพอ ควรใส่ให้เกินอัตราที่มากที่สุดที่ใช้ในยุโรป เนื่องจากมีระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ต่ำ Crowder and Chheda (1982) แนะนำให้ใช้สูงถึง 80 กิโลกรัมต่อน้ำหนักสดของพืชหนึ่งตัน เพ็ญศรี และคณะ (2538) ทดลองใส่กากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ลงในพืชหมักที่ทำจากหญ้า ไข่มุกที่ตัดในระยะต่าง ๆ กัน พบว่า ช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์กรดแลกติกในหญ้าหมักในทุกกระบวนการ เจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะที่หญ้าไข่มุกตั้งท้อง และช่วยลดความเป็นกรด-ด่างให้ลงต่ำจนพอที่จะรักษาหญ้าหมักได้ Catchpoole and Henzell (1971) รายงานว่าหญ้าหมักที่ทำจากหญ้าชีตาเรียและหญ้าไร้ดถ้าใส่กากน้ำตาลในอัตรา 80 กิโลกรัมต่อตันของพืชจะช่วยลดความเป็น

กรด-ต่างให้เหลือเกือบ 3.8 และมีกรดแลกติก 6–9 เปอร์เซ็นต์ ในถั่วเซอร์ราโตรและกรีนลีฟเดสโมเดียม ถ้านำมาทำหมักต้องใส่กากน้ำตาลถึง 80 กิโลกรัมต่อตันของพืชเพื่อที่ผลิตกรดแลกติกให้มีค่าความเป็นกรด-ต่างที่เหมาะสม

### การใช้กากน้ำตาลร่วมกับยูเรีย

การใช้กากน้ำตาลร่วมกับยูเรียเลี้ยงสัตว์เกี่ยวข้องมีประโยชน์อย่างมาก เนื่องจากกากน้ำตาลมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ ปริมาณการกินกากน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามปริมาณยูเรียที่เสริมในระดับจาก 0 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งในกากน้ำตาล ถ้าระดับยูเรียมากกว่านี้ปริมาณการกินกากน้ำตาลจะลดลง การเสริมยูเรีย-กากน้ำตาลในรูปของเหลว สัตว์สามารถกินกากน้ำตาลได้เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งในอาหารทั้งหมดโดยไม่พบปัญหาเรื่องความเป็นพิษเนื่องจากยูเรียหรือกากน้ำตาลแต่อย่างใด (Preston, 1972) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่ายในกากน้ำตาลทำให้เกิดกรดไขมันที่ระเหยได้และพลังงานอย่างรวดเร็ว จุลินทรีย์ยังมีพลังงานเกินพอสำหรับนำแอมโมเนียอิสระไปใช้ในการเจริญ นอกจากนี้กากน้ำตาลยังเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนด้วย (Hamada, 1989) การเสริมยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลในปริมาณสูงทำให้การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุของอาหารหยาบคุณภาพต่ำเพิ่มสูงขึ้น และยังทำให้สัดส่วนของกรดโพรพิโอนิกสูงขึ้น แต่สัดส่วนของกรดอะซิติกและกรดบิวทิริกจะลดลงตามปริมาณของกากน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (Ei-Khidir and Thomsen, 1982) ซึ่งสอดคล้องกับ Sambrook and Rowe (1982) ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียมีแหล่งไนโตรเจนเพียงพอสำหรับการเพิ่มจำนวนและเข้าย่อยเซลลูโลสได้ทันที ทำให้การกินได้และการย่อยได้ของอาหารหยาบดีขึ้น ดังนั้นการใช้ยูเรียร่วมกับกากน้ำตาลในอาหารหยาบเพื่อเป็นแหล่งเสริมโปรตีนและพลังงานเลี้ยงสัตว์เกี่ยวข้องเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มการกินได้ การย่อยได้ และความน่ากินของอาหารหยาบคุณภาพต่ำ

## มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความสำคัญเชิงเศรษฐกิจในประเทศแถบทวีปอเมริกากลางและอเมริกาใต้ ทวีปแอฟริกา และทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งประเทศไทยด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรจำนวนมากในประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคเหนือบางส่วน มีอาชีพปลูกมันสำปะหลังเป็นหลัก มันสำปะหลังเป็นพืชเมืองร้อน มีทรงพุ่มขนาดความสูง 1 – 4 เมตร และสามารถจัดหมวดหมู่ทางพฤกษศาสตร์ได้ดังนี้

Genus	Manihot
Family	Euphorbiaceae
Subdivision	Agiospermae
Class	Dicotyledonae
Order	Geraniales

มันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ปลูกได้ทั่วไปในประเทศเขตร้อนที่อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 30 องศาเหนือและใต้ ระดับความสูงไม่เกิน 2,000 เมตร สามารถปรับตัวได้ดีในเขตที่มีฝนตกอยู่ระหว่าง 1,000 – 3,000 มิลลิเมตรต่อปี มีความทนทานต่อสภาพอากาศแล้งได้ดี หลังจากปลูกและต้นมันสำปะหลังตั้งตัวได้ดี แม้จะขาดน้ำเป็นระยะเวลาติดต่อกัน 3 – 4 เดือน ก็สามารถทนอยู่ได้โดยไม่ตาย ลักษณะเด่นประการหนึ่งของมันสำปะหลังคือ ทนทานต่อสภาพดินเป็นกรดจัด เช่น ดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำถึง 4.4 ก็ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต แต่ไม่สามารถขึ้นได้ดีในดินที่เป็นด่าง ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 8 ขึ้นไป มันสำปะหลังเป็นพืชวันสั้น หากช่วงแสงของวันเกิน 10 – 12 ชั่วโมง จะมีผลทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังลดลง การปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันหลายปีโดยไม่มีการใส่ปุ๋ยบำรุงดินอย่างถูกต้อง จะมีผลทำให้ความสมบูรณ์ของดินลดลงอย่างรวดเร็ว ตลอดจนโครงสร้างของดินถูกทำลายด้วย มันสำปะหลังที่ปลูกเป็นการค้าเพื่อใช้ผลิตแป้งและอาหารสัตว์นั้นเป็นชนิดผสมสายพันธุ์ *Manihot esculenta* Crantz. ซึ่งมีรากใต้ดินทำหน้าที่สะสมแป้ง มันสำปะหลังนับเป็นพืชที่มีประสิทธิภาพในการสะสมแป้งดีมาก โดยให้ผลผลิตหัวสดระหว่าง 3–10 ตันต่อไร่ หรือมากกว่า ที่อายุการเก็บเกี่ยว 10 – 12 เดือน ซึ่งปริมาณผลผลิตจะขึ้นอยู่กับพันธุ์และการเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ปุ๋ยทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ (เจริญศักดิ์, 2532)

## มันเส้น

ประเทศไทยมีการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด 2 ชนิด สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ คือ ชนิดปกติ (regular quality cassava chips) และชนิดคุณภาพดี (prime quality cassava chips) หรือมันเส้นสะอาด ซึ่งมาตรฐานองค์ประกอบทางโภชนาของมันเส้นทั้ง 2 ชนิดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 สำหรับมันเส้นและมันอัดเม็ดชนิดปกตินั้น มีแป้งไม่น้อยกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยและทรายไม่มากกว่า 5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยคุณภาพดังกล่าวเพียงพอที่จะสามารถใช้ทดแทนข้าวบาร์เลย์ แต่ไม่สามารถทดแทนข้าวโพดและปลายข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่ใช้สำหรับการเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยและประเทศในแถบเอเชียอื่น ๆ ได้ ดังนั้นจึงได้มีการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดคุณภาพดี หรือมันเส้น/มันอัดเม็ดสะอาด ซึ่งมีคุณภาพดีกว่ามันเส้นปกติ โดยมีระดับเยื่อใยและทรายน้อยกว่า (เยื่อใยไม่มากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ และทรายไม่มากกว่า 1 – 2 เปอร์เซ็นต์) มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูงกว่า (ไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์) เพื่อใช้ในการเลี้ยงสัตว์ภายในประเทศ ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจมากเมื่อเทียบกับการใช้ข้าวโพดหรือปลายข้าว นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ยังให้ผลดีในการเลี้ยงสัตว์ในด้านอื่น ๆ อีกมาก โดยเฉพาะการลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์และต้นทุนการผลิตสัตว์ การช่วยปรับปรุงสุขภาพและภูมิคุ้มกันต้านโรคของสัตว์ การปรับปรุงสภาพแวดล้อมการเลี้ยงสัตว์ ฯลฯ จึงเห็นแนวโน้มชัดเจนว่า การผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดคุณภาพดี จะต้องมีการขยายตัวและการเพิ่มกำลังผลิตกันมากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดอาหารสัตว์ทั้งภายในประเทศและเพื่อการส่งออก

ขั้นตอนการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดคุณภาพดีมีดังนี้ คือ ทำการขูดหัวมันสำปะหลังสดจากไร่ ซึ่งอาจใช้วิธีการขูดด้วยมือหรือเครื่องจักรก็ได้ แล้วทำการตัดหัวมันสำปะหลังออกจากต้น โดยอย่าให้มีส่วนของลำต้นหรือเหง้าติดปนมากับหัวมันสด แล้วขนส่งหัวมันสดมายังลานมัน จากนั้นนำหัวมันสดมาทำความสะอาดเพื่อให้มีดินทรายติดปนมาน้อยที่สุด โดยการร่อนหัวหรือร่อนสะกิดผิวนอกออก จากนั้นนำหัวมันสดมาสับให้เป็นชิ้นขนาดเล็ก นำไปตากบนลานคอนกรีตนาน 3 – 6 วัน ขึ้นกับสภาพของอากาศ แสงแดด และความหนาของชั้นมันที่หั่น ในระหว่างการตากจะต้องมีการกลับชั้นมันด้วยเครื่องมือหรือเครื่องจักรวันละ 4 – 5 ครั้ง เพื่อให้ชั้นมันแห้งเร็วขึ้น จนเหลือความชื้นอยู่ไม่เกิน 13 – 14 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถนำมาเก็บในโรงเรือนได้ก่อนที่จะนำไปจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์ต่อไป มันเส้นมักมีลักษณะฟามและเป็นฝุ่น จึงไม่เหมาะสมกับการส่งออกมันสำปะหลังทางเรือแบบเทกอง อย่างไรก็ตามมันเส้นสามารถตรวจสอบคุณภาพได้ง่าย ทำได้แม้

การตรวจคุณภาพที่ฟาร์ม มันเส้นจึงเหมาะกับการใช้เป็นอาหารสัตว์ภายในประเทศทั้งระดับฟาร์ม และโรงงานอาหารสัตว์ ส่วนการส่งออกมันสำปะหลังมักส่งออกในรูปแบบมันสำปะหลังอัดเม็ด หรือ มันอัดเม็ด โดยนำมันเส้นไปบดเติมไอน้ำและอัดเป็นเม็ดแข็งเพื่อลดความฟ้ำและความชื้นของ มันสำปะหลังลง ทำให้สะดวกในการขนส่งแบบเทกอง และสะดวกในการขนถ่ายด้วย ซึ่ง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบอัดเม็ดให้ดีขึ้น และไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุช่วยการอัดเม็ดอื่นที่อาจมีผล ทำให้คุณภาพของมันอัดเม็ดต่ำลง (อุทัย และสุกัญญา, 2545)

## ตารางที่ 2 มาตรฐานและคุณค่าทางอาหารของมันเส้นและมันอัดเม็ดในประเทศไทย

ผลิตภัณฑ์		มันเส้น		มันอัดเม็ด	
		ดี/สะอาด	ปกติ	ดี/สะอาด	ปกติ
คุณภาพ					
ความชื้น	ไม่มากกว่า (%)	13	13	13	13
โปรตีน	ไม่มากกว่า (%)	2	2	2	2
กาก หรือเยื่อใย	ไม่มากกว่า (%)	4	5	4	5
เถ้า/ทราย	ไม่มากกว่า (%)	4/1-2	6/3	4/1-2	6/3
แป้ง	ไม่น้อยกว่า (%)	70	65	70	65

ที่มา: อุทัย และสุกัญญา (2545)

โดยปกติในหัวมันสำปะหลังสดมีน้ำยางสีขาวขุ่นอยู่ได้เปลือกซึ่งมีสารพิษประเภทไซยาโนจีนิก กลูโคไซด์ (Cyanogenic glucoside) 2 ชนิด ได้แก่ สารลินามาริน (Linamarin) และสารโลทอสตราลิน (Lotoustralin) เป็นองค์ประกอบ เมื่อมีการสับหัวมันและหัวมันได้รับความร้อนระหว่างการผึ่งแดด เอนไซม์ลินามาราส (Linamarase) ที่อยู่ในเซลล์ของหัวมันสำปะหลังจะทำการย่อยสลายสารลินามารินได้กรดไฮโดรไซยานิก หรือกรดปรัสสิค (Prussic acid) กลูโคส และอะซีโตน ซึ่งกรดไฮโดรไซยานิกจะระเหยไปในบรรยากาศ ทำให้ระดับกรดไฮโดรไซยานิกในหัวมันสำปะหลังลดลงจนไม่เป็นอันตรายต่อตัวสัตว์ (ระดับการเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิกหรือสารพิษไซยาโนคอยู่ 80–100 มก./กก.(ppm) ในอาหารสัตว์เป็นต้นไป) การผลิตมันเส้นโดยวิธีการตาก 3 – 6 แดดจนความชื้นของมันสำปะหลังเหลือไม่เกิน 13 เปอร์เซ็นต์ และเก็บขึ้นมันไว้อีก 2 – 3 วันก่อนที่จะส่งไปยังโรงงานอาหารสัตว์หรือส่งไปยังผู้ใช้ จะสามารถช่วยทำให้ระดับสารพิษกรดไฮโดรไซยานิกลดต่ำลงจนอยู่ห่างจากระดับที่เป็นพิษต่อตัวสัตว์มาก ประกอบกับการเก็บไว้ใน

โรงงานอาหารสัตว์อีกระยะหนึ่งก่อนการใช้อีกจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ ทำให้สามารถใช้น้ำมันเส้นและมันอัดเม็ดได้โดยไม่ต้องเสี่ยงกับความเป็นพิษของกรดไฮโดรไลซายานิกที่จะมีต่อสัตว์เลี้ยง

การศึกษาการใช้ประโยชน์ของมันสำปะหลังสำหรับเป็นอาหารสัตว์ได้กระทำกันมานานกว่า 20 ปีแล้ว โดย Oke (1978) รายงานว่าผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารประเภทพลังงานที่ดีทั้งกับสัตว์กระเพาะเดี่ยวและกระเพาะรวม แป้งในมันสำปะหลังย่อยง่ายมากเมื่อเทียบกับข้าวโพด ทำให้สามารถใช้น้ำมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานหลักในอาหารสุกร สัตว์ปีก และสัตว์กระเพาะรวมได้ แต่ต้องระวังเรื่องสารพิษกรดไฮโดรไลซายานิก ระดับโปรตีนและกรดอะมิโนด้วย สำหรับประเทศไทยได้มีการศึกษาวิจัยการใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์เป็นจำนวนมาก และผลการศึกษิต่าง ๆ ได้แสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังสามารถทดแทนวัตถุดิบอาหารพลังงานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ได้แก่ ข้าวโพด ปลายข้าว หรือข้าวฟ่าง ในสูตรอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิจัยและทดลองใช้น้ำมันสำปะหลังในสูตรอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ โดยโรงงานอาหารสัตว์และฟาร์มเลี้ยงสัตว์จำนวนมากในประเทศไทย ซึ่งให้ผลดีจนเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป จากผลการวิจัยและการใช้น้ำมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ของเกษตรกรและโรงงานอาหารสัตว์ อาจสรุปได้ว่ามันสำปะหลังมีข้อดีในการใช้เป็นอาหารสัตว์ดังนี้

### 1. แป้งย่อยง่าย

แป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นแป้งอ่อนและมีอะไมโลเพคตินเป็นองค์ประกอบอยู่สูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ คุณสมบัติของแป้งอ่อนจะดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุลได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เอนไซม์อะไมเลสในทางเดินอาหารย่อยแป้งได้อย่างรวดเร็ว Reas (1996) ได้แสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังมีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และพลังงานสูงสุดในส่วนต่าง ๆ ของทางเดินอาหารสุกรระยะรุ่น โดยเปรียบเทียบกับข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวบาร์เลย์ นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารมันสำปะหลังจะมีการย่อยและการลดลงของระดับวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และพลังงานอย่างต่อเนื่องและเป็นเส้นตรงจากกระเพาะเรื่อยลงมาถึงไส้ติ่ง และการย่อยเกือบจะสมบูรณ์ก่อนถึงลำไส้ใหญ่ ขณะที่ข้าวโพดมีการย่อยได้ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับมันสำปะหลังแต่ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนข้าวฟ่างและข้าวบาร์เลย์มีการย่อยได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน แต่มีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และพลังงานต่ำกว่ามันสำปะหลังและข้าวโพดในทางเดินอาหารที่เลยลำไส้เล็กไปแล้ว จึงสามารถสรุปได้ว่ามันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานที่ดีเยี่ยม และสามารถใช้แทนธัญพืชอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี ในทางปฏิบัติการใช้น้ำมันสำปะหลังในสูตรอาหารสัตว์ได้แสดงให้เห็นชัดเจนว่าทำให้อาหารมีการย่อยได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับอาหารสูตรข้าวโพด โดย

เกษตรกรผู้ใช้อาหารสูตรข้าวโพดมักประสบปัญหาข้าวโพดย่อยไม่หมดในทางเดินอาหาร และมักพบส่วนเหลือของข้าวโพดในมูลสัตว์ตลอดเวลา การใช้ข้าวโพดในสูตรอาหารจำเป็นต้องทำการบดให้ละเอียด (ใช้ตะแกรงขนาด 2 มม.) และอาจต้องมีการเสริมเอนไซม์ช่วยย่อยลงในสูตรอาหารด้วยเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว แต่การใช้มันเส้นเป็นอาหารสัตว์การบดมันเส้นโดยใช้ตะแกรงขนาด 10 มม. ก็สามารถบดมันเส้นให้มีความละเอียดเพียงพอที่สัตว์จะย่อยได้ดี การที่แบ่งมีการย่อยได้สูงจะมีผลทำให้ความเครียดที่เกิดจากการย่อยและการดูดซึมอาหารของสัตว์ลดลง และส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพที่ดีขึ้นด้วย

## 2. การปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราดำ

แม้ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในสภาพการผลิตและการเก็บรักษาทั่วไปอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อราอยู่บ้างแต่เชื้อราเหล่านั้นจะมีการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินและสารพิษอื่น ๆ น้อยมากหรือไม่สร้างเลย อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดผลเสียแก่ตัวสัตว์แต่ประการใด ดังเช่นสมาคมการค้ามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ได้รายงานผลการตรวจสอบการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่ทำการส่งออกไปยังประเทศในทวีปยุโรป พบว่าส่วนใหญ่อยู่ในระดับไม่สามารถตรวจสอบได้ (non-detectable) และผลจากการสอบถามห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเพื่อการส่งออก ได้รับรายงานว่าผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่ส่งออกไปต่างประเทศมักตรวจไม่พบการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราเช่นกัน นอกจากนี้ผลการตรวจสอบปริมาณสารพิษจากเชื้อราในมันเส้นที่มีราขึ้น โดยได้จากการเก็บตัวอย่างจากลานมันหลายแห่งในประเทศไทย พบว่ามีปริมาณสารพิษซีราลีโนนเพียงเล็กน้อยแต่ไม่พบสารพิษอะฟลาทอกซิน ซึ่งตรงกับผลการใช้มันสำปะหลังจริงระดับฟาร์ม โดยผู้ใช้ไม่พบความเป็นพิษของอะฟลาทอกซินและสารพิษอื่นจากการใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกร โค สัตว์ปีก รวมทั้งเป็ดซึ่งมีความไวต่อสารพิษอะฟลาทอกซินมากแต่ประการใด มันสำปะหลังจึงจัดว่าเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ปลอดภัยจากเชื้อรา (อุทัย และสุกัญญา, 2547)

## 3. สุขภาพและภูมิคุ้มกันโรคของสัตว์ดีขึ้น

ผลการใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารสัตว์พบว่า สัตว์ที่เลี้ยงโดยรวมมีสุขภาพดีขึ้น ความต้านทานโรคสูงขึ้นและต้องการใช้ยาปฏิชีวนะน้อยลงหรือไม่ต้องใช้เลย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่พบว่าการใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารสัตว์มีผลทำให้สัตว์มีความทนทานต่อโรคและมีภูมิต้านทานโรคสูงขึ้น นันทวัน และคณะ (2545) เปรียบเทียบการใช้อาหารสูตรข้าวโพดและมันสำปะหลังทั้งที่มีการใช้ยาและไม่ใช้ยาปฏิชีวนะในอาหารไก่กระตัง ในสภาพการเลี้ยงที่ต่ำ

กว่ามาตรฐานทั่วไปเพื่อชักนำให้อัตราการตายของไก่สูงขึ้น ผลการศึกษาพบว่าไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรมันสำปะหลังทั้งที่ใส่ยาและไม่ใส่ยาปฏิชีวนะในอาหารมีอัตราการตายต่ำกว่า (ประมาณกว่า 50 เปอร์เซ็นต์) ไก่ที่กินอาหารสูตรข้าวโพดทั้งที่ใส่ยาและไม่ใส่ยาปฏิชีวนะตามลำดับโดยไก่ที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังแบบไม่ใส่ยาปฏิชีวนะและเลี้ยงในสภาพต่ำกว่ามาตรฐานมีอัตราการตายเพียง 5.88 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไก่กลุ่มที่กินอาหารสูตรข้าวโพดทั้งใช้และไม่ใส่ยาปฏิชีวนะที่เลี้ยงในสภาพเดียวกัน มีอัตราการตายสูงถึง 8.78 และ 11.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่าแม้สภาพการเลี้ยงไก่ที่ไม่ดีนัก ไก่ที่เลี้ยงด้วยมันสำปะหลังโดยไม่ใส่ยาปฏิชีวนะยังมีอัตราการตายอยู่ในเกณฑ์ปกติ มีสุขภาพดีกว่าและมีภูมิคุ้มกันโรคสูงกว่าไก่ที่กินอาหารสูตรข้าวโพดที่ใส่ยาปฏิชีวนะเสริมในอาหาร นอกจากนี้ กานดา และคณะ (2546) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์โดยธรรมชาติบนมันเส้น มันอัดเม็ด และข้าวโพดในประเทศไทย พบว่าในมันสำปะหลังมีการปนเปื้อนโดยธรรมชาติของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) ยีสต์ และ อี.โคไล ขณะที่จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนโดยธรรมชาติบนข้าวโพดพบเฉพาะ อี.โคไล เท่านั้น นอกจากนี้การให้สุกรกินอาหารสูตรมันสำปะหลังและสูตรข้าวโพดยังมีผลทำให้ประชากรจุลินทรีย์และค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ปลายลำไส้เล็กของสัตว์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบสุกรกลุ่มที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีจุลินทรีย์กลุ่มแลคโตบาซิลัสและยีสต์มากกว่า แต่มีสภาพความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่า และมีจำนวนจุลินทรีย์กลุ่ม อี.โคไล ที่ปลายลำไส้เล็กน้อยกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพด ( $p < 0.05$ ) ซึ่งสภาพในทางเดินอาหารดังกล่าวมีผลทำให้สุกรที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีสุขภาพและความต้านทานโรคดีกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพด

#### 4. ลดกลิ่นเหม็นจากมูลสัตว์

สูตรอาหารมันสำปะหลังช่วยทำให้กลิ่นเหม็นของมูลสุกรลดลง และทำให้สภาพแวดล้อมของฟาร์มสุกรดีขึ้น มีแมลงวันรบกวนน้อยลง แม้ว่ายังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจังในประเด็นนี้ก็ตาม แต่สภาวะดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากการที่ทางเดินอาหารของสุกรที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีความเป็นกรดมากขึ้น ส่งผลให้จำนวน อี.โคไล ในลำไส้เล็กลดลง ซึ่งมีผลทำให้ลดการผลิตสารอินโดล (Indole) และสารสเคโตล (Skatole หรือ 3 - methyl indole) ซึ่งเป็นสารที่ส่งกลิ่นในมูล และทำให้มูลสัตว์มีกลิ่นลดลง นอกจากนี้ความเป็นกรดที่มากขึ้นในทางเดินอาหารของสัตว์อาจส่งผลให้มูลมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้สภาพของมูลไม่เหมาะสมที่จะทำให้ไข่แมลงวันพัฒนาเป็นตัวอ่อนและตัวเต็มวัยได้ (อุทัย และสุกัญญา, 2547)

### การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารโค

มันสำปะหลังจัดว่าเป็นวัตถุดิบอาหารที่เหมาะสมกับการใช้เป็นอาหารโค ทั้งอาหารโคเนื้อและโคนม ซึ่งปัจจุบันมีการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารโคทั้ง 2 ชนิดอย่างแพร่หลายทั่วประเทศ ซึ่งทั้งหมดสอดคล้องกับผลการศึกษากการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารโคของนักวิจัยต่าง ๆ ดังเช่น เกรียงศักดิ์ (2533) ได้รายงานการย่อยของแป้งจากมันสำปะหลัง ข้าวเปลือก และปลายข้าวในทางเดินอาหารของโคนม พบว่าวัตถุดิบดังกล่าวมีแป้งย่อยได้เท่ากับ 100 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และพบว่าโคที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีค่าความเป็นกรดในกระเพาะหมักหรือกระเพาะรูเมนมากกว่าโคที่ได้รับอาหารสูตรอื่น ๆ แต่ยังอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายจากการเกิดสภาพความเป็นกรดในกระเพาะหมัก (Acidosis) นอกจากนี้ จินดาและคณะ (2528) ได้ทดลองใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารโคนมลูกผสมเพศผู้อายุ 1 ปีเพื่อทำการขุนส่งตลาด และพบว่ามันสำปะหลังสามารถใช้ทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารโคดังกล่าวได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตของโคขุนดังกล่าวเสียแต่อย่างใด อีกทั้งยังมีผลให้ต้นทุนการเลี้ยงโคต่ำสุดด้วย เช่นเดียวกับ ฉลองและคณะ (2542) ได้ทดลองเลี้ยงโคนมลูกผสมไฮสไตน์ฟริเซียน x พื้นเมือง (50 – 75 เปอร์เซ็นต์) โดยใช้มันเส้นในสูตรอาหารระดับ 25 35 45 และ 55 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มระดับมันเส้นในสูตรอาหารชั้นของโคไม่มีผลกระทบต่อระดับความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมัก ผลผลิตน้ำนมปรับไขมันที่ 3.5 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบน้ำนมโคแต่อย่างใด นอกจากนี้ Sommart *et al.* (1996) ได้ศึกษาการย่อยได้ของอินทรียสารในมันสำปะหลัง ข้าวโพด ปลายข้าว และข้าวเปลือกบดในกระเพาะรูเมนของโคเนื้อและกระบือ ร่วมกับการใช้ฟางข้าวหรือฟางข้าวหมัก พบว่าค่าการย่อยได้ที่ 48 ชั่วโมงสูงสุดของมันเป็นสำปะหลังและปลายข้าวเท่ากับ 94 – 96 เปอร์เซ็นต์ และ 93 – 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าข้าวโพดและข้าวเปลือกบด ( $p < 0.05$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 73 – 94 เปอร์เซ็นต์ และ 71 – 74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มันสำปะหลังจึงเป็นวัตถุดิบที่ย่อยได้ดีทั้งในโคเนื้อและกระบือ นอกจากนี้ Wanapat *et al.* (1996) ได้ศึกษาการใช้มันอัดเม็ดเป็นแหล่งพลังงานในโคเนื้อระยะขุน โดยให้มันอัดเม็ด 20 32 41 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และใส่ยูเรีย 4 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่าโคที่กินอาหารใช้มันอัดเม็ดระดับ 41 เปอร์เซ็นต์มีการเติบโตต่อวันในระยะ 167 และ 215 วัน ไม่แตกต่างกันกับอาหารที่ใช้มันอัดเม็ดระดับ 20 หรือ 32 เปอร์เซ็นต์ แต่โคที่กินอาหารมันอัดเม็ดระดับ 41 เปอร์เซ็นต์ มีกรดไขมันระเหยง่ายสูงกว่า ( $p < 0.05$ ) และพบว่ามีกรดบิวทริกสูงกว่าโคกลุ่มที่กินมันอัดเม็ดระดับ 20 หรือ 32 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งการใช้มันอัดเม็ดในสูตรอาหารสูงชันยังทำให้พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันและเปอร์เซ็นต์ซากเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) ขณะที่ระดับยูเรีย

ไนโตรเจนในเลือดลดลง ( $p < 0.05$ ) จากผลการทดลองเห็นได้ชัดว่ามันอัดเม็ดเป็นแหล่งพลังงานหลักที่ดี สามารถย่อยในกระเพาะรูเมนได้สูงและสามารถไชยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในสูตรอาหารได้สูงขึ้น การใช้มันอัดเม็ดระดับ 41 – 50 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารโคเนื้อส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี มีกรดไขมันระเหยง่ายเหมาะสม และทำให้เปอร์เซ็นต์ซากคดียาว

# อุปกรณ์และวิธีการ

## อุปกรณ์

### 1. สัตว์ทดลอง

การทดลองที่ 1 ใช้โคนมพันธุ์โฮลสไตร์เซียนซึ่งเจาะกระเพาะ (Rumen fistulated steer) เพศผู้ สุขภาพแข็งแรง น้ำหนักประมาณ 400 กิโลกรัม จำนวน 2 ตัว โดยทำการเลี้ยงแยกคอกเดี่ยว มีการทำวัคซีนโรคที่จำเป็นก่อนการทดลอง ได้รับอาหารข้น หญ้าสด และน้ำสะอาดอย่างเต็มที่ (*ad libitum*)

การทดลองที่ 2 ใช้แกะลูกผสมพันธุ์เมอริโน-พื้นเมือง เพศผู้ อายุประมาณ 6 เดือน มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 20 กิโลกรัม จำนวน 15 ตัว โดยทำการเลี้ยงแยกกรงขังเดี่ยวมีการทำวัคซีนโรคที่จำเป็นก่อนการทดลอง ได้รับอาหารข้น หญ้าสด และน้ำสะอาดอย่างเต็มที่ (*ad libitum*)

### 2. โรงเรือน

โรงเรือนที่ใช้เลี้ยงโคเป็นโรงเรือนโปร่ง พื้นซีเมนต์ หลังคากระเบื้องมีแนวชายคายาวกันแดดกันฝนได้ดี สัตว์ทดลองแต่ละตัวถูกเลี้ยงในคอกเลี้ยงเดี่ยวขนาด 3 x 3 ตารางเมตร เรียงเป็นแถวเดียวกัน ด้านหน้าคอกมีรางอาหาร และถังใส่น้ำสำหรับให้โคแต่ละตัวกิน

คอกสำหรับใช้เลี้ยงแกะเป็นกรงแบบขังเดี่ยวจำนวน 15 กรง ขนาด 0.5 x 1.1 x 0.6 เมตร สูงจากพื้น 0.5 เมตร ด้านหน้ากรงมีรางอาหารและด้านหลังกรงมีถังพลาสติกเป็นที่ให้น้ำ ใต้กรงมีรางอุจจาระสำหรับรวบรวมปัสสาวะของแกะแต่ละตัว ทุกกรงมีที่แขวนแร่ธาตุก้อนโดยให้สัตว์กินอย่างอิสระ

### 3. อาหารทดลอง

อาหารที่ให้โคทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ อาหารข้นและอาหารหยาบ โดยอาหารข้นที่ใช้คำนวณให้มีโภชนะตามความต้องการของสัตว์ตามคำแนะนำของ NRC (1988) ซึ่งอาหารโคในการทดลองมีโปรตีนรวม 18.30 เปอร์เซ็นต์ ดังที่แสดงสูตรอาหารข้นไว้ในตารางที่ 3 และให้หญ้าขนสดเป็นอาหารหยาบ

อาหารที่ให้แกะทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ อาหารข้นและอาหารหยาบ โดยอาหารข้นที่ใช้คำนวณให้มีโภชนะตามความต้องการของสัตว์ตามคำแนะนำของ NRC (1988) ซึ่งอาหารแกะในการทดลองที่ 2 มีโปรตีนรวม 14.58 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงสูตรอาหารข้นไว้ในตารางที่ 4 และให้อาหารหยาบแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มทรีตเมนต์

สำหรับเส้นใยปาล์มที่ทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อย คือ การทดลองที่ 1.1 ศึกษาความแปรปรวนขององค์ประกอบทางโภชนะและค่าการย่อยได้ของเส้นใยปาล์มที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มต่าง ๆ กัน 5 แห่ง การทดลองที่ 1.2 ศึกษาคุณภาพเส้นใยปาล์มหมักที่ถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยกากน้ำตาล-ยูเรีย และเส้นใยปาล์มผสมมันเส้นปรับปรุงคุณภาพด้วยยูเรียในสัดส่วนต่าง ๆ กัน 18 สูตร ทำการเปรียบเทียบคุณภาพกับเส้นใยปาล์มหมักที่ไม่ใส่สารช่วยในการหมักใด ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5

การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาปริมาณการกิน การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ของโภชนะในแกะ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองที่ 1.2 พิจารณาเลือกสูตรของเส้นใยปาล์มหมักจำนวน 4 สูตรมาใช้เลี้ยงสัตว์เปรียบเทียบกับอาหารหยาบกลุ่มควบคุม คือ หญ้าแห้ง

ตารางที่ 3 สูตรอาหารชั้นที่ใช้เลี้ยงโคในการทดลองที่ 1

รายการวัตถุดิบอาหาร	ปริมาณ (ร้อยละ)
ข้าวโพดบด	27
มันเส้น	22
กากถั่วเหลือง (CP44%)	14
ใบกระถินป่น	15
กากเมล็ดฝ้าย	20
เกลือ	1
แร่ธาตุและวิตามิน	1
รวม(กก.)	100
โปรตีน (%)	18.30

ตารางที่ 4 สูตรอาหารชั้นที่ใช้เลี้ยงแกะในการทดลองที่ 2

รายการวัตถุดิบอาหาร	ปริมาณ (ร้อยละ)
ข้าวโพดบด	15
มันเส้น	25
กากถั่วเหลือง (CP44%)	13
รำข้าว	20
กากมะพร้าว	20
กากน้ำตาล	5
แร่ธาตุและวิตามิน	2
รวม(กก.)	100
โปรตีน (%)	14.58

ตารางที่ 5 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผลิตพืชหมักในการทดลองที่ 1.2

กลุ่มที่	เส้นใยปาล์ม (กรัม)	มันเส้นบด (กรัม)	กากน้ำตาล (กรัม)	ยูเรีย (กรัม)	น้ำ (กรัม)
1	1000	---	---	---	600
2	1000	---	30	10	600
3	1000	---	30	30	600
4	1000	---	30	50	600
5	1000	---	50	10	600
6	1000	---	50	30	600
7	1000	---	50	50	600
8	1000	---	70	10	600
9	1000	---	70	30	600
10	1000	---	70	50	600
11	1000	30	---	10	600
12	1000	30	---	30	600
13	1000	30	---	50	600
14	1000	50	---	10	600
15	1000	50	---	30	600
16	1000	50	---	50	600
17	1000	70	---	10	600
18	1000	70	---	30	600
19	1000	70	---	50	600

## วิธีการ

**การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาและคุณสมบัติของพืชหมักที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยปาล์มด้วยมันเส้น ยูเรีย และกากน้ำตาล แบ่งเป็น 2 ส่วนย่อย คือ**

**การทดลองที่ 1.1 ศึกษาความแปรปรวนขององค์ประกอบทางโภชนาและค่าการย่อยได้ของเส้นใยปาล์ม**

### **1. แผนการทดลอง**

ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนา และค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งของเส้นใยปาล์มที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม 5 แห่งเพื่อเปรียบเทียบหาความแปรปรวน โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) มี 5 ทรีทमेंต์(โรงงาน) ทรีทमेंต์ละ 3 ซ้ำ

### **2. การเก็บตัวอย่าง**

ทำการเก็บเส้นใยปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจำนวน 5 โรงงานโดยโรงงานทั้งหมดมีการผลิตแบบใช้ไอน้ำอบผลปาล์ม และบีบอัดน้ำมันโดยแยกเปลือกและเมล็ดในออกจากกัน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจากโรงงาน โดยเก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกและมัดปากถุงเพื่อกันความชื้นให้แน่น จากนั้นจึงทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจากถุงเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อโดยใช้วิธีสุ่มเก็บตัวอย่างตามคำแนะนำของ อังคณา และดวงสมร (2532)

### **3. การบันทึกข้อมูล**

ตัวอย่างเส้นใยปาล์มจากทั้ง 5 โรงงานจะนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนา ได้แก่ ปริมาณวัตถุแห้ง (Dry Matter; DM) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter; OM) โปรตีนรวม (Crude Protein; CP) ปริมาณผนังเซลล์ (Neutral Detergent Fiber; NDF) ปริมาณลิกโนเซลลูโลส (Acid Detergent Fiber; ADF) ลิกนิน (Lignin) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และวิเคราะห์ค่าการสลายของวัตถุแห้ง (Dry Matter Degradability; DMD) ตามคำแนะนำของ Ørskov and

McDonald (1979) ซึ่งคำนวณปริมาณการย่อยสลายจากลักษณะการย่อยสลายที่ช่วงเวลาต่าง ๆ โดยใช้สมการ

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

โดย  $P$  คือค่าศักยภาพการสลายตัว (Potential degradability) ที่เวลา  $t$

$a$  คือปริมาณที่ย่อยสลายได้ทันที (Rapidly degradable fraction)

$b$  คือปริมาณการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (Insoluble but potentially fermentable fraction)

$c$  คืออัตราการย่อยสลายของ  $b$  (Fractional digestion rate constant;  $h^{-1}$ )

## การทดลองที่ 1.2 ศึกษาคุณภาพของเส้นใยปาล์มหมักที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกากน้ำตาล มันเส้น และยูเรีย

### 1. แผนการทดลอง

ศึกษาความแตกต่างทางโภชนาและค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในเส้นใยปาล์มที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกากน้ำตาล มันเส้น และยูเรีย ด้วยแผนการทดลองแบบแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) โดยแบ่งกลุ่มทริตเมนต์ที่ศึกษาเป็น 19 กลุ่ม ๆ ละ 3 ซ้ำ ซึ่งกำหนดให้เส้นใยปาล์มหมัก 1 ถุงเป็น 1 หน่วยทดลอง

### 2. การเตรียมตัวอย่าง

เส้นใยปาล์มหมักสูตรที่มีการเติมสารช่วยในการหมักยูเรีย - กากน้ำตาลมีการเสริมด้วยกากน้ำตาลในปริมาณต่าง ๆ กัน 3 ระดับ คือ 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเส้นใยปาล์มสด และในแต่ละระดับของกากน้ำตาลมีการเสริมด้วยยูเรียในปริมาณที่แตกต่างกันอีก 3 ระดับคือ 1 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเส้นใยปาล์มสด ส่วนเส้นใยปาล์มผสมมันเส้นมีการเสริมด้วยมันเส้นในสัดส่วนต่าง ๆ กัน 3 ระดับ คือ 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเส้นใยปาล์มสด และในแต่ละระดับของมันเส้นมีการเสริมด้วยยูเรียในปริมาณที่แตกต่างกันอีก 3 ระดับคือ 1 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเส้นใยปาล์มเช่นกัน เส้นใยปาล์มสดจะถูกนำมาผ่านกระบวนการผลิตเป็นพืชหมัก (Silage) โดยมีวิธีดังนี้คือ นำเส้นใยปาล์มผสมกับสารละลายยูเรีย-กากน้ำตาลหรือมันเส้น-ยูเรียตามสัดส่วนของแต่ละทริตเมนต์ ปรับความชื้นให้อยู่ในช่วง 68-72 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คลุกให้เข้า

กันดี บรรจุใส่ถุงดำแล้วดูอากาศออกโดยใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศ จากนั้นปิดปากถุงให้สนิทเพื่อป้องกันอากาศเข้า นำไปเก็บในที่แห้งกันแดดฝนเป็นเวลา 21 วัน แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ต่อไป

### **3. การบันทึกข้อมูล**

ทำการศึกษาคูณภาพเส้นใยปลาลัมหมัก โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพฟีดหมักเมื่อทำการหมักเส้นใยปลาลัมแต่ละทริทเมนต์เป็นเวลาครบ 21 วัน นำฟีดหมักที่ได้มาตรวจวัดคุณภาพโดยวัดค่าความเป็นกรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ต่อเพื่อหาปริมาณองค์ประกอบทางโภชนาที่คงเหลือ ได้แก่ ปริมาณวัตถุแห้ง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ โปรตีนรวม ปริมาณผนังเซลล์ ปริมาณลิกโนเซลลูโลส ลิกนิน และวิเคราะห์ค่าการสลายของวัตถุแห้ง

## **การทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณการกิน การย่อยได้ (*in vivo*) และการใช้ประโยชน์ของโภชนาในแกะ**

### **1. แผนการทดลอง**

นำข้อมูลคุณค่าทางโภชนาและการย่อยได้ของวัตถุแห้งของเส้นใยปลาลัมหมักสูตรต่าง ๆ จากการทดลองที่ 1.2 มาพิจารณาคัดเลือกสูตรของเส้นใยปลาลัมหมักในการนำไปใช้เป็นอาหารทดลอง เพื่อศึกษาผลของการใช้เส้นใยปลาลัมหมักเป็นอาหารหยาบสำหรับแกะต่อปริมาณการกิน สัมประสิทธิ์การย่อยได้ การใช้ประโยชน์โภชนา และระดับไขมันระเหยง่ายในน้ำย่อยกระเพาะรูเมน โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) ทั้งนี้แบ่งสัตว์ทดลองโดยสุ่มเป็น 5 กลุ่มเพื่อทดลองอาหาร 5 ทริทเมนต์ กลุ่มละ 3 ตัว (3 ซ้ำ) เป็นจำนวนรวม 15 ตัว เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอาหาร 5 สูตร ได้แก่ เส้นใยปลาลัมหมัก 4 สูตรที่คัดจากการทดลองที่ 1.2 และกลุ่มควบคุม 1 สูตร คือ หญ้าแห้ง

### **2. การจัดการเลี้ยงดู**

ก่อนการทดลอง ทำความสะอาดกรง รางน้ำและรางอาหาร เตรียมสัตว์ทดลองโดยนำแกะขึ้นกรงทดลอง กรงละ 1 ตัว ทำการอาบน้ำ ถ่ายพยาธิทั้งภายนอกและภายใน และฉีดวัคซีนป้องกันโรคที่จำเป็น เลี้ยงสัตว์ทดลองด้วยหญ้าสดเป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้สัตว์ปรับสภาพให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมก่อนการให้อาหารทดลอง จากนั้นเริ่มทำการทดลองหาปริมาณการกิน การใช้

ประโยชน์โภชนะในสัตว์ทดลอง ด้วยการให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะเป็นสิ่งบ่งชี้ โดยให้อาหารทดลองแบ่งเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะปรับอาหารเพื่อให้สัตว์คุ้นเคยกับอาหารทดลอง โดยผสมอาหารทดลองกับหญ้าสด ตัดเป็นชิ้นเท่าอาหารทดลอง ผสมให้เข้ากัน ในวันแรกให้อาหารทดลองเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ของอาหารหยาบที่ให้ปกติ แล้วจึงเพิ่มอาหารทดลองขึ้นวันละ 10 เปอร์เซ็นต์จนครบ 100 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 10 ของการเปลี่ยนอาหาร

ระยะเตรียมการทดลอง (preliminary period) เป็นระยะที่ให้อาหารทดลองล้วน ๆ โดยให้แกะกินอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) เพื่อให้แกะปรับตัวตามชนิดอาหาร ใช้เวลา 14 วัน บันทึกปริมาณอาหารที่กินในแต่ละวันเพื่อวัดความสามารถในการกินได้ ปริมาณอาหารต่ำสุด และสูงสุดที่สัตว์กินได้เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

ระยะทดลอง (experimental period) เมื่อผ่านระยะเตรียมการทดลองแล้ว เป็นระยะที่เก็บข้อมูลจริง โดยทำการให้อาหารทดลองเพียง 90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่สัตว์สามารถกินได้เต็มที่ เพื่อป้องกันไม่ให้สัตว์เลือกกินอาหาร และสามารถนำอาหารไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ซึ่งใช้ข้อมูลจากระยะเตรียมการทดลอง แบ่งการให้อาหารเป็นสองครั้ง คือ เช้า 8.30 น. และเย็น 16.00 น. ใช้เวลาในการทดลอง 9 วัน โดยเริ่มเก็บข้อมูลหลังจากให้อาหารมื้อแรกแล้ว 48 ชั่วโมง (เก็บข้อมูล 7 วันสุดท้าย) บันทึกปริมาณอาหารที่กิน อาหารที่เหลือ (ถ้ามี) ตลอดจนปริมาณมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวัน โดยทุกระยะการทดลองมีการจัดน้ำสะอาดให้ได้กินตลอดเวลา และแขวนแร่ธาตุให้กินแบบอิสระ

### 3. การบันทึกผลการทดลอง

1. การเก็บตัวอย่างอาหาร ซึ่งและบันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้กินและที่เหลือกินของแกะแต่ละตัวทุกครั้งก่อนให้อาหารครั้งถัดไป นำอาหารที่เหลือออกจากราง สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารที่ให้และอาหารที่เหลือประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหารของสัตว์แต่ละตัวตลอด 7 วัน แบ่งตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์หาค่าความชื้นและไนโตรเจนทันที ส่วนที่เหลือให้ทำการอบแห้งแล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร นำมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางโภชนะต่อไป

2.การเก็บมูลและปัสสาวะ ทำการชั่งน้ำหนักมูล ชั่งและวัดปริมาณปัสสาวะในตอนเช้าของทุกวันก่อนการให้อาหารครั้งต่อไป สุ่มเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะของแต่ละตัวเก็บไว้ในตู้เย็นประมาณ 10 เพอร์เซ็นต์ ทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลอง จากนั้นนำมูลของแต่ละตัวที่แช่ตู้เย็นไว้ตลอด 7 วันออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ส่วนที่แข็งละลายแล้วนำมาผสมกัน แบ่งตัวอย่างมูลเก็บไว้ในตู้เย็นส่วนหนึ่ง อีกส่วนนำมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมี คือ ความชื้นและโปรตีน ส่วนที่เหลืออบให้แห้งแล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร นำมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางโภชนาต่อไปเช่นเดียวกับอาหารทดลอง สำหรับปัสสาวะ นำปัสสาวะของแต่ละตัวที่เก็บไว้ตลอด 7 วัน มาผสมกัน แบ่งเก็บไว้ในตู้เย็นประมาณ 200 มิลลิลิตร ส่วนที่เหลือนำมาวิเคราะห์หาไนโตรเจนเพื่อหาค่าสมดุลของไนโตรเจน

3.การชั่งน้ำหนักตัวสัตว์ ชั่งน้ำหนักแกะในสองวันสุดท้ายของระยะเตรียมการทดลองและสองวันสุดท้ายของระยะทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยทำการชั่งตอนเช้าก่อนการให้อาหาร

4.การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนาและค่าสมดุลไนโตรเจน ตามวิธีการของอังกณา และดวงสมร (2532) โดยคำนวณได้จาก

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนา} = \frac{(\text{วัตถุแห้งของโภชนาที่กิน} - \text{วัตถุแห้งของโภชนาในมูล}) \times 100}{\text{วัตถุแห้งของโภชนาที่กิน}}$$

สมดุลไนโตรเจน = ปริมาณไนโตรเจนที่กิน - ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกในมูลและปัสสาวะ

$$\text{ME (Mcal / kg)} = \text{DE (Mcal/kg)} \times \frac{96 - (0.202 \times \% \text{ CP})}{100}$$

หมายเหตุ สมการหาค่า ME นี้เป็นสมการที่ใช้สำหรับวัวขุน แกะ และม้า (Ensminger and Olentile, 1980)

5.การเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะรูเมนจากสัตว์ทดลอง ในวันสุดท้ายของการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยง่าย (กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก) และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในช่วงเวลาก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) และที่ 3 และ 6 ชั่วโมงหลังการให้อาหารทดลอง โดยทำการดูดของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid) ของสัตว์ทดลอง

ออกมาประมาณ 50-100 มิลลิลิตร กรองผ่านผ้ากรอง 2 ชั้น วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวที่ได้โดยใช้เครื่องวัด pH แบบเคลื่อนที่ได้ จากนั้นทำการปรับสภาพให้เป็นกรดทันทีเพื่อหยุดกระบวนการหมัก โดยเติมกรดเกลือความเข้มข้น 6 โมลาร์ จำนวน 5 มิลลิลิตรต่อของเหลวจากกระเพาะรูเมน 100 มิลลิลิตร นำของเหลวที่เก็บได้ไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็ว 4,500 - 5,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที แบ่งใส่ขวดเก็บตัวอย่างเป็นสองส่วน นำไปแช่แข็งเพื่อรอการวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยง่าย และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่อไป

#### 4. การวิเคราะห์ทางเคมี

1.วิเคราะห์หองค์ประกอบทางโภชนาอันได้แก่ ปริมาณวัตถุแห้ง ความชื้น โปรตีนรวม ไขมัน เยื่อใยรวม เถ้าและปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยวิธี Proximate analysis ตามวิธี A.O.A.C. (2000)

2.วิเคราะห์หาปริมาณผนังเซลล์ ปริมาณลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน ด้วยวิธี Detergent method ตามวิธีของ Van Soest (1969)

3.วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนโดยวิธี Magnesium oxide method ตามวิธี A.O.A.C. (2000)

4.วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด – ด่างโดยดัดแปลงจากวิธีของ Bolsen *et al.* (1990)

5.วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย โดยวิธีโครมาโทกราฟีแบบก๊าซของเหลว (Gas-Liquid Chromatography; GLC)

6.วิเคราะห์ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งด้วยวิธี *in sacco* (nylon-bag technique) ตามวิธีของ Ørskov and McDonald (1979)

## 5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

1. ข้อมูลคุณค่าทางโภชนาและค่าการย่อยได้วัตถุแห้งของเส้นใยปาล์มจาก 5 โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์โดย Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งมีแบบหุนทางสถิติคือ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

โดยที่

$Y_{ij}$	คือค่าสังเกตที่ได้จากโรงงานที่ $i$ ซ้ำที่ $j$
$\mu$	คือค่าเฉลี่ยร่วมในการทดลอง
$\tau_i$	คืออิทธิพลของโรงงานที่ $i$
$\varepsilon_{ij}$	คือความคลาดเคลื่อนของการทดลองโดย $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

2. ข้อมูลคุณค่าทางโภชนาและค่าการสลายของวัตถุแห้งของเส้นใยปาล์มหมัก ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยมันเส้น ยูเรีย และกากน้ำตาลนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์โดย Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งมีแบบหุนทางสถิติคือ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

โดยที่

$Y_{ij}$	คือค่าสังเกตที่ได้จากอาหารทดลองสูตรที่ $i$ ซ้ำที่ $j$
$\mu$	คือค่าเฉลี่ยร่วมในการทดลอง
$\tau_i$	คืออิทธิพลของอาหารทดลองสูตรที่ $i$
$\varepsilon_{ij}$	คือความคลาดเคลื่อนของการทดลองโดย $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

3. ข้อมูลน้ำหนักตัว ปริมาณการกิน และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะแต่ละทรีท เม้นต์นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีท เม้นต์โดย Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยมีแบบหุ่นทางสถิติคือ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

โดยที่

$Y_{ij}$  คือค่าสังเกตที่ได้จากทรีทเม้นต์ที่  $i$  ซ้ำที่  $j$

$\mu$  คือค่าเฉลี่ยร่วมในการทดลอง

$\tau_i$  คืออิทธิพลของทรีทเม้นต์ที่  $i$

$\epsilon_{ij}$  คือความคลาดเคลื่อนของการทดลองโดย  $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

4. ข้อมูลปริมาณการกินอาหารทดลองของแต่ละทรีทเม้นต์ นำมาวิเคราะห์แนวโน้ม ผลตอบสนองความเปลี่ยนแปลง โดยวิธีวิเคราะห์สมการเชิงเส้น (Regression) โดยกำหนดให้วันที่กินอาหารเป็นตัวแปรอิสระ และปริมาณอาหารที่กินต่อวันเป็นตัวแปรตาม วิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวสัตว์ ปริมาณการกิน และคุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลอง

5. ข้อมูลค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และกรดไขมันระเหยง่ายใน กระเพาะรูเมนที่ช่วงเวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร นำมาวิเคราะห์หาความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ Repeated Measurement Design เปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างทรีทเม้นต์ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่อาจมีผลต่อ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และกรดไขมันระเหยง่าย ได้แก่ ทรีทเม้นต์ เวลา และปริมาณการกิน

## 6. ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มการทดลอง มีนาคม 2548

สิ้นสุดการทดลอง ธันวาคม 2549

## 7. สถานที่ทำการทดลอง

1. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตนม สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์  
วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
2. ศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจ มหาวิทยาลัย  
เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
3. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตร  
ศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ
4. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน  
กรุงเทพฯ

## ผลและวิจารณ์

### การทดลองที่ 1

#### องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มจาก 5 โรงงาน

ผลจากการทดลองที่ 1 พบว่าองค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มในแต่ละโรงงานผลิตที่มีความแตกต่างกันประกอบด้วย ปริมาณวัตถุแห้ง เยื่อใยรวม และไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก โดยพบว่าปริมาณวัตถุแห้งจากโรงงานที่ 5 มีมากที่สุด ( $p < 0.05$ ) คือ 81.43 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือโรงงานที่ 2 3 1 และ 4 โดยมีปริมาณวัตถุแห้ง 79.61 79.52 78.06 และ 77.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ วรรณะ (2536) ที่รายงานว่าเส้นใยปาล์มมีปริมาณวัตถุแห้ง  $80.85 \pm 4.41$  เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณเยื่อใยรวมที่วิเคราะห์ได้พบว่าเส้นใยปาล์มจากโรงงานที่ 4 และ 5 มีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 57.95 และ 58.57 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง แต่ทั้งสองโรงงานมีปริมาณสูงกว่า ( $p < 0.05$ ) โรงงานที่ 1 2 และ 3 คือ 43.92 46.90 และ 51.09 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกในเส้นใยปาล์มที่มาจากแต่ละโรงงานเช่นกัน ( $p < 0.05$ ) โดยโรงงานที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกสูงที่สุด คือ 40.56 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับโรงงานที่ 2 คือ 38.53 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง แต่ทั้งสองโรงงานมีค่าสูงกว่าโรงงานที่ 3 4 และ 5 คือมีค่า 34.41 28.81 และ 29.33 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งตามลำดับ โดยโรงงานที่ 4 และ 5 ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

เส้นใยปาล์มที่มาจากแหล่งผลิตต่างกันไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณอินทรีย์วัตถุ โปรตีนรวม ไขมันรวม และเถ้าจากเส้นใยปาล์มจากแต่ละโรงงาน ซึ่งปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าระหว่าง 94.52 ถึง 95.51 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และมีค่าเฉลี่ยคือ  $95.05 \pm 0.31$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ปริมาณโปรตีนรวมมีค่าระหว่าง 5.91 ถึง 7.07 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และมีค่าเฉลี่ยคือ  $6.39 \pm 0.17$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับ วรรณะ (2536) ที่รายงานว่าเส้นใยปาล์มมีปริมาณโปรตีนรวม  $7.08 \pm 0.54$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ปริมาณไขมันรวมมีค่าระหว่าง 1.70 ถึง 3.71 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และมีค่าเฉลี่ยคือ  $2.65 \pm 1.70$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ซึ่งค่อนข้างต่ำกว่าโรงงานที่พบว่าไขมันรวมมีค่าเฉลี่ย  $8.83 \pm 1.36$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ปริมาณเถ้ามีค่าระหว่าง 4.49 ถึง 5.48 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และมีค่าเฉลี่ยคือ  $4.95 \pm 0.36$

เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ซึ่งต่ำกว่ารายงานที่พบว่าถั่วมีค่าเฉลี่ย  $6.82 \pm 0.67$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง (ตารางที่ 6)

**ตารางที่ 6** องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มน้ำมันจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มที่ได้จาก การวิเคราะห์ด้วยวิธี Proximate analysis

องค์ประกอบ (% วัตถุแห้ง)	โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม					SEM
	1	2	3	4	5	
วัตถุแห้ง	78.06 <sup>bc</sup>	79.61 <sup>ab</sup>	79.52 <sup>b</sup>	77.01 <sup>c</sup>	81.43 <sup>a</sup>	0.47
อินทรีย์วัตถุ	95.26	94.87	94.52	95.09	95.51	0.31
โปรตีนรวม	7.07	6.65	6.16	6.16	5.91	0.17
ไขมันรวม	3.71	2.79	2.86	2.17	1.70	0.06
เยื่อใยรวม	43.92 <sup>c</sup>	46.90 <sup>bc</sup>	51.09 <sup>b</sup>	57.95 <sup>a</sup>	58.57 <sup>a</sup>	1.25
ถั่ว	4.74	5.13	5.48	4.91	4.49	0.36
NFE <sup>1/</sup>	40.56 <sup>a</sup>	38.53 <sup>a</sup>	34.41 <sup>ab</sup>	28.81 <sup>b</sup>	29.33 <sup>b</sup>	1.06

<sup>a, b และ c</sup> ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

<sup>1/</sup> ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก (Nitrogen free extract)

สำหรับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธี Detergent method พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติสำหรับปริมาณผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใยปาล์มจากแต่ละโรงงาน โดยพบว่าปริมาณผนังเซลล์มีค่าระหว่าง 74.89 ถึง 78.36 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $76.73 \pm 0.34$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับ วรรณะ (2536) ที่รายงานว่าเส้นใยปาล์มมีปริมาณผนังเซลล์  $78.08 \pm 3.12$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ปริมาณลิกโนเซลลูโลสมีค่าระหว่าง 39.85 ถึง 42.11 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $41.24 \pm 0.16$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ซึ่งค่อนข้างต่ำกว่ารายงานที่พบว่ามีค่าเฉลี่ย  $60.10 \pm 1.13$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง เช่นเดียวกับปริมาณลิกนินที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติโดยมีปริมาณระหว่าง 19.56 ถึง 22.43 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $20.71 \pm 0.09$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้ทราบปริมาณของ เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส โดยเฮมิเซลลูโลสมีปริมาณระหว่าง 33.98 ถึง 39.25 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $36.09 \pm 0.11$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ในขณะที่เซลลูโลสมีปริมาณระหว่าง 19.45 ถึง 22.79 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $20.53 \pm 0.14$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง โดยค่าทั้ง 2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละโรงงานเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มน้ำมันจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Detergent method และค่าการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้ง

องค์ประกอบ (% วัตถุแห้ง)	โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม					SEM
	1	2	3	4	5	
ผนังเซลล์	74.89	75.30	76.79	78.36	78.30	0.34
ลิกโนเซลลูโลส	39.86	39.85	40.05	42.11	44.32	0.16
ลิกนิน	19.56	20.40	19.62	22.43	21.53	0.09
เฮมิเซลลูโลส	35.03	35.45	36.74	39.25	33.98	0.11
เซลลูโลส	20.30	19.45	20.43	19.68	22.79	0.14
pH	5.42	5.38	5.50	5.36	5.45	0.23
$P^{1/}$	30.65	30.73	30.68	30.77	30.73	0.19

<sup>1/</sup> ค่าศักยภาพการสลายตัว (Potential degradability) ของวัตถุแห้ง

สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างของเส้นใยปาล์มจากแต่ละโรงงานพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยมีค่าระหว่าง 5.36 ถึง 5.50 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $5.42 \pm 0.23$  เช่นเดียวกับค่าศักยภาพการสลายตัวของวัตถุแห้งเมื่อศึกษาในกระเพาะรูเมนด้วยเทคนิคถุงในล่อน ตามวิธีของ Ørskov and McDonald (1979) ที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติโดยมีค่าระหว่าง 30.65 ถึง 30.77 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $30.71 \pm 0.19$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง

ความแตกต่างขององค์ประกอบทางโภชนาในส่วนของปริมาณวัตถุแห้ง เยื่อใยรวม และปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเส้นใยปาล์ม 5 โรงงานอาจเกิดขึ้นจากคุณภาพของปาล์มและอายุของปาล์มที่ทยอยที่เป็นวัตถุดิบป้อนเข้าสู่โรงงานซึ่งมีผลโดยตรงต่อโภชนาที่มีอยู่ในผลปาล์ม นอกจากนี้ปริมาณวัตถุแห้งที่แตกต่างกันอาจมีสาเหตุมาจากการกระบวนการเก็บรักษาเส้นใยปาล์มก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยแต่ละโรงงานจะมีบริเวณที่ใช้เก็บต่างกันเช่น บางแห่งเป็นโรงเก็บที่สามารถกันแดด-ฝน บางแห่งเป็นลานกว้าง จึงทำให้ปริมาณความชื้นที่คงอยู่ในเส้นใยปาล์มมีแตกต่างกัน ค่าความเป็นกรด-ด่างอาจมีสาเหตุมาจากลักษณะการกองทับของเส้นใยปาล์มระหว่างการเก็บ ซึ่งส่งผลให้เกิดกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ขึ้น หากพิจารณาในด้านความเป็นไปได้ในการใช้เส้นใยปาล์มเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์กระเพาะรวม พบว่าเส้นใยปาล์มมีองค์ประกอบทางโภชนา เช่น ปริมาณผนังเซลล์และลิกโนเซลลูโลสใกล้เคียงกับเศษเหลือทางการเกษตรชนิดอื่นที่เกษตรกรนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ เช่น ฟางข้าว เปลือกและไหมข้าวโพดฝักอ่อน ซึ่งมีปริมาณผนังเซลล์เท่ากับ 77.02 และ 73.01 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งตามลำดับ (วารุณี และวลัยกานต์, 2542) เทียบกับปริมาณผนังเซลล์ของเส้นใยปาล์มในการศึกษาครั้งนี้มี  $76.73 \pm 0.34$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง เช่นเดียวกับปริมาณลิกโนเซลลูโลส ซึ่งฟางข้าวและเปลือกข้าวโพดหวานมีค่าเท่ากับ 51.10 และ 34.81 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง เมื่อเทียบกับเส้นใยปาล์มซึ่งมีค่าเฉลี่ยคือ  $41.24 \pm 0.16$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง สำหรับปริมาณลิกนินที่วิเคราะห์ได้มีค่าเฉลี่ยคือ  $20.71 \pm 0.09$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Obese *et al.* (2001) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.9 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการศึกษาของ Hassan (1996) ซึ่งพบว่าเส้นใยปาล์มมีลิกนินประกอบอยู่ประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง แต่เมื่อพิจารณาปริมาณลิกนินที่สัตว์กระเพาะรวมไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ซึ่งมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 17.56–21.85 เปอร์เซ็นต์ (Obese *et al.*, 2001) ยังนับว่าเส้นใยปาล์มมีลิกนินอยู่สูงมาก และเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์อีกด้วย

### การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยปาล์มเมื่อผลิตเป็นพีชหมัก

จากการนำเส้นใยปาล์มมาผลิตเป็นพีชหมักจำนวน 19 สูตร พบว่าเมื่อสิ้นสุดการหมัก 21 วัน องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มหมักเมื่อวิเคราะห์ทางเคมีมีความแตกต่างทางสถิติในส่วนของปริมาณ โปรตีนรวม และ ปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก โดยเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่เสริมยูเรีย 50 กรัมต่อเส้นใยปาล์ม 1000 กรัม (กลุ่มที่ 4 7 10 13 16 และ 19) จะมีค่าโปรตีนรวมสูงสุด ( $p < 0.01$ ) รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมยูเรีย 30 กรัมต่อเส้นใยปาล์ม 1000 กรัม (กลุ่มที่ 3 6 9 12 15 และ 18) และ 10 กรัมต่อเส้นใยปาล์ม 1000 กรัมตามลำดับ (กลุ่มที่ 2 5 8 11 14 และ 17) โดยกลุ่มที่มีค่าโปรตีนรวมสูงที่สุดคือ กลุ่มที่เสริมยูเรีย 50 กรัม มันเส้น 70 กรัมต่อเส้นใยปาล์ม 1000 กรัม ซึ่งมีค่าคือ 28.79 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ในขณะที่กลุ่มที่มีค่าโปรตีนรวมต่ำที่สุดคือ กลุ่มควบคุม (กลุ่มที่ 1) คือเส้นใยปาล์มหมักที่ไม่มีการเสริมยูเรีย มันเส้น และกากน้ำตาล ซึ่งมีค่าคือ 7.17 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง สอดคล้องกับรายงานของ Jayasuriya and Perera (1982) ที่พบว่าความเข้มข้นของยูเรียที่เพิ่มขึ้นเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในฟางข้าวสูงขึ้นตามความเข้มข้นของยูเรียที่เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณ ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งได้แก่แป้งและน้ำตาล แต่อาจมีส่วนของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินปนอยู่บ้าง (บุญล้อม, 2539) ค่านี้ไม่ได้จากการวิเคราะห์โดยตรง แต่ได้จากการคำนวณโดยนำค่าโปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม และเถ้ามาหักออกจากค่าของวัตถุแห้ง ดังนั้นหากมีค่าโปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม หรือเถ้า ค่าใดค่าหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป อาจส่งผลให้ค่าไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกเปลี่ยนแปลงตามได้ ดังนั้นปริมาณ ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มอาจเกิดจากค่าโปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม และเถ้า ที่วิเคราะห์ได้แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ค่าไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณแตกต่างกันตามไปด้วย

**ตารางที่ 8** องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มน้ำมันหมัก 19 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Proximate analysis

กลุ่มที่	องค์ประกอบทางโภชนา (% วัตถุแห้ง)						
	วัตถุแห้ง	อินทรีย์วัตถุ	โปรตีนรวม	ไขมันรวม	เยื่อใยรวม	เถ้า	NFE <sup>1/</sup>
1	39.56	94.58	7.17 <sup>D</sup>	6.62	43.99	5.42	36.80 <sup>a</sup>
2	39.90	94.43	12.06 <sup>C</sup>	6.65	42.91	5.57	32.81 <sup>ab</sup>
3	40.91	94.37	19.92 <sup>B</sup>	7.54	42.68	5.63	24.23 <sup>c</sup>
4	41.74	94.35	28.18 <sup>A</sup>	6.89	42.21	5.65	17.07 <sup>d</sup>
5	41.37	94.34	12.13 <sup>C</sup>	6.85	41.39	5.66	33.97 <sup>ab</sup>
6	39.95	94.30	20.46 <sup>B</sup>	7.10	41.12	5.70	25.62 <sup>bc</sup>
7	40.02	94.20	28.26 <sup>A</sup>	7.39	40.28	5.80	18.27 <sup>d</sup>
8	40.65	93.61	12.66 <sup>C</sup>	6.90	40.36	6.39	33.69 <sup>ab</sup>
9	39.88	93.55	20.99 <sup>B</sup>	5.85	40.28	6.45	26.43 <sup>bc</sup>
10	40.88	93.27	28.54 <sup>A</sup>	6.86	40.15	6.73	17.72 <sup>a</sup>
11	41.15	94.56	12.73 <sup>C</sup>	6.77	41.90	5.44	33.16 <sup>ab</sup>
12	41.41	94.48	21.77 <sup>B</sup>	6.76	41.80	5.52	24.15 <sup>c</sup>
13	41.76	94.43	28.48 <sup>A</sup>	6.01	41.51	5.57	18.43 <sup>d</sup>
14	44.61	94.43	12.62 <sup>C</sup>	5.45	40.85	5.57	35.51 <sup>a</sup>
15	45.03	94.39	21.94 <sup>B</sup>	7.69	39.96	5.61	24.80 <sup>c</sup>
16	45.37	94.33	28.65 <sup>A</sup>	7.61	39.91	5.67	18.16 <sup>d</sup>
17	46.40	94.38	12.90 <sup>C</sup>	5.31	39.96	5.62	36.21 <sup>a</sup>
18	46.59	94.35	21.98 <sup>B</sup>	5.94	39.85	5.65	26.58 <sup>bc</sup>
19	46.52	94.31	28.79 <sup>A</sup>	5.62	39.67	5.69	20.23 <sup>cd</sup>
<i>SEM</i>	1.19	0.97	0.46	0.01	0.26	0.03	0.29

A, B, C และ D ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

a, b, c และ d ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

<sup>1/</sup> ในโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก (Nitrogen free extract)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มหมัก 19 กลุ่ม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในส่วนของปริมาณวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ ไขมันรวม เยื่อใยรวม และเถ้า สำหรับปริมาณวัตถุแห้งมีค่าระหว่าง 39.56 ถึง 46.59 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยคือ  $42.30 \pm 1.19$  เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติแต่พบว่ากลุ่มควบคุม (เส้นใยปาล์มหมักที่ไม่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้น) มีปริมาณวัตถุแห้งต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้นทุกกลุ่ม นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล (กลุ่มที่ 2 ถึง 10) กับกลุ่มที่เสริมมันเส้น (กลุ่มที่ 11 ถึง 19) พบว่ากลุ่มที่เสริมมันเส้นมีแนวโน้มของปริมาณวัตถุแห้งสูงกว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล และเมื่อเปรียบเทียบเส้นใยปาล์มหมักเฉพาะในกลุ่มที่เสริมมันเส้น (กลุ่มที่ 11 ถึง 19) พบว่าปริมาณวัตถุแห้งมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับของมันเส้นที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ในการผลิตพืชหมักนอกจากมันเส้นจะช่วยดูดซับ ความชื้นแล้ว ยังช่วยเพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (Water Soluble Carbohydrates; WSC) เพื่อเป็นแหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกอีกด้วย เนื่องจากมันเส้นมีแป้งเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ จุลินทรีย์ที่ติดมากับพืชหรือมันเส้นพวก *Bacillus subtilis*, *Streptococcus bovis*, *Clostridium butyricum* ฯลฯ สามารถย่อยสลายแป้งทำให้ได้น้ำตาล กลูโคสและมอลโทส (วิลาวณิชย์, 2539) ซึ่งน้ำตาลกลูโคสเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ชนิดหนึ่ง

ปริมาณไขมันที่พบในเส้นใยปาล์มหมัก 19 กลุ่มมีค่าระหว่าง 5.31 ถึง 7.69 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งและมีค่าเฉลี่ยคือ  $6.62 \pm 0.01$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง สอดคล้องกับรายงานของวิบูลย์ศักดิ์ (2530) ที่พบว่าสารเคมีแต่ละชนิดและปริมาณที่ใช้ตลอดจนระยะเวลาที่ทำการปรับปรุงไม่ทำให้ไขมันในฟางข้าวเปลี่ยนแปลงไปมากนัก สำหรับปริมาณเยื่อใยรวมมีค่าระหว่าง 39.67 ถึง 43.99 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง และมีค่าเฉลี่ยคือ  $41.09 \pm 0.26$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง โดยแม้ว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติแต่พบว่ากลุ่มควบคุม (เส้นใยปาล์มหมักที่ไม่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้น) มีปริมาณเยื่อใยรวมสูงกว่ากลุ่มที่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้นทุกกลุ่ม นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล (กลุ่มที่ 2 ถึง 10) กับกลุ่มที่เสริมมันเส้น (กลุ่มที่ 11 ถึง 19) พบว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล มีแนวโน้มของปริมาณเยื่อใยรวมสูงกว่ากลุ่มที่เสริมมันเส้น และเมื่อเปรียบเทียบเส้นใยปาล์มหมักเฉพาะในกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล (กลุ่มที่ 2 ถึง 10) พบว่าปริมาณเยื่อใยรวมมีแนวโน้มลดลงตามระดับของกากน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบเส้นใยปาล์มหมักเฉพาะในกลุ่มที่เสริมมันเส้น (กลุ่มที่ 11 ถึง 19) พบว่าปริมาณเยื่อใยรวมมีแนวโน้มลดลงตามระดับของมันเส้นที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเยื่อใยรวมมี

แนวโน้มนลดลงตามระดับของการเสริมยูเรียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบในกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล หรือมันเส้นระดับเดียวกัน

สำหรับปริมาณเถ้าที่ได้จากการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางโภชนาของเส้นใยปาล์มหมัก 19 กลุ่มพบว่ามีความระหว่าง 5.42 ถึง 6.73 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และมีค่าเฉลี่ยคือ  $5.75 \pm 0.03$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง แม้ว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติแต่พบว่ากลุ่มควบคุม (เส้นใยปาล์มหมักที่ไม่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้น) มีปริมาณเถ้าต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้นทุกกลุ่ม นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล (กลุ่มที่ 2 ถึง 10) กับกลุ่มที่เสริมมันเส้น (กลุ่มที่ 11 ถึง 19) พบว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล มีแนวโน้มนของปริมาณเถ้าสูงกว่ากลุ่มที่เสริมมันเส้น และเมื่อเปรียบเทียบเส้นใยปาล์มหมักเฉพาะในกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล (กลุ่มที่ 2 ถึง 10) พบว่าปริมาณเถ้ามีแนวโน้มนสูงขึ้นตามระดับของกากน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากน้ำตาลมีปริมาณเถ้าเป็นส่วนประกอบอยู่สูงนั่นเอง ดังเห็นได้จากรายงานของ Karalazos and Swan (1977) ที่พบว่ากากน้ำตาลมีเถ้าสูงถึง 11 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบเส้นใยปาล์มหมักเฉพาะในกลุ่มที่เสริมมันเส้น (กลุ่มที่ 11 ถึง 19) พบว่าปริมาณเถ้ามีแนวโน้มนสูงขึ้นตามระดับของมันเส้นที่เพิ่มขึ้นโดยสาเหตุการเพิ่มขึ้นนี้อาจเกิดจากการปนเปื้อนของเศษดินทรายที่ติดมากับมันเส้นในระหว่างขั้นตอนการผลิตมันเส้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเถ้ามีแนวโน้มนเพิ่มขึ้นตามระดับของการเสริมยูเรียเมื่อเทียบในกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล หรือมันเส้นระดับเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wanapat (1986), พิชัย (2534) และ บุญล้อมและบุญเสริม (2535) ที่พบว่ายูเรียมีผลทำให้ปริมาณเถ้าในฟางข้าวเพิ่มขึ้น

สำหรับปริมาณเยื่อใยที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Detergent method พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติในส่วนของปริมาณผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส โดยพบว่าเส้นใยปาล์มหมักมีปริมาณผนังเซลล์ลดลงในทุกกลุ่มที่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้น เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (เส้นใยปาล์มหมักที่ไม่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้น) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบเส้นใยปาล์มหมักเฉพาะในกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล (กลุ่มที่ 2 ถึง 10) พบว่าปริมาณผนังเซลล์มีแนวโน้มนลดลงตามระดับของกากน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาเฉพาะในกลุ่มที่เสริมมันเส้น (กลุ่มที่ 11 ถึง 19) พบว่าปริมาณผนังเซลล์มีแนวโน้มนลดลงตามระดับของมันเส้นที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่ากลุ่มที่มีปริมาณผนังเซลล์เหลือน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 19 คือ 65.82 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มน้ำมันหมัก 19 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Detergent method

กลุ่มที่	องค์ประกอบทางโภชนา (% วัตถุแห้ง)					pH	P <sup>1/</sup>
	ผนังเซลล์	ลิกโนเซลลูโลส	ลิกนิน	เฮมิเซลลูโลส	เซลลูโลส		
1	73.03 <sup>a</sup>	58.55 <sup>a</sup>	26.52	14.48 <sup>b</sup>	32.03 <sup>a</sup>	4.65 <sup>a</sup>	30.36 <sup>d</sup>
2	71.85 <sup>ab</sup>	56.49 <sup>b</sup>	25.97	15.36 <sup>ab</sup>	30.52 <sup>ab</sup>	4.22 <sup>b</sup>	34.03 <sup>cd</sup>
3	71.45 <sup>ab</sup>	56.50 <sup>b</sup>	25.94	14.95 <sup>b</sup>	30.56 <sup>ab</sup>	4.26 <sup>b</sup>	34.49 <sup>cd</sup>
4	71.75 <sup>ab</sup>	56.20 <sup>b</sup>	25.89	15.55 <sup>ab</sup>	30.31 <sup>ab</sup>	4.29 <sup>b</sup>	35.45 <sup>c</sup>
5	70.33 <sup>b</sup>	55.02 <sup>bc</sup>	25.70	15.31 <sup>b</sup>	29.32 <sup>b</sup>	4.09 <sup>b</sup>	37.79 <sup>c</sup>
6	69.12 <sup>b</sup>	54.58 <sup>c</sup>	25.69	14.54 <sup>b</sup>	28.89 <sup>bc</sup>	4.13 <sup>b</sup>	40.56 <sup>b</sup>
7	69.63 <sup>b</sup>	54.80 <sup>c</sup>	25.66	14.83 <sup>b</sup>	29.14 <sup>bc</sup>	4.16 <sup>b</sup>	41.90 <sup>ab</sup>
8	68.98 <sup>bc</sup>	52.75 <sup>cd</sup>	25.46	16.23 <sup>a</sup>	27.29 <sup>c</sup>	4.02 <sup>b</sup>	42.25 <sup>a</sup>
9	68.90 <sup>bc</sup>	52.21 <sup>cd</sup>	25.05	16.69 <sup>a</sup>	27.16 <sup>cd</sup>	4.06 <sup>b</sup>	41.90 <sup>ab</sup>
10	67.90 <sup>c</sup>	52.54 <sup>cd</sup>	24.39	15.36 <sup>ab</sup>	28.15 <sup>c</sup>	4.10 <sup>b</sup>	43.21 <sup>a</sup>
11	71.13 <sup>ab</sup>	56.02 <sup>b</sup>	25.54	15.11 <sup>b</sup>	30.48 <sup>ab</sup>	4.72 <sup>a</sup>	33.65 <sup>d</sup>
12	71.34 <sup>ab</sup>	55.82 <sup>bc</sup>	25.38	15.52 <sup>ab</sup>	30.44 <sup>ab</sup>	4.80 <sup>a</sup>	34.86 <sup>cd</sup>
13	71.27 <sup>ab</sup>	55.71 <sup>bc</sup>	25.17	15.56 <sup>ab</sup>	30.54 <sup>ab</sup>	4.93 <sup>a</sup>	37.46 <sup>c</sup>
14	67.23 <sup>c</sup>	54.33 <sup>c</sup>	24.76	12.90 <sup>cd</sup>	29.57 <sup>b</sup>	4.38 <sup>ab</sup>	43.05 <sup>a</sup>
15	66.88 <sup>cd</sup>	54.19 <sup>c</sup>	24.68	12.69 <sup>d</sup>	29.51 <sup>b</sup>	4.44 <sup>ab</sup>	42.68 <sup>a</sup>
16	66.04 <sup>d</sup>	54.25 <sup>c</sup>	24.45	11.79 <sup>d</sup>	29.80 <sup>b</sup>	4.52 <sup>ab</sup>	42.64 <sup>a</sup>
17	66.80 <sup>cd</sup>	51.92 <sup>d</sup>	25.12	14.88 <sup>b</sup>	26.80 <sup>d</sup>	4.30 <sup>ab</sup>	42.27 <sup>a</sup>
18	66.46 <sup>d</sup>	52.08 <sup>cd</sup>	25.04	14.38 <sup>b</sup>	27.04 <sup>cd</sup>	4.35 <sup>ab</sup>	42.61 <sup>a</sup>
19	65.82 <sup>d</sup>	51.88 <sup>d</sup>	24.97	13.94 <sup>c</sup>	26.91 <sup>cd</sup>	4.46 <sup>ab</sup>	42.11 <sup>a</sup>
SEM	1.56	1.13	0.18	0.25	0.29	0.07	0.45

a, b, c และ d ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p < 0.05$ )

<sup>1/</sup> ค่าศักยภาพการสลายตัว (Potential degradability) ของวัตถุแห้ง

สำหรับลิกโนเซลลูโลสมีปริมาณลดลงในทุกกลุ่มที่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (เส้นใยปาล์มหมักที่ไม่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้น) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบเส้นใยปาล์มหมักเฉพาะในกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล (กลุ่มที่ 2 ถึง 10) พบว่าปริมาณลิกโนเซลลูโลสมีแนวโน้มลดลงตามระดับของกากน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาเฉพาะในกลุ่มที่เสริมมันเส้น (กลุ่มที่ 11 ถึง 19) พบว่าปริมาณลิกโนเซลลูโลสมีแนวโน้มลดลงตามระดับของมันเส้นที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่ากลุ่มที่มีปริมาณเหลือน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 19 คือ 51.88 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง แต่ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างปริมาณลิกนินในแต่ละกลุ่ม (ตารางที่ 9) โดยพบว่าปริมาณลิกนิน อยู่ระหว่าง 24.45 ถึง 26.52 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $25.34 \pm 0.18$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้ทราบปริมาณของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส โดยเฮมิเซลลูโลสมีปริมาณระหว่าง 11.79 ถึง 16.69 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $14.74 \pm 0.25$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ในขณะที่เซลลูโลสมีปริมาณระหว่าง 26.80 ถึง 32.03 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $29.18 \pm 0.29$  เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง

เมื่อวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าเส้นใยปาล์มหมักในกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาลมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้พบความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างพืชหมักแต่ละสูตร โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล (กลุ่มที่ 2 ถึง 10) กับกลุ่มที่เสริมมันเส้น (กลุ่มที่ 11 ถึง 19) พบว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาลมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมมันเส้น ( $p < 0.05$ ) และเมื่อพิจารณาเฉพาะในกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาลหรือมันเส้นในระดับเดียวกันพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับของการเสริมยูเรียที่สูงขึ้นด้วย สูตรที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุดคือกลุ่มที่ 8 (เส้นใยปาล์ม 1000 กรัมเสริมด้วยกากน้ำตาล 70 กรัมและยูเรีย 10 กรัม) โดยมีค่าเท่ากับ 4.02 และกลุ่มที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุดคือกลุ่มที่ 13 (เส้นใยปาล์ม 1000 กรัมหมักด้วยมันเส้น 30 กรัมและยูเรีย 50 กรัม) มีค่าเท่ากับ 4.93 การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างนี้เนื่องมาจากกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะไร้อากาศโดยแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) ซึ่งสามารถใช้น้ำตาลในพืชได้ทำให้เกิดกรดแลคติกในปริมาณสูง เป็นผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง และเกิดการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของพืชหมัก (Brookes and Buckle, 1992) ลักษณะพืชหมักที่ดีควรมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 4.20 (อำนาจ, 2540) นอกจากนี้ความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่างที่เกิดในเส้นใยปาล์มหมักแต่ละสูตรมีสาเหตุจากปริมาณของกากน้ำตาลและปริมาณยูเรียที่เสริมแตกต่างกัน ทั้งนี้เส้นใยปาล์มกลุ่ม

ควบคุมมีระดับน้ำตาลต่ำจึงถูกแบคทีเรียกรดแลคติกนำไปผลิตกรดแลคติกได้น้อย ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงได้น้อยตามไปด้วย เช่นเดียวกับกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล 30 กรัมซึ่งนอกจากจะมีน้ำตาลระดับต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล 70 กรัมแล้ว ยูเรียที่เสริมร่วมด้วย (10, 30 และ 50 กรัม) ยังสามารถแตกตัวให้  $\text{OH}^-$  ทำให้เส้นใยปาล์มมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น จึงยังต้องใช้กรดจำนวนมากในการลดระดับของค่ากรด-ด่างลง ดังนั้นการมีปริมาณน้ำตาลจำกัดจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีสูง (อำนาจ, 2540)

จากการศึกษาค่าการสลายตัวของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนด้วยเทคนิคดองในล่อนตามวิธีของ Orskov and McDonald (1979) พบว่า เมื่อนำค่าสังเกตที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าศักยภาพการสลายตัว พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าศักยภาพการสลายตัวในทุกกลุ่มที่เสริมยูเรียกากน้ำตาล และมันเส้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (เส้นใยปาล์มหมักที่ไม่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้น) ( $p < 0.05$ ) โดยเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่มีค่าศักยภาพการสลายตัวสูงที่สุดคือ กลุ่มที่ 10 (เส้นใยปาล์ม 1000 กรัมหมักด้วยกากน้ำตาล 70 กรัมและยูเรีย 50 กรัม) ซึ่งมีค่าศักยภาพการสลายตัวเท่ากับ 43.21 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และกลุ่มที่มีค่าศักยภาพการสลายตัวต่ำที่สุดคือกลุ่มควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 30.36 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ( $p < 0.05$ ) ค่าศักยภาพการสลายตัวของเส้นใยปาล์มหมักที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเสริมกากน้ำตาล มันเส้น และยูเรีย เกิดเนื่องจากยูเรียถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ยูริเอสจากจุลินทรีย์ที่ติดมากับพืช (Lacey, 1979) ได้เป็นแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ มีฤทธิ์เป็นด่างช่วยในการสลายพันธะของลิกนินและเซลลูโลสที่หุ้มผนังเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าไปย่อยโภชนาในพืชหมักได้มากขึ้น จึงทำให้การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุสูงขึ้น ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยปาล์มด้วยการหมักแบบเสริมสารช่วยการหมักมีผลช่วยเพิ่มค่าศักยภาพการสลายตัว ซึ่งค่าที่ได้นี้ยังมีความแตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม

## การทดลองที่ 2

### ศึกษาปริมาณการกิน การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ของโภชนะในแกะ

การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองต่อเนื่องจากการศึกษาคุณค่าทางโภชนะและค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งในเส้นใยปาล์มหมัก โดยนำเส้นใยปาล์มหมักมาทดลองให้แกะกินเพื่อดูผลตอบสนองของปริมาณที่กินได้ การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ของโภชนะ ทั้งนี้อาหารทดลองที่นำมาใช้จะถูกเลือกจากเส้นใยปาล์มหมักทั้ง 19 สูตรข้างต้นโดยใช้เกณฑ์คือ คัดเลือกเส้นใยปาล์มหมักที่มีค่าศักยภาพการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่สูงที่สุด 4 สูตร นำมาใช้เลี้ยงเปรียบเทียบกับอาหารควบคุมคือ หญ้าแพงโกล่าแห้ง (*Digitaria decumbens*) สำหรับเส้นใยปาล์มหมักที่ถูกเลือกมาใช้ประกอบด้วย เส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่ 10 (เส้นใยปาล์ม 1000 กรัมเสริมด้วยกากน้ำตาล 70 กรัมและยูเรีย 50 กรัม) กลุ่มที่ 14 (เส้นใยปาล์ม 1000 กรัมเสริมด้วยมันเส้น 50 กรัมและยูเรีย 10 กรัม) กลุ่มที่ 15 (เส้นใยปาล์ม 1000 กรัมเสริมด้วยมันเส้น 50 กรัมและยูเรีย 30 กรัม) และกลุ่มที่ 16 (เส้นใยปาล์ม 1000 กรัมเสริมด้วยมันเส้น 50 กรัมและยูเรีย 50 กรัม) ซึ่งมีค่าศักยภาพการสลายตัวของวัตถุแห้งเท่ากับ 43.21 43.05 42.68 และ 42.64 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งตามลำดับ เมื่อนำมาใช้ทดลองได้จัดกลุ่มสัตว์เพื่อให้อาหารทดลองดังนี้

กลุ่มที่ 1 กำหนดให้ได้รับอาหารสูตรควบคุมคือ หญ้าแพงโกล่าแห้ง ซึ่งตัดที่อายุ 90 วัน

กลุ่มที่ 2 กำหนดให้ได้รับเส้นใยปาล์มหมักซึ่งหมักด้วย เส้นใยปาล์ม กากน้ำตาล และยูเรีย ในอัตราส่วน 100 : 7 : 5 กิโลกรัม

กลุ่มที่ 3 กำหนดให้ได้รับเส้นใยปาล์มหมักซึ่งหมักด้วย เส้นใยปาล์ม มันเส้น และยูเรีย ในอัตราส่วน 100 : 5 : 1 กิโลกรัม

กลุ่มที่ 4 กำหนดให้ได้รับเส้นใยปาล์มหมักซึ่งหมักด้วย เส้นใยปาล์ม มันเส้น และยูเรีย ในอัตราส่วน 100 : 5 : 3 กิโลกรัม

และกลุ่มที่ 5 กำหนดให้ได้รับเส้นใยปาล์มหมักซึ่งหมักด้วย เส้นใยปาล์ม มันเส้น และยูเรียในอัตราส่วน 100 : 5 : 5 กิโลกรัม

สำหรับคุณค่าทางโภชนาของอาหารทดลองทั้ง 5 กลุ่มแสดงไว้ในตารางที่ 10 ทั้งนี้จะเห็นว่า อาหารทดลองกลุ่มควบคุมซึ่งเป็นหญ้าแพงโกล่าแห้งมีปริมาณวัตถุแห้งสูงที่สุดคือ 90.26 เปอร์เซ็นต์ และเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่ 2 3 4 และ 5 มีปริมาณวัตถุแห้งใกล้เคียงกันเท่ากับ 40.65 44.81 44.88 และ 45.15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับใกล้เคียงกันในทุกกลุ่ม โดยกลุ่มควบคุมมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ 5 4 3 และ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 94.95 94.56 94.52 94.48 และ 93.59 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งตามลำดับ

ปริมาณเยื่อใย ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลสของอาหารกลุ่มควบคุม (หญ้าแพงโกล่าแห้ง) เท่ากับ 32.81 75.91 และ 45.13 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง กลุ่มที่ 2 (เส้นใยปาล์มเสริมกากน้ำตาลและยูเรียหมักในอัตราส่วน 100 : 7 : 5 ) มีค่าเท่ากับ 40.08 67.59 และ 52.25 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง กลุ่มที่ 3 (เส้นใยปาล์มเสริมมันเส้นและยูเรียหมักในอัตราส่วน 100 : 5 : 1 ) มีค่าเท่ากับ 40.26 67.20 และ 54.42 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง กลุ่มที่ 4 (เส้นใยปาล์มเสริมมันเส้นและยูเรียหมักในอัตราส่วน 100 : 5 : 3 ) มีค่าเท่ากับ 39.92 66.75 และ 54.07 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และกลุ่มที่ 5 (เส้นใยปาล์มเสริมมันเส้นและยูเรียหมักในอัตราส่วน 100 : 5 : 5 ) มีค่าเท่ากับ 39.28 66.08 และ 54.38 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งตามลำดับ หญ้าแพงโกล่าแห้งมีปริมาณผนังเซลล์สูงกว่าเส้นใยปาล์มหมักทั้งสี่กลุ่ม (ตารางที่ 10) ทำให้มีความฟามสูง ซึ่งปกติพืชที่มีปริมาณผนังเซลล์สูงจะไปลดปริมาณการกินได้ของสัตว์เนื่องจากความจุของกระเพาะเป็นตัวจำกัด (Brosh *et al.*, 1998) สอดคล้องกับพนัส (2537) ซึ่งรายงานว่าอาหารที่มีผนังเซลล์สูงจะมีความหนาแน่นของอาหารต่ำ มีผลให้ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้และการย่อยได้ของพืชอาหารสัตว์ลดลง และต้องใช้เวลาในการเคี้ยวอาหารนานขึ้น แต่ผลจากการทดลองพบว่าแกะกลุ่มที่ได้รับหญ้าแห้งมีปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับเส้นใยปาล์มหมักทุกกลุ่ม ( $p < 0.01$ ) คือ 504.63 กรัม/ตัว/วันในกลุ่มควบคุม 324.87 320.78 312.88 และ 296.41 กรัม/ตัว/วันในกลุ่มที่ 5 4 และ 3 ตามลำดับ โดยแม้ว่าหญ้าแพงโกล่าแห้งจะมีปริมาณผนังเซลล์ สูงกว่าทั้งสี่กลุ่มก็ตาม บุญล้อมและคณะ (2540) รายงานว่าปริมาณลิกโนเซลลูโลสมีความสัมพันธ์ใน ทางตรงข้ามกับปริมาณการย่อยได้ และค่าลิกโนเซลลูโลสบอกค่าการย่อยได้ดีกว่าค่าผนังเซลล์ ถ้าอาหารมีอัตราการย่อยสลายสูงและมีอัตราการไหลผ่านจากกระเพาะรูเมนเร็ว สัตว์จะกินอาหาร ได้มากเป็นผลให้ได้รับโภชนาма สามารถให้ผลผลิตได้สูงตามไปด้วย เมื่อพิจารณาประกอบกับค่าลิกโนเซลลูโลสและลิกนิน (ตารางที่ 10) พบว่าหญ้าแพงโกล่าแห้งมีปริมาณ ลิกโนเซลลูโลสต่ำกว่าเส้นใยปาล์มหมักทั้งสี่กลุ่ม โดยมีค่าคือ 45.13 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง เมื่อเทียบกับเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่ 2 3 4 และ 5 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันคือ 52.25 54.42 54.07 และ 54.38 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และนอกจากนี้หญ้าแพงโกล่า

แห้งยังมีปริมาณลิกนินต่ำกว่าเส้นใยปาล์ม ทั้งสี่กลุ่มอีกด้วย โดยมีค่าเท่ากับ 7.59 เปอร์เซ็นต์ของ วัตถุแห้ง เมื่อเทียบกับเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่ 2 3 4 และ 5 ที่มีค่าใกล้เคียงกันคือ 24.25 24.67 24.58 และ 24.42 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ทั้งนี้ลิกนินเป็นปัจจัยสำคัญในการบ่งชี้ถึงปริมาณการ ย่อยได้ของอาหาร (พันทิพา, 2539) เนื่องจาก ลิกนินมีโครงสร้างเป็นโพลีเมอร์ซับซ้อนและจับอยู่ กับเฮมิเซลลูโลสของผนังเซลล์พืชด้วยพันธะโควาเลนต์ ป้องกันการทำงานของเอนไซม์ ไฮโดรไลติก (hydrolytic enzyme) จากจุลินทรีย์ในกระเพาะ รูเมนต่อคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้างของ พืช (Akin *et al.*, 1996) ทำให้อาหารย่อยได้ช้าและน้อยลง เมื่ออาหารย่อยได้ต่ำจึงมีอาหารตกค้าง ในทางเดินอาหารสูงและส่งผลให้การกินได้ลดต่ำลงด้วย

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า แกะกลุ่มที่ได้รับหญ้าแพงโกล่าแห้งมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น โดย เฉลี่ย 1.09 กิโลกรัม ( $p < 0.01$ ) ขณะที่กลุ่มซึ่งได้รับเส้นใยปาล์มหมักทั้งสี่กลุ่มมีน้ำหนักตัวลดลง ใกล้เคียงกัน โดยกลุ่มที่มีการลดลงของน้ำหนักตัวสูงที่สุดคือกลุ่มที่ 3 ทั้งนี้มีน้ำหนักลดลงเฉลี่ย 0.95 กิโลกรัม รองลงมาคือกลุ่มที่ 4 2 และ 5 ซึ่งมีน้ำหนักลดลงเฉลี่ย 0.92 0.85 และ 0.77 กิโลกรัมตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวสัตว์ในกลุ่มควบคุมอาจเกิดจากหญ้าแพงโกล่าแห้ง สามารถให้พลังงานและโภชนาที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าอาหารทดลองอีกสี่ ชนิด อีกทั้งสัตว์ในกลุ่มควบคุมมีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งต่อวัน ปริมาณการกินได้ของวัตถุ แห้งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว และปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว<sup>0.75</sup> สูงกว่าสัตว์ที่เลี้ยงด้วยเส้นใยปาล์มหมักทั้งสี่กลุ่มด้วย ( $p < 0.01$ )

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางโภชนาที่ได้จากการวิเคราะห์ของอาหารที่สัตว์กินระหว่างทดลอง

องค์ประกอบ (% วัตถุแห้ง)	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 5
	หญ้าแพงโกล่าแห้ง	โยปาล์ม:กากน้ำตาล:ยูเรีย 100 : 7 : 5	โยปาล์ม:มันเส้น:ยูเรีย 100 : 5 : 1	โยปาล์ม:มันเส้น:ยูเรีย 100 : 5 : 3	โยปาล์ม:มันเส้น:ยูเรีย 100 : 5 : 5
วัตถุแห้ง	90.26	40.65	44.81	44.88	45.15
ความชื้น	9.74	59.35	55.19	55.12	54.85
อินทรีย์วัตถุ	94.95	93.59	94.48	94.52	94.56
โปรตีนรวม	8.17	28.24	12.11	21.86	28.79
ไขมันรวม	3.78	6.55	6.45	7.47	7.07
เยื่อใยรวม	32.81	40.08	40.26	39.92	39.28
เถ้า	5.05	6.41	5.52	5.48	5.44
NFE <sup>1/</sup>	50.19	18.72	35.66	25.27	19.42
ผนังเซลล์	75.91	67.59	67.20	66.75	66.08
ลิกโนเซลลูโลส	45.13	52.25	54.42	54.07	54.38
เฮมิเซลลูโลส	30.78	11.53	12.78	12.68	11.70
เซลลูโลส	37.54	28.00	29.75	29.49	29.96
ลิกนิน	7.59	24.25	24.67	24.58	24.42

<sup>1/</sup> ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก (Nitrogen free extract)

ตารางที่ 11 น้ำหนักตัวแกะเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองที่ 2 และปริมาณการกิน

ลักษณะที่ศึกษา	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 5	SEM
น้ำหนักเริ่มทดลองเฉลี่ย (กก.)	19.90	20.23	19.63	19.57	19.93	0.29
น้ำหนักสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย (กก.)	20.99 <sup>A</sup>	19.38 <sup>B</sup>	18.68 <sup>B</sup>	18.65 <sup>B</sup>	19.17 <sup>B</sup>	0.35
น้ำหนักเปลี่ยนแปลง (กก.)	+1.09 <sup>A</sup>	-0.85 <sup>B</sup>	-0.95 <sup>B</sup>	-0.92 <sup>B</sup>	-0.77 <sup>B</sup>	0.08
ปริมาณการกินเฉลี่ย (กรัม/ตัว/วัน)	559.08 <sup>C</sup>	789.13 <sup>A</sup>	661.48 <sup>B</sup>	697.15 <sup>AB</sup>	719.53 <sup>AB</sup>	19.33
ปริมาณวัตถุแห้งที่กิน (กรัม/ตัว/วัน)	504.63 <sup>A</sup>	320.78 <sup>B</sup>	296.41 <sup>B</sup>	312.88 <sup>B</sup>	324.87 <sup>B</sup>	9.19
ก) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว	2.53 <sup>A</sup>	1.59 <sup>B</sup>	1.51 <sup>B</sup>	1.60 <sup>B</sup>	1.63 <sup>B</sup>	0.07
ข) กรัม / กิโลกรัมน้ำหนักตัว <sup>0.75</sup>	53.54 <sup>A</sup>	33.62 <sup>B</sup>	31.83 <sup>B</sup>	33.66 <sup>B</sup>	34.43 <sup>B</sup>	0.85

A, B และ C ค่าเฉลี่ยในแถวอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

### ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารทดลอง

จากการทดลองให้แกะกินอาหารทดลองคือ เส้นใยปาล์มหมักสีสูตร เปรียบเทียบกับหญ้าแพงโกล่าแห้งเพื่อศึกษาค่าโภชนะที่ย่อยได้ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง เยื่อใยผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลสในหญ้าแพงโกล่าแห้งมีค่าคือ 71.50 78.08 71.50 และ 66.49 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเส้นใยปาล์มหมักทั้งสี่กลุ่ม ( $p < 0.01$ ) ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าแพงโกล่าแห้งมีปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกสูง โดยไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกประกอบด้วยแป้งและน้ำตาลซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ดี จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยโภชนะต่าง ๆ สูงตามไปด้วย อีกทั้งหญ้าแพงโกล่าแห้งมีปริมาณของลิกนิน ต่ำกว่าเส้นใยปาล์มหมักอย่างชัดเจน จึงทำให้แบคทีเรียประเภทย่อยสลายเซลลูโลส (Cellulolytic bacteria) สามารถเข้าทำการย่อยและใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้มากกว่าด้วย นอกจากนี้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งในเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่ 2 และ กลุ่มที่ 5 มีค่าใกล้เคียงกันคือ 57.97 และ 58.75 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อีกทั้งยังมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยปาล์มกลุ่มที่ 2 และ 5 มีปริมาณโปรตีนรวมสูงกว่ากลุ่มที่ 3 และ 4 ทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถใช้โปรตีนจากอาหารหยาบเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเจริญและเพิ่มจำนวนประชากรได้มากกว่า เมื่อจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในกระเพาะหมักมีมากจะส่งผลต่อการย่อยอาหารโดยเฉพาะอาหารเยื่อใย เนื่องจากเชื้อราเป็นกลุ่มแรกที่เข้าไปลดการดัดของเส้นใย โดยทำลายการยึดกันระหว่างเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน (hemicellulose-lignin complex) ทำให้เส้นใยแตกออกได้ง่ายเวลาสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่งผลให้แบคทีเรียเข้าย่อยสลายได้ง่ายขึ้น จึงช่วยลดระยะพักตัวของเส้นใยในกระเพาะหมักให้สั้นลง (ฉลอง, 2541) ทำให้อัตราการไหลผ่านของอาหารสูงขึ้นและสัตว์สามารถกินอาหารหยาบได้สูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้นในอาหารทดลองส่งผลให้สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเยื่อใยรวม ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลสมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารทดลอง

สัมประสิทธิ์การย่อยได้ (% วัตถุแห้ง)	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 5	SEM
วัตถุแห้ง	71.50 <sup>A</sup>	57.97 <sup>B</sup>	46.12 <sup>C</sup>	52.57 <sup>BC</sup>	58.75 <sup>B</sup>	3.35
อินทรีย์วัตถุ	65.80	64.17	62.93	63.06	64.54	2.95
โปรตีนรวม	41.56 <sup>C</sup>	67.89 <sup>A</sup>	57.33 <sup>B</sup>	59.50 <sup>B</sup>	68.37 <sup>A</sup>	2.03
ไขมันรวม	35.69	35.90	37.85	36.79	38.92	1.78
เยื่อใยรวม	78.08 <sup>A</sup>	47.63 <sup>B</sup>	43.92 <sup>B</sup>	46.24 <sup>B</sup>	47.18 <sup>B</sup>	2.77
เถา	34.05	35.78	37.68	36.94	35.40	4.26
NFE <sup>1/</sup>	76.15 <sup>A</sup>	58.21 <sup>AB</sup>	56.84 <sup>B</sup>	57.40 <sup>B</sup>	58.89 <sup>AB</sup>	1.09
ผนังเซลล์	71.50 <sup>A</sup>	60.85 <sup>B</sup>	59.08 <sup>B</sup>	59.39 <sup>B</sup>	61.53 <sup>B</sup>	2.22
ลิกโนเซลลูโลส	66.49 <sup>A</sup>	53.63 <sup>B</sup>	50.46 <sup>B</sup>	51.96 <sup>B</sup>	54.12 <sup>B</sup>	2.03
พลังงานย่อยได้ (Kcal/kg)	703.94 <sup>A</sup>	428.38 <sup>B</sup>	406.59 <sup>B</sup>	417.42 <sup>B</sup>	436.24 <sup>B</sup>	5.68
พลังงานเมทาบอลิซึม (Kcal/kg)	667.00 <sup>A</sup>	386.81 <sup>B</sup>	380.38 <sup>B</sup>	382.29 <sup>B</sup>	393.42 <sup>B</sup>	6.33
ค่าสมมูลไนโตรเจน (กรัม/วัน)	1.14	2.18	1.25	1.93	2.63	0.63

A, B และ C ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

<sup>1/</sup> ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรค (Nitrogen free extract)

จากการที่ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะส่วนใหญ่ในเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่ 3 (เส้นใยปาล์มเสริมมันเส้นและยูเรียหมักในอัตราส่วน 100 : 5 : 1) มีค่าต่ำกว่าเส้นใยปาล์มหมักอีกสามกลุ่มเนื่องมาจากเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่ 3 มีระดับโปรตีนต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ และจากการทดลองพบว่าสัตว์ไม่ชอบกินเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มนี้ ปริมาณที่กินต่อวันน้อยมาก เพราะฉะนั้นจึงน่าจะมีผลทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้รับโภชนะไม่พอเพียง จุลินทรีย์มีการเจริญและเพิ่มจำนวนได้น้อยลง ดังนั้นจึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยโภชนะต่าง ๆ ในเส้นใยปาล์มหมักต่ำลงด้วย สอดคล้องกับจุฑารัตน์ (2520) ซึ่งกล่าวว่าโปรตีนเป็นโภชนะที่สำคัญต่อจุลินทรีย์ที่ย่อยอาหารหยาบ โดย Yokoyama and Johnson (1988) อธิบายว่าไนโตรเจนที่อยู่ในกรดอะมิโนหรือเปปไทด์จะมีอิทธิพลต่อการย่อยเยื่อใย โดยกรดอะมิโนชนิดที่มี branched chain จะถูกย่อยโดยแบคทีเรียประเภทไม่ย่อยสลายเซลลูโลส (non-cellulolytic bacteria) และจะผลิตสารไอโซแอซิด (isoacids) ซึ่งจำเป็นต่อแบคทีเรียประเภทย่อยสลายเซลลูโลส สอดคล้องกับ Karunanandaa and Varga (1996) ที่รายงานว่า การมีไอโซแอซิดและแอมโมเนียในโตรเจนอย่างจำกัดนั้นจะส่งผลกระทบต่อ การย่อยเยื่อใย

ในด้านพลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolized Energy; ME) หญ้าแพงโกล่าแห้งมีค่าสูงที่สุดคือ 667.00 Kcal/kg ( $p < 0.01$ ) โดยเส้นใยปาล์มหมักอีกสี่กลุ่มมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้ค่าที่ได้จากการคำนวณตามสูตรที่เสนอไว้ (Ensminger and Olentile, 1980) เป็นการคิดจากค่าพลังงานย่อยได้ โดยเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของพลังงาน ซึ่งหญ้าแพงโกล่าแห้งมีค่าสูงสุดรองลงมาคือเส้นใยปาล์มหมักกลุ่มที่ 5 2 4 และ 3 ตามลำดับ

**ผลการวิเคราะห์ระดับความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และกรดไขมันระเหยง่ายในน้ำ  
จากกระเพาะรูเมน**

ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนหลังกินอาหารทดลองของกลุ่มที่ได้รับหญ้า  
แพงโกล่าแห่งมีระดับต่ำที่สุด ( $p < 0.05$ ) ดังแสดงในตาราง 13 โดยมีค่าคือ 6.21 รองลงมาคือกลุ่ม  
ที่ 3 (เส้นใยปาล์มเสริมมันเส้นและยูเรียหมักในอัตราส่วน 100 : 5 : 1) กลุ่มที่ 4 (เส้นใยปาล์มเสริม  
มันเส้นและยูเรียหมักในอัตราส่วน 100 : 5 : 3) กลุ่ม 2 (เส้นใยปาล์มเสริมกากน้ำตาลและยูเรีย  
หมักในอัตราส่วน 100 : 7 : 5) และกลุ่มที่ 5 (เส้นใยปาล์มเสริมมันเส้นและยูเรียหมักในอัตราส่วน  
100 : 5 : 5) มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทุกช่วงเวลาที่ยึดตัวอย่างคือ 6.37 6.49 6.53 และ  
6.56 ตามลำดับ เมื่อวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนภายหลังจากกินอาหารที่เวลา 0 3 และ 6  
ชั่วโมง พบว่าอยู่ในระดับปกติ ซึ่งอยู่ในช่วง 5.5-7.2 (พันทิพา, 2539) โดยทั่วไปถ้าโคได้รับ  
อาหารขึ้นและอาหารหยาบในอัตราส่วนที่เหมาะสม ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะอยู่  
ในระดับประมาณ 5.8-6.5 (บุญล้อม, 2541)

**ตารางที่ 13** ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนภายหลังการกินอาหารทดลอง 5 กลุ่มที่  
เวลาต่างกัน

กลุ่มที่	ค่าความเป็นกรด-ด่าง			เฉลี่ย	SEM
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง		
1	6.41	6.15	6.06	6.21 <sup>c</sup>	0.64
2	6.78	6.49	6.31	6.53 <sup>ab</sup>	
3	6.67	6.34	6.11	6.37 <sup>bc</sup>	
4	6.74	6.41	6.23	6.46 <sup>b</sup>	
5	6.80	6.53	6.33	6.56 <sup>a</sup>	
เฉลี่ย	6.68 <sup>a</sup>	6.38 <sup>b</sup>	6.21 <sup>c</sup>		

<sup>a, b และ c</sup> ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อสภาพนิเวศน์วิทยาภายในกระเพาะรูเมน และค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 6.5–7.0 (Church, 1979) Preston and Leng (1987) รายงานว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนมีความสัมพันธ์ต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเยื่อใยจะเจริญและทำงานได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.2-6.8 และจะลดประสิทธิภาพลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6 โดยจะส่งผลให้การผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่สำคัญคือ กรดอะซิติกลดลง ส่วนจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยแป้งจะชอบสถานะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าคือประมาณ 5.2-6.0 โดยจะทำให้สัดส่วนของกรดโพรพิโอนิกเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม บุญล้อม (2541) รายงานว่าระดับความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่า 6 มีผลเสียต่อจุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใยโดยเฉพาะเมื่อมีค่าต่ำกว่า 5.5 และควรรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนไว้ที่ระดับ 5.8-6.5 ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวเนื่อง เช่น อัตราการดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายและแอมโมเนีย-ไนโตรเจน การไหลเวียนกลับของสารประกอบที่มีประจุลบ เช่น  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_4^-$  ปริมาณน้ำลายที่ผลิตออกมามีผลโดยตรงกับชนิดอาหาร (เมธา, 2533) ในน้ำลายมีสารประกอบพวกต่างสูง โดยเฉพาะ  $\text{NaHCO}_3$  ซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นบัฟเฟอร์สูง การหลั่งน้ำลายมีความสัมพันธ์กับชนิดอาหารที่กินและเวลาในการเคี้ยวเอื้อง สัตว์ที่ได้รับอาหารหยาบมากมีการหลั่งน้ำลายมากและใช้เวลาในการเคี้ยวาน จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าสัตว์ที่ได้รับอาหารชั้นระดับสูง (บุญล้อม, 2541)

ผลจากการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยพบว่าสัตว์ทดลองกลุ่มที่ 5 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนสูงที่สุดจะมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงตามไปด้วย เช่นเดียวกับสัตว์ทดลองกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุดจะมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 14) สอดคล้องกับ Leng and Nolan (1984) ที่รายงานว่าค่าความเป็นด่างสูง ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะสูงเช่นกัน Church (1979) อธิบายว่าอัตราการดูดซึมแอมโมเนียจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง ถ้าค่าความเป็นด่างสูง การดูดซึมแอมโมเนียผ่านผนัง epithelium ในกระเพาะรูเมนจะมากขึ้น แต่ถ้าค่าความเป็นกรดมีค่ามากการดูดซึมแอมโมเนียจะลดลง นอกจากนี้ยังมีผลต่อการดูดซึมกรดอะมิโนอิสระ วิตามินบี และแร่ธาตุต่างๆ ด้วย Owen and Goetsch (1988) รายงานว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่า 5.5 จะก่อให้เกิดภาวะกรดในกระเพาะรูเมนซึ่งมีผลต่อการดูดซึมสารอาหาร เนื่องจากส่วน papillae ในกระเพาะรูเมนลอกหลุดส่งผลให้การดูดซึมอาหารลดลง

ระยะเวลาหลังการกินอาหารมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยปกติค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดต่ำลงในช่วง 2-6 ชั่วโมงหลังการกินอาหาร (เมธา, 2533) ค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อชนิดและจำนวนจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ในกรณีที่สัตว์ได้รับอาหารชั้นมากค่าความเป็นกรดสูงแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้แป้ง (amylolytic bacteria) และ acid tolerant bacteria เพิ่มจำนวนมากขึ้น ขณะเดียวกันจำนวนแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสมีจำนวนลดลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อสัตว์ได้รับอาหารหยาบมากค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้น ถ้าระดับความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 6 แบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายเซลลูโลสจะมีจำนวนเพิ่มขึ้น (Moat and Foster, 1995)

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะรูเมนภายหลังการกินอาหารทดลอง 5 กลุ่มที่เวลาต่างกัน (มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์)

กลุ่มที่	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย	SEM
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง		
1	6.61	22.53	12.86	14.00 <sup>C</sup>	0.43
2	7.41	31.84	22.97	20.74 <sup>A</sup>	
3	6.89	24.14	16.60	15.88 <sup>BC</sup>	
4	7.02	26.96	18.38	17.45 <sup>B</sup>	
5	7.38	32.18	24.51	21.36 <sup>A</sup>	
เฉลี่ย	7.06 <sup>C</sup>	27.53 <sup>A</sup>	19.06 <sup>B</sup>		

A, B และ C ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะย่อยสลายโปรตีนในอาหารเพื่อใช้ในการสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน จากนั้นจึงถูกย่อยสลายและถูกดูดซึมไปใช้ในร่างกายสัตว์ต่อไป การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของอาหาร โดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนและพลังงานที่น้อยได้มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสม หากมีไนโตรเจนมากเกินไปจุลินทรีย์จะไม่สามารถนำไปใช้ได้ทัน โปรตีนที่สัตว์ได้รับจึงไม่เพิ่มขึ้น อาหารที่มีเยื่อใยสูงจะมีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนค่อนข้างต่ำ แต่ถ้าเสริมด้วยวัตถุดิบอาหารที่เป็นแหล่งแป้งและน้ำตาลจะมีค่าสูงขึ้น (วิบูลย์ศักดิ์, 2540)

จากปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักของสัตว์ทดลองที่เวลา 0 3 และ 6 ชั่วโมงหลังการกินอาหารพบว่า ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยในกลุ่มที่ 5 มีค่าสูงสุดคือ 21.36 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20.74 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ทั้งสองกลุ่มมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 4 3 และ 1 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 17.45 15.88 และ 14.00 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ( $p < 0.01$ ) จากการทดลองพบว่าระดับของโปรตีนในอาหารมีผลต่อปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน ดังจะเห็นจากกลุ่มทดลองที่ 5 ซึ่งได้รับอาหารหยาบที่มีปริมาณโปรตีนรวมอยู่ในระดับสูงจะมีปริมาณแอมโมเนียสูงตามเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนรวมในอาหารจะเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับจุลินทรีย์ โดยจะถูกย่อยและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ดังนั้นเมื่ออาหารมีปริมาณโปรตีนรวมสูงจะส่งผลให้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนสูงตามไปด้วย (เกรียงศักดิ์, 2539)

แหล่งแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนมาจาก 2 แหล่ง คือ ไนโตรเจนจากอาหารและการกลับคืนของแอมโมเนียเข้ามาในกระเพาะหมัก แหล่งแรกมาจากอาหารประเภทโปรตีนที่สัตว์กินจะถูกย่อยโดยแบคทีเรียและโปรโตซัวที่ผลิตเอนไซม์โปรติเอส ทำให้พันธะโปรตีนสั่นลง หลังจากนั้นเกิดการ deamination และในอาหารสัตว์ที่มียูเรียประกอบอยู่จะถูกแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตเอนไซม์ ยูริเอส เข้าย่อยยูเรียให้อยู่ในรูปแอมโมเนีย แหล่งที่สองมาจากการกลับคืนของแอมโมเนียเข้าสู่กระเพาะรูเมน โดยไนโตรเจนสามารถเข้าสู่กระเพาะรูเมนผ่านทางน้ำลายและการแพร่ยูเรียในเลือดผ่านผนังกระเพาะรูเมนซึ่งจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย ประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ได้รับจะถูกนำกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมน (Van Soest, 1982) การนำกลับของยูเรียเข้าสู่กระเพาะรูเมนช่วยทำให้การใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในสัตว์ที่ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำหรือระยะอดอาหาร การนำกลับของไนโตรเจนขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับ การเพิ่มไนโตรเจนในอาหารบางครั้งไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณการนำกลับของไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนเสมอไป ทั้งนี้เพราะ urea pool ในร่างกายถูกควบคุมโดยสรีระของสัตว์ การที่ไนโตรเจนกลับเข้าสู่กระเพาะหมักมีจำนวนไม่เพียงพอต่อความต้องการของของจุลินทรีย์ จึงจำเป็นที่สัตว์จะต้องได้รับไนโตรเจนส่วนที่เหลือมาจากอาหาร (Van Soest, 1982) ไนโตรเจนที่ได้รับจากอาหารและไนโตรเจนจากการนำกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนมีการแข่งขันกัน ทำให้ประสิทธิภาพการนำกลับเข้ามาใช้ประโยชน์ของยูเรียลดลงเมื่อสัตว์ได้รับอาหารที่มีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (บุญล้อม, 2541)

ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนคือ เมื่อแอมโมเนียเพิ่มขึ้น จะทำให้ในกระเพาะรูเมนมีสภาพเป็นด่างหรือมีระดับความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น โดยแอมโมเนียจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการหมักย่อยนานขึ้น จากการทดลองปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เวลา 0 3 และ 6 ชั่วโมงหลังการกินอาหารพบว่ามีความแตกต่างกัน โดยมีความเข้มข้นสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 3 หลังการกินอาหารซึ่งมีค่าเท่ากับ 27.53 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง โดยที่ 6 ชั่วโมงหลังจากกินอาหารมีค่าคือ 19.06 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ Ørskov (1992) รายงานว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนขึ้นอยู่กับชนิดอาหารและเวลาหลังการกินอาหาร จากข้อมูลจะพบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงสุดในชั่วโมงที่ 3 หลังการกินอาหารและค่อย ๆ ลดลงในชั่วโมงที่ 6 หลังการกินอาหาร สอดคล้องกับรายงานของ Van Soest (1982) ที่พบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะเพิ่มสูงสุดในชั่วโมงที่ 1-2 หลังการกินอาหาร ในขณะที่รายงานของพนัสและคณะ (2538) พบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงสุดในชั่วโมงที่ 4 หลังกินอาหารและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลานานขึ้น ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์มีการใช้แอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพื่อสร้างเป็นโปรตีนจุลินทรีย์

เมื่อพิจารณาเฉพาะกลุ่มสัตว์ทดลองที่เลี้ยงด้วยเส้นใยปาล์มหมักพบว่า กลุ่มที่ 3 (เส้นใยปาล์มเสริมมันเส้นและยูเรียหมักในอัตราส่วน 100 : 5 : 1 ) มีระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ ซึ่งปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ต่ำนี้จะไปจำกัดการย่อยได้ของผนังเซลล์ในระหว่างการหมักในกระเพาะรูเมน (Karunanandaa and Varga, 1996) ดังจะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของผนังเซลล์ในกลุ่มที่ 3 มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่น Church (1979) รายงานว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของอาหาร ปริมาณอาหาร ความสามารถในการแตกตัวของโปรตีนในอาหาร ความถี่ของการให้อาหาร โดยปริมาณที่เหมาะสมต่อการทำงานและเจริญของจุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 2-22 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Satter and Slyter (1974) รายงานว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5-8 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ หากปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำกว่านี้จะมีผลทำให้การเจริญของจุลินทรีย์ลดลง Perdock (1987) และ Ørskov (1992) กล่าวว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญ (limiting factor) ของจุลินทรีย์ ซึ่งมีผลต่อการย่อยได้ของอาหาร โดยเฉพาะอาหารกลุ่มเยื่อใย สอดคล้องกับ Perdock *et al.* (1988) ที่พบว่าระดับการย่อยอาหารมีค่าสูงสุดเมื่อปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเท่ากับ 10 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และเมื่อปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีค่าสูงเท่ากับ 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ จะทำให้ปริมาณการกินได้มีค่าสูงสุด Suwanlee and Wanapat (1994) พบว่าเมื่อปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนมีค่า

สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะสูงขึ้นไปอีกทั้งจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนมากขึ้นตามไปด้วย Wanapat *et al.* (1994) พบว่าเมื่อปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนเพิ่มจาก 3 เป็น 7.40 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ มีผลต่อปริมาณการกินได้โดยจะเพิ่มจาก 1.71 เป็น 2.09 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

อาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปจะถูกย่อยในกระเพาะรูเมนโดยการทำงานของจุลินทรีย์ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ได้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน โดยกรดไขมันระเหยง่ายส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นได้แก่ อะซิติก โพรพิโอนิก และบิวทีริก กรดไขมันชนิดอื่น ๆ เกิดขึ้นได้บ้างแต่มีปริมาณน้อย โดยเกิดจากกระบวนการ deamination ของกรดอะมิโนในกระเพาะรูเมน เช่น กรดไอโซบิวทีริก (isobutyric acid) และกรดวาเลอริก (valeric acid) เป็นต้น ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมนจะแปรผันระหว่าง 0.2-1.5 กรัมต่อน้ำจากกระเพาะรูเมน 100 มิลลิลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดอาหารและระยะเวลาหลังการกินอาหาร (บุญล้อม, 2532)

ผลจากการทดลองพบว่าแกะที่ได้รับหญ้าแพงโกล่าแห้งมีความเข้มข้นของกรดอะซิติกในกระเพาะรูเมนเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทดลองในระดับสูงที่สุด ( $p < 0.01$ ) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเส้นใยปาล์มหมักทุกกลุ่ม โดยมีค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ช่วงเวลาคือ 60.01 มิลลิโมลต่อลิตร ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเส้นใยปาล์มหมักด้วยกัน เนื่องจากหญ้าแพงโกล่าแห้งเป็นอาหารที่มีระดับเชื้อใยและเซลลูโลสสูง จุลินทรีย์ที่ย่อยเซลลูโลสสามารถย่อยได้มาก ทำให้เกิดกรดอะซิติกได้มาก สอดคล้องกับพนัส (2537) ที่รายงานว่าอาหารที่มีเชื้อใยเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของกรดอะซิติกสูงขึ้น และกรดโพรพิโอนิกมีความเข้มข้นต่ำลง ส่วนช่วงระยะเวลาภายหลังกินอาหารที่มีความเข้มข้นของกรดอะซิติกสูงที่สุดโดยเฉลี่ยคือ ที่เวลา 3 ชั่วโมงหลังกินอาหาร โดยมีค่าเท่ากับ 53.73 มิลลิโมลต่อลิตร

**ตารางที่ 15** ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดอะซิดิกภายในกระเพาะรูเมนภายหลังการกินอาหารทดลอง 5 กลุ่ม ที่เวลาต่างกัน (มิลลิโมลต่อลิตร)

กลุ่มที่	ปริมาณกรดอะซิดิก (มิลลิโมลต่อลิตร)			เฉลี่ย	SEM
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง		
1	50.60	68.91	60.52	60.01 <sup>A</sup>	2.35
2	39.88	49.93	41.71	43.84 <sup>B</sup>	
3	41.93	50.07	42.43	44.81 <sup>B</sup>	
4	38.93	48.48	39.40	42.27 <sup>B</sup>	
5	42.52	51.26	43.20	45.66 <sup>B</sup>	
เฉลี่ย	42.77 <sup>C</sup>	53.73 <sup>A</sup>	45.45 <sup>B</sup>		

A, B และ C ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p < 0.01$ )

อาหารหยาบที่มีเชื้อใยสูงอาจมีกรดอะซิดิกประมาณ 60-70 มิลลิโมลต่อลิตร เมื่อสัดส่วนของอาหารข้นเพิ่มขึ้น กรดอะซิดิกจะลดลง แต่กรดโพรพิโอนิกจะเพิ่มขึ้น กรรมวิธีในการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบบางอย่างเช่น การบดและการอัดอาหารอาจมีผลให้สัดส่วนของกรดไขมันทั้งสองชนิดเปลี่ยนไป กรดอะซิดิกนี้นอกจากจะถูกเผาผลาญในร่างกายเพื่อใช้เป็นพลังงานแล้ว ยังถูกใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อสร้างไขมันในนมและเนื้อด้วย (บุญล้อม, 2541)

**ตารางที่ 16** ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดโพรฟิโอนิกภายในกระเพาะรูเมนภายหลังการกินอาหารทดลอง 5 กลุ่มที่เวลาต่างกัน (มิลลิโมลต่อลิตร)

กลุ่มที่	ปริมาณกรดโพรฟิโอนิก (มิลลิโมลต่อลิตร)			เฉลี่ย	SEM
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง		
1	9.92	11.31	10.84	10.69	0.87
2	10.13	11.48	10.32	10.64	
3	9.79	11.20	10.22	10.40	
4	10.26	11.62	10.72	10.87	
5	9.81	11.18	10.11	10.37	
เฉลี่ย	9.98 <sup>c</sup>	11.36 <sup>a</sup>	10.44 <sup>b</sup>		

<sup>a, b และ c</sup> ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ผลจากการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดโพรฟิโอนิกตลอดช่วงการทดลองของทุกกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันคือ 10.69 10.64 10.40 10.87 และ 10.37 มิลลิโมลต่อลิตรในกลุ่มที่ 1 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ นอกจากนี้ช่วงระยะเวลาภายหลังการกินอาหารที่มีความเข้มข้นของกรดโพรฟิโอนิกสูงที่สุดโดยเฉลี่ยคือที่เวลา 3 ชั่วโมงหลังกินอาหาร โดยมีค่าเท่ากับ 11.36 มิลลิโมลต่อลิตร ( $p < 0.01$ )

โดยปกติกรดโพรฟิโอนิกในกระเพาะรูเมนมีประมาณ 18-20 โมลาร์เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด (บุญล้อม, 2541) ถ้าได้รับอาหารชั้นสูงจะทำให้มีสัดส่วนของกรดชนิดนี้สูงขึ้น กรดโพรฟิโอนิกเป็นแหล่งที่มีความสำคัญที่สุดในการผลิตกลูโคสสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารแต่ไม่มีการดูดซึมเอากลูโคสจากลำไส้เล็กไปใช้ได้ ในโคพบว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของกลูโคสได้จากการผลิตจากกรดโพรฟิโอนิก (เมธา, 2533) กรดโพรฟิโอนิกจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปยังตับเพื่อสังเคราะห์เป็นน้ำตาลกลูโคสในเลือด และใช้ในการสังเคราะห์เป็นน้ำตาลในนม (Preston and Leng, 1987) โดยปริมาณของกรดโพรฟิโอนิกที่ถูกดูดซึมเข้าไปจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกลูโคสได้ตั้งแต่ 19-60 เปอร์เซ็นต์

การผลิตกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมนอาจถูกผลิตจากกรดอะซิติก หรือจากสารประกอบที่สามารถผลิต acetyl-CoA เช่น ไพรูเวท หรือกลูตามัท (เมธา, 2533) ดังนั้นปริมาณกรดบิวทีริกที่เกิดขึ้นจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นกรดอะซิติกที่มีอยู่ ผลจากการทดลองพบว่าสัตว์ทดลองกลุ่มควบคุมที่ได้รับหญ้าแพงโกล่าแห้งมีปริมาณกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมนต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับเส้นใยปาล์มหมักทุกกลุ่มโดยมีค่าคือ 6.96 มิลลิโมลต่อลิตร สำหรับกลุ่มที่ได้รับเส้นใยปาล์มหมักอีกสี่กลุ่มมีปริมาณกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมนอยู่ระดับปกติและค่อนข้างคงที่โดยตลอดช่วงการทดลองของทุกกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันคือ 7.59 7.54 7.66 และ 7.51 มิลลิโมลต่อลิตรในกลุ่มที่ 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าช่วงระยะเวลาภายหลังการกินอาหารที่มีความเข้มข้นของกรดบิวทีริกสูงที่สุดโดยเฉลี่ยคือที่เวลา 3 ชั่วโมงหลังกินอาหาร โดยมีค่าเท่ากับ 8.09 มิลลิโมลต่อลิตร ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดบิวทีริกภายในกระเพาะรูเมนภายหลังการกินอาหารทดลอง 5 กลุ่มที่เวลาต่างกัน (มิลลิโมลต่อลิตร)

กลุ่มที่	ปริมาณกรดบิวทีริก (มิลลิโมลต่อลิตร)			เฉลี่ย	SEM
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง		
1	6.24	7.62	7.01	6.96 <sup>b</sup>	0.76
2	7.18	8.27	7.33	7.59 <sup>a</sup>	
3	7.13	8.11	7.39	7.54 <sup>a</sup>	
4	7.12	8.38	7.48	7.66 <sup>a</sup>	
5	7.19	8.07	7.28	7.51 <sup>a</sup>	
เฉลี่ย	6.97 <sup>b</sup>	8.09 <sup>a</sup>	7.30 <sup>b</sup>		

<sup>a</sup> และ <sup>b</sup> ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

เมื่อพิจารณาเฉพาะสัตว์ทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเส้นใยปาล์มหมักพบว่ากลุ่มที่ 4 มีแนวโน้มของปริมาณกรดบิวทีริกสูงกว่าอีกสามกลุ่ม รองลงมาคือกลุ่มที่ 2 3 และ 5 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 17 สก็คส์ลีทรี (2540) รายงานว่าอาหารที่มีเยื่อใยสูง พลังงานย่อยได้ต่ำ จะมีสัดส่วนของกรดอะซิติกต่ำลงแต่มีกรดบิวทีริกเพิ่มขึ้น เนื่องจากพลังงานมีผลต่อจุลินทรีย์ที่ทำการหมักย่อยอาหารในกระเพาะรูเมน เมื่ออาหารมีพลังงานต่ำจุลินทรีย์จะย่อยเยื่อใยได้น้อยลง จึงเกิดกรดอะซิติกต่ำลง กรดบิวทีริกจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานหรือเป็นแหล่งกรดไขมันในเนื้อเยื่อต่าง ๆ (พนัส และคณะ, 2538)

สำหรับปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวมทั้งหมดในการทดลองนี้ ได้แก่ผลรวมของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริกตามลำดับ เนื่องจากกรดไขมันระเหยง่ายชนิดอื่น ๆ นอกเหนือจากสามชนิดนี้พบในปริมาณต่ำมากจึงไม่นำมารวมไว้ ผลการวิเคราะห์พบว่าแต่ละกลุ่มที่ได้รับหญ้าแพงโกล่าแห้งมีค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดสูงสุด คือมีค่าเท่ากับ 77.66 มิลลิโมลต่อลิตร ( $p < 0.01$ ) สำหรับกลุ่มที่ได้รับเส้นใยปาล์มหมักอีกสี่กลุ่มมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดในกระเพาะรูเมนอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน โดยตลอดช่วงการทดลองมีคือ 62.08 62.76 60.80 และ 63.54 มิลลิโมลต่อลิตรในกลุ่มที่ 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจะสูงสุดในชั่วโมงที่ 3 หลังกินอาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.18 มิลลิโมลต่อลิตร ( $p < 0.05$ ) และลดต่ำลงในชั่วโมงที่ 6 ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดไขมันแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดภายในกระเพาะรูเมนภายหลังการกินอาหารทดลอง 5 กลุ่มที่เวลาต่างกัน (มิลลิโมลต่อลิตร)

กลุ่มที่	ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิโมลต่อลิตร)			เฉลี่ย	SEM
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง		
1	66.76	87.84	78.37	77.66 <sup>A</sup>	2.05
2	57.19	69.68	59.36	62.08 <sup>B</sup>	
3	58.85	69.38	60.04	62.76 <sup>B</sup>	
4	56.31	68.48	57.6	60.80 <sup>B</sup>	
5	59.52	70.51	60.59	63.54 <sup>B</sup>	
เฉลี่ย	59.73 <sup>C</sup>	73.18 <sup>A</sup>	63.19 <sup>B</sup>		

<sup>A</sup> และ <sup>B</sup> ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

กรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้นจากการย่อยอาหารนี้จะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ โดยให้พลังงานได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่สัตว์ต้องการ (Preston and Leng, 1987) ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายจะแปรผันระหว่าง 70 ถึง 150 มิลลิโมลต่อลิตร (บุญล้อม, 2541) ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและเวลาหลังการกินอาหาร การหมักย่อยอาหารประเภทแป้งจะเกิดขึ้นเร็วกว่าอาหารประเภทเชื้อใย นอกจากนี้อาหารที่มีส่วนประกอบเหมือนกันแต่มีระดับที่ต่างกันจะมีผลให้ระดับกรดไขมันระเหยง่ายต่างกันไปด้วย

## สรุปและข้อเสนอแนะ

องค์ประกอบทางโภชนาของเส้นใยปาล์มในแต่ละโรงงานผลิตที่มีความแตกต่างกัน ประกอบด้วย ปริมาณวัตถุแห้ง เยื่อใยรวม และไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณอินทรีย์วัตถุ โปรตีนรวม ไขมันรวม เถ้า ปริมาณผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส ลิกนิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าศักย์ภาพการสลายตัวของวัตถุแห้ง อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของปริมาณวัตถุแห้ง เยื่อใยรวม และปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกที่ได้จากการวิเคราะห์อาจเกิดขึ้นจากคุณภาพของปาล์มและอายุของปาล์มทั้งทะเลาะ และกระบวนการเก็บรักษาเส้นใยปาล์มก่อนนำมาวิเคราะห์

เมื่อนำเส้นใยปาล์มมาผลิตเป็นพืชหมักพบว่าองค์ประกอบทางโภชนาที่มีความแตกต่างทางสถิติในส่วนของปริมาณโปรตีนรวม และ ปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก โดยปริมาณโปรตีนรวมจะมีค่าสูงขึ้นตามระดับการเพิ่มของยูเรียที่ใช้เสริมในการหมัก สำหรับปริมาณ ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกเกิดจากค่าโปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม และเถ้า ที่วิเคราะห์ได้แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ค่าไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณแตกต่างกันตามไปด้วย สำหรับปริมาณเยื่อใยพบมีความแตกต่างกันทางสถิติในส่วนของปริมาณผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส โดยปริมาณผนังเซลล์และลิกโนเซลลูโลส ลดลงในทุกกลุ่มที่เสริมยูเรีย กากน้ำตาล และมันเส้น นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยปาล์มด้วยการหมักแบบเสริมสารช่วยการหมักมีผลช่วยเพิ่มค่าศักย์ภาพการสลายตัวของวัตถุแห้ง

การนำเส้นใยปาล์มหมักที่มีค่าศักย์ภาพการย่อยสลายของวัตถุแห้งมาทดลองให้แกะกินเพื่อศึกษาการตอบสนองของปริมาณที่กินได้ การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ของโภชนา โดยนำมาใช้เลี้ยงเปรียบเทียบกับหญ้าแพงโกล่าแห่งนั้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า แกะกลุ่มที่ได้รับหญ้าแพงโกล่าแห่งมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ขณะที่กลุ่มซึ่งได้รับเส้นใยปาล์มหมักทั้งสี่กลุ่มมีน้ำหนักตัวลดลงใกล้เคียงกัน การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวแกะในกลุ่มควบคุมอาจเกิดจากสัตว์มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งต่อวัน โดยปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว และปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว<sup>0.75</sup> สูงกว่าสัตว์ที่เลี้ยงด้วยเส้นใยปาล์มหมัก อีกทั้งพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง เยื่อใย ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลสในหญ้าแพงโกล่าแห่งมีค่าสูงกว่าเส้นใยปาล์มหมักทั้งสี่กลุ่ม โดยทั้งนี้เนื่องจากหญ้าแพงโกล่าแห่งมี

ปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกสูง จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ดี นอกจากนี้ยังมีปริมาณลิกนินต่ำ กว่าเส้นใยปาล์มหมักอย่างชัดเจน ทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าทำการย่อยและใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้มากกว่าด้วย เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำจากกระเพาะรูเมนมาวิเคราะห์ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยสัตว์กลุ่มที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนสูง จะมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงตามไปด้วย ในทางกลับกันสัตว์ทดลองที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำจะมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ยังพบอีกว่าระดับของโปรตีนในอาหารมีผลต่อปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน โดยเมื่ออาหารมีปริมาณโปรตีนรวมสูงจะส่งผลให้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนสูงตามไปด้วย

แกะที่ได้รับหญ้าแพงโกล่าแห้งมีความเข้มข้นของกรดอะซิติกสูงที่สุดในขณะที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเส้นใยปาล์มหมักด้วยกัน เนื่องจากหญ้าแพงโกล่าแห้งเป็นอาหารที่มีระดับเชื้อใยและเซลลูโลสสูง จุลินทรีย์ที่ย่อยเซลลูโลสสามารถย่อยได้มาก ทำให้เกิดกรดอะซิติกได้มาก ในขณะที่ความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกจากทุกกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้พบว่าปริมาณกรดบิวทีริกที่เกิดมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นกรดอะซิติกที่มีอยู่ โดยแกะที่ได้รับหญ้าแพงโกล่าแห้งมีปริมาณกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมนต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับเส้นใยปาล์มหมักทุกกลุ่ม และกลุ่มที่ได้รับเส้นใยปาล์มหมักมีปริมาณกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมนอยู่ระดับปกติและค่อนข้างคงที่โดยตลอดช่วงการทดลองของทุกกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดในการทดลองนี้ พบว่าแกะกลุ่มที่ได้รับหญ้าแพงโกล่าแห้งมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และกลุ่มที่ได้รับเส้นใยปาล์มหมักอีกสี่กลุ่มมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน อีกทั้งพบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจะสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 3 หลังกินอาหารและลดต่ำลงในชั่วโมงที่ 6 ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดไขมันแต่ละชนิด

หากพิจารณาในด้านความเป็นไปได้ในการใช้เส้นใยปาล์มเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์กระเพาะรวมพบว่าเส้นใยปาล์มมีองค์ประกอบทางโภชนาเช่น ปริมาณผนังเซลล์และลิกโนเซลลูโลสใกล้เคียงกับเศษเหลือทางการเกษตรชนิดอื่นที่เกษตรกรนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ เช่น ฟางข้าว เปลือกและไหมข้าวโพดฝักอ่อน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณลิกนินยังนับว่าเส้นใยปาล์มมีลิกนินอยู่สูงมาก และเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นหากต้องการนำเส้นใยปาล์มมาใช้เป็นอาหารสัตว์ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องการใช้ควบคู่กับพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่นและการใช้ร่วมกับอาหารข้นเพื่อเป็นการลดผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กองอาหารสัตว์. 2529. ผลการวิเคราะห์อาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กานดา พันสุรินทร์, อุทัย คั่นโธ, สุกัญญา จัดตุพรพงษ์. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลังและข้าวโพดในสูตรอาหารต่อระดับพีเอช ปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค/ไม่ก่อให้เกิดโรคที่ปลายลำไส้เล็กสุกรระยะรุ่น และในมูลสุกรระยะขุน ใน เรื่อง **เต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 41 สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ศาสตร์ ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. กรุงเทพฯ.
- เกรียงศักดิ์ สถาปนศิริ. 2533. การย่อยได้ของแป้งจากข้าวเปลือกข้าวบด ปลายข้าวข้าวและมันสำปะหลังเส้นในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารของโคนม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกรียงศักดิ์ สะอาดรักษ์. 2539. ผลการเสริมอาหารเม็ดคุณภาพสูงต่อปริมาณการกินได้ รูปแบบของกระบวนการหมักในรูเมน ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมในโคนม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- จารุรัตน์ เศรษฐภักดี. 2528. อาหารสัตว์เศรษฐกิจ. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, สงขลา.
- จินดา สนิทวงศ์, อุดมศรี อีทรโชติ, ธวัชชัย สุวรรณกำจาย, ศรีณยา วิทยานุกาพเย็นง และชาญชัย มณีคุณย์. 2528. การใช้มันเส้นเป็นแหล่งอาหารพลังงานสำหรับโคขุน ใน **ประมวลเรื่องการประชุมทางวิชาการปศุสัตว์ ครั้งที่ 4 3-5 กรกฎาคม 2528**. กรุงเทพฯ.
- จุฑารัตน์ ศรีพรหมมา. 2520. การศึกษาคุณค่าทางอาหารและการย่อยได้ของหญ้าขนหมักที่เติมและไม่เติมสารช่วยการหมักต่างชนิดกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจริญศักดิ์ โจรนฤทธิพิเชษฐ์. 2532. **มันสำปะหลัง การปลูก อุตสาหกรรมการแปรรูป และการใช้ประโยชน์.** ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฉลอง วชิราภากร. 2541. **โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ฉลอง วชิราภากร, เมธา วรรณพัฒน์, นิโรจน์ ศรสูงเนิน และ สุรชัย โต้สุวรรณ. 2542. ผลของระดับมันสำปะหลังในอาหารโคนมต่อการให้ผลผลิตน้ำนม. **วารสารวิจัย มข.** 4 (2) : 29-36.

เทอดชัย เวียรศิลป์. 2532. **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.** ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นันทวัน ธนะศรีสุธารัตน์, สุจิตตรา มุลชัยสุข, สุพรรณษา ตาถาวรณ, อุทัย คันโช และ สุกัญญา จิตคุพรพงษ์. 2545. ผลการใช้มันสำปะหลังเปรียบเทียบกับข้าวโพดในอาหารไก่กระตังที่มี **การเสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะ.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด. 2546. แหล่งที่มา: <http://www.geocities.com/Ratchanoo20012001/>. 8 สิงหาคม 2547.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2532. **โภชนศาสตร์สัตว์.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และ บุญเสริม ชีวะอิสระกุล. 2535. ยูเรีย-กากน้ำตาล หัวอาหารเข้มข้นชนิดก้อน, 1. ผลการเสริมที่มีต่อการย่อยได้ของฟาง, น. 275-286. ใน **รายงานการประชุมวิชาการ สาขาสัตว, ครั้งที่ 30 ณ** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- พนัส ธรรมกิริตวิวงศ์. 2537. การใช้ประโยชน์ของอาหารผสมเสริมอัดแท่งในโค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พนัส ธรรมกิริตวิวงศ์, พรศรี ชัยรัตนายุทธ์ และ สมเกียรติ ทิมพัฒน์พงศ์. 2538. ผลของอาหารผสมเสริมอัดแท่งต่อการหมักย่อยในรูเมนและเลือดโค. วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย์.) 29: 314-325.
- พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์. 2539. หลักการอาหารสัตว์เล่ม 2. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- พานิช ทินนิมิตร. 2527. โภชนศาสตร์ประยุกต์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พิชัย แซ่ไหน. 2534. การใช้กากปาล์มน้ำมันร่วมกับฟางข้าวปรุงแต่งยูเรียในอาหารแพะหลังหย่านม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- เมธา วรรณพัฒน์. 2529. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- วรรณะ ม้าเถียว. 2536. การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเป็นอาหารโค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วารุณี พานิชผล และ วลัยกานต์ เจียมเจตจรูญ. 2542. ตารางคุณค่าทางอาหาร. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

วินัย ประถมภ์กาญจน์, วรวิทย์ วณิชชาภิชาติ, อุตสาหกรรม จันทร์อำไพ และบุญธรรม พฤษวานิช.

2526. การศึกษาระดับที่เหมาะสมของกากปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารไก่กระทง. วารสารสงขลานครินทร์ 5(4) : 331-336.

วิบูลย์ศักดิ์ กาวิลละ. 2530. ผลของการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวต่อการเจริญเติบโตและการย่อยได้ในแกะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศักดิ์ศิลป์ โชติสกุล, วินาภรณ์ กุฎีรัตน์ และ กิจจาร์ักษ์ วงษ์กุลละ. 2541. ปาล์มน้ำมัน. กองส่งเสริมพืชไร่ฯ กรมส่งเสริมการเกษตร.

ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย. 2540. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในตัวอย่างของเหลว รูเมน. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น 25 (4) : 314-319.

สมพงษ์ เทศประสิทธิ์. 2526. การใช้กากปาล์มน้ำมันในอาหารโคขุน. วารสารสงขลานครินทร์ 5(3) : 227-229.

อังคณา ทารบรจง และ ดวงสมร สีนเจิมศิริ. 2532. การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพอาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุทัย คันโธ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2545. การส่งเสริมพัฒนาการผลิตและการตลาดมันเส้นสะอาด. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ฯ และภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรมการค้าต่างประเทศ, กรุงเทพฯ.

อุทัย คันโธ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2547. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์: ผลการใช้และข้อมูลการวิจัยในประเทศไทย. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ฯ และภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยฯ, กรุงเทพฯ.

อำนาจ เจริรัตน์. 2540. การแยกและคัดเลือกแบคทีเรียกรดแลคติกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักไซเลจ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Abdullah, A., M. Mahyuddin and S. Jalaludin. 1986. Effect of sex species and diets of large ruminant on urease activity of both rumen fluid and epithelial bacteria. **Buffalo J.** 2 : 47-55.
- Abdullah, N. and D.I. Hutagulung. 1988. Rumen fermentation urease activity and performance of cattle given palm kernel cake based diet. **Anim. Feed Sci. Technol.** 20(1) : 79-86.
- Ahmad, M.B. 1986. Palm kernel cake as a new feed for cattle. **J. Asian Livestock** 11(5) :49.
- Akin, D.E., W.H. Morrison, L.L. Rigsby, G.R. Gamble, A. Sethuraman and K.E.L. Eriksson. 1996. Biological delignification of plant components by the white rot fungi *Ceriporiopsis Subvermispora* and *Cyathus Stercoreus*. **J. Anim. Feed Sci. Technol.** 63 : 305-321.
- AOAC. 2000. **Official Method of analysis.** 15<sup>th</sup> ed. Association of Official Agricultural Chemists, Inc., Verginia.
- Aznam, Z. 1982. Nutritive value and utilization of palm press fibre in ration for ruminats, pp. 98-101. *In* P.T. Doyle (ed.). **Utilization of Fibrous Agricultural Resources as Animal Feeds.** Parkville, Victoria.
- Bolsen, K.K., J.L. Curtis, C.J. Lin and J.T. Dickerson. 1990. Silage inoculants and indigenous microflora with emphasis on alfalfa, pp. 431-443. *In* T.P. Lyons (ed.). **Biotechnology in the feed industry proceedings of Alltech's sixth annual symposium.** Alltech Technical Publication, Kentucky.
- Brooker, R.M. and A.E. Buckle. 1992. Lactic acid bacteria in plant silage, pp. 336-338. *In* P.W. Tilden and M.J. Cecava (eds.). **Beef Cattle Feeding and Nutrition.** Academic Press, Inc., London.

- Brosh A., Y. Aharoni, D. Levy and Z. Holzer. 1998. Effects of source and content of ash in poultry litter used in diets for beef cattle. **J. Agri. Sci.** (131) : 87-95
- Catchpoole, V.R. and E.F. Henzell. 1971. Silage and silage-making from tropical herbage species. **Herbage Abstracts** 41:213-221.
- Cecava, M.J. 1995. Silage and crop for silage, pp.117-137. *In* P.W. Tilden and M.J. Cecava (eds.). **Beef Cattle Feeding and Nutrition**. Academic Press, Inc., London.
- Chaplin, M.E. 1986. Monosaccharides, pp. 1-13. *In* M. Chaplin and J.F. Kennedy (eds.). **Carbohydrate : a Practice Approach**. IRL Press, Oxford.
- Church, D.C. 1979. **Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants. Vol. II** O&B Book, Inc., Corvallis, Oregon, U.S.A.
- Church, D.C. 1991. The nutrients, their metabolism and feeding standard, pp. 15-36. *In* D.C. Church (ed.). **Livestock Feed and Feeding**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Crowder, L.V. and H.R. Chheda. 1982. **Tropical Grassland Husbandry**. Logman, London and New York.
- De Man, J.C., M. Rogosa and M.E. Sharpe. 1960. A medium for the cultivation of lactobacilli. **J. Appl. Bacteriol.** 23:130-133.
- Dhiman, T.R. and S.P. Arora. 1990. Urea metabolism in cattle and buffaloes fed diets containing NPN salt, using urea radiotracers. **Indian. J. Anim. Sci.** 60 : 76-80

- Doyle, P.T., C. Devendra and G.R. Pearce. 1986. **Rice Straw as a Feed for Ruminants.** International Development of Australia Univ. and Coll. Limited Incorporation in the ACT, Canberra, Australia.
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Anal. Chem.** 28:350-356
- Ei-Khidir, O.A. and K.V. Thomsen. 1982. The effect of high levels of molasses in combinations with hay on digestibility of organic matter, microbial protein synthesis and volatile fatty acid production *in vitro*. **Anim. Feed Sci. Technol.** 7 : 277-286.
- Elferink, S.J.W.H.O., F. Driehuis, J.C. Gottschal and S.F. Spoelstra. 2000. Silage fermentation processes and their manipulation. Available <http://www.fao.org/waicent/fao/agricult/agpc/gp/silsgpaper2.htm>. 2006.
- Ensminger, M.E. and C.G. Olentine. 1980. **Feed and Nutrition (Complete)**. 3<sup>rd</sup> ed., The Ensminger Publishing Company, California, USA.
- Hamada, T. 1989. A new supplementary molasses block feed for the ruminant to improve the production efficiency under poor feeding condition. **JARQ** 23(1) : 59-64.
- Hino, T. and J.B. Russell. 1987. Relative contributions of ruminal bacteria and protozoa to the degradation of protein *in vitro*. **J. Anim. Sci.** 64 : 261-270.
- Hugue, Q.M.E. and C. Stem. 1994. A review on urea-molasses block technology in Bangladesh and possibility of methane emission reduction in ruminants and mitigation effects of global warming. **J. Asian Livestock** 19(2) : 61-64.

- Hassan, A.O. 1996. Oil palm frond resources, pp. 130-142. *In Proceedings of the 8<sup>th</sup> AAAP Animal Science Congress*. Tokyo, Japan.
- Indris, M.S.H. 1981. The utilization of palm press fiber and palm kernel cake by beef steers in feedlot. **MARDI. Res. Bull.** 9(1) : 121-125.
- Jayasuriya, M.C.N. and H.G.D. Perera. 1982. Urea-treatment of rice straw to improve its nutritive value for ruminants. **Agricultural Wastes** 4:143-150.
- Jelan, Z.A., S. Jalaludin and P. Vijchulata. 1986. Isotope aided studied on non-protein nitrogen and agro-industrial by-products utilization by ruminants, pp. 73-87. *In Proceedings of the International Atomic Energy Agency*. Vienna.
- Jetana, T., Abdulla. N., Halim, R.M., Jalaludin, S. and Ho, Y.W. 1996. **The effects of protein and energy supplements on rumen metabolism in sheep fed guinea grass *ad libitum***. M.Sc. Thesis, Universiti Putra Malaysia. Serdang, Malaysia.
- Karalazos, A. and H. Swan. 1977. The nutritional value for sheep of molasses and condensed molasses soluble. **Anim. Feed Sci. Technol.** 2 : 143-152.
- Karunanandaa K. and G.A. Verga. 1996. Colonization of rice straw by white rot fungi (*Cyathus Stercoreus*) : Effect on ruminal fermentation pattern, nitrogen metabolism and fiber utilizing during continuous culture. **Anim. Feed Sci. Technol.** 61:1-16.
- Khamseekhiew, B., J.B. Liang, Z.A. Jelani and C.C. Wong. 2002. Fibre degradability of oil palm frond pellet, supplemented with *Arachis pintoi* in cattle. **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 24(2) : 209-216.

- Leng, R.A. and Nolan. 1984. Symposium : of the lactating daily cow : nitrogen metabolism in the rumen. **J. Daily Sci.** 67: 1072-1089.
- McDonald, P., N. Henderson and S. Heron. 1991. **The Biochemistry of Silage.** 2d ed., Chalcombe Publications, Buck.
- Minson, D.J. 1990. **Forage in Ruminant Nutrition.** H.B. Javanovich Publ., Academic Press, New York.
- Moat, A.G. and J.W. Foster. 1995. **Microbial Physiology.** 3<sup>rd</sup> ed., Printed in the U.S.A., U.S.A.
- National Research Council. 1976. **Urea and Other Non-Protein Nitrogen Compounds in Animal Nutrition.** Nat. Acad. Sci., Washington, D.C.
- Obese, F.Y., E.L.K. Osafo and D.B. Okai. 2001. Evaluation of the feeding value of palm press fibre using in vitro digestibility techniques. **Trop. Anim. Health Prod.** 33(2) : 165-172.
- Oke, O.L. 1978. Problem in the use of casava as animal feed. **Anim. Feed Sci. Technol.** 3 : 345-380.
- Onwudile, O.C. 1988. Use of plam kernel meal by laying brids, Palm kernel meal as a feed for poultry. **Anim. Feed Sci. Technol.** 20 : 279-286.
- Ørskov, E.R. 1992. **Protein Nutrition in Ruminant.** Academic Press, Inc., London.
- Ørskov, E.R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted to rate of passage. **J. Agric. Sci., Camb.** 92:499.

- Owens, F.N. and A.L. Goetch. 1988. Ruminant fermentation, pp. 145-171. *In* D.C. Church (ed.). **The Ruminant Animal : Digestive Physiology and Nutrition**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.
- Perdock, H.B., L.A. Leng, S.H. Bind, G. Habid and M. Van Houtert. 1988. **Increasing small ruminant productivity in semi-arid area**, pp. 81-91. *In* E.F. Thomson and F.S. Thomson (eds.). Pub. By ICARDA, Syria.
- Piggott, C.J. 1990. **Growing Oil Palms: an illustrated guide**. United Selangor Press Sdn Bhd. Malaysia.
- Preston, T.R. 1972. Molasses as an energy source for cattle. **World Rev. Nutr. Diet.** 17 : 250-311.
- Preston, T.R. and R.A. Leng. 1987. **Matching Ruminant Production Systems with Available Resources in the Tropics and Subtropics**. Univ. of New England, Armidale.
- Reas, B.P. 1996. **A study on the comparative digestibility of casava, maize, sorghum and barley in growing pigs**. Master of Veterinary Studies Thesis, University of Queensland, Australia.
- Rengsirkul, B. and P. Sae Nai. 1991. The use of plam oil meal with urea-treated rice straw in post-weaning goat ration, pp. 154-157. *In* **Proceeding of an international seminar held in Hat Yai**. Thailand.
- Sambrook, P.A. and J.B. Rowe. 1982. Cottonseed meal as a source of N for rumen microorganisms in sheep given a molasses-based diet. **Trop. Anim. Prod.** 7:26-30.
- SAS. 1994. **SAS / STAT User 's Guides**. SAS Institute, Cary, North Carolina.

- Satter, L.D. and R.E. Roffler. 1981. Influence of nitrogen and carbohydrate inputs on rumen fermentation, pp. 115-121. *In* W. Haresign and D.J.A. Cole (eds.) **Recent Development in Ruminant Nutrition**. University of Nottingham, Butterworths, London.
- Sommart, K., M. Wanapat., D.S. Parker and P. Rowlinson. 1996. Casava chip as an energy source for lactating dairy cows fed rice straw *In* **Proceeding of the 8<sup>th</sup> AAAP Animal Science Congress. 2 : 158**. Tokyo : Japanese Society of Zootechnical Science.
- Suwanlee, S. and M. Wanapat. 1994. Effect of ruminal NH<sub>3</sub>-N on total volatile fatty acid, bacterial population and digestibility in swamp buffaloes, pp. 281-283. *In* M. Wanapat and K. Sommart (eds.). **Proc. the First Asian Buffalo Association Congress**. Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.
- Van Soest, P.J. 1969. Newer knowledge on the composition and and methods of analysis of feeding stuffs. **International Eyclopedia of Food and Nutrition**. 10:37-58.
- Van Soest, P.J. 1982. **Nutrition Ecology of the Ruminant**. O&B Books, Corvallis, Oregon, U.S.A.
- Vaughan, J.G. 1970. **The structure and utilization of oil seeds**. The Chaucer Press. Bungay, Suffolk.
- Wanapat, M., K. Sommart., C.Wachirapakorn, S.Uriyapongson and C. Wattanachant. 1994. Recent advances in swamp buffalo nutrition and feeding, pp. 155-187. *In* M. Wanapat and K. Sommart (eds.). **Proc. the First Asian Buffalo Association Congress**. Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

- Wanapat, M., K. Sommart., S. Uriyapongson., W. Toburan., D.S. Parker and P. Rowlinson. 1996. Effect of casava pellet as energy source in finishing ration of beef cattle **In Proceeding of the 8<sup>th</sup> AAAP Animal Science Congress. 2 : 160.** Tokyo : Japanese Society of Zootechnical Science.
- Weinberg, Z.G. and R.E. Muck. 1996. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. **FEMS Microbiology Review** 19(1) : 53-68.
- Wong, H.K., O.A. Hassan, M. Shibata and S.Z. Alsmi. 1988. Ruminant volatile fatty acid production and rumen degradability of oil plum by-product in cattle feed molasses and oil plum by-product based ration, pp. 171-177. In R.M. Dixon (ed.). **Ruminant Feeding System Utilization Fibrous Agriculture Residual. Parkville, Victoria.**
- Yokoyama, M.T. and K.A. Johnson. 1988. **Microbiology of the Rumen**, pp. 125-144. *Cited by* K. Karunanandaa and G.A. Varga. Colonization of rice straw by white rot fungi (*Cyathus Stercoreus*) : Effect on ruminal fermentation pattern, nitrogen metabolism and fiber utilizing during continuous culture. *J. Animal. Feed Sci. Technol.* 61:1-16.
- Yusoff, S.H. 1987. Performance of growing heifer fed supplementary feed of palm kernel cake with molasses or cassava, pp. 72-76. **In Proceedings 9<sup>th</sup> Annu. Conference of Malaysia Society of Animal Production.** Kuala Lumpur.
- Yusoff, S.H., A.M. Babjee and C.F. Yuen. 1985. Utilization of non-conventional feed and agricultural by-product for ruminant in Malaysia. **J. Asian Livestock** 10(12) : 178-184.





