



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สัตวศาสตร์)

ปริญญา

สัตวศาสตร์

สัตวบาล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายร่วมกับอาหารหยาบ PMR ในการเลี้ยงแพะขุน

Meal Concentrate Substitution with Whole Cottonseed and Partial Mixed Ration
(PMR) Roughage in Goat Feeding

نامผู้วิจัย นายณรวิชญ์ อ่อนใจเอื้อ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์วิริยา ลุ่งใหญ่, ประ.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สมเกียรติ ประสานพานิช, วท.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จำเริญ เทียงธรรม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ศรเทพ ชัมวาสร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์สมเกียรติ ประสานพานิช, วท.ค.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายร่วมกับอาหารหยาบ PMR ในการเลี้ยงแพะขุน

Meal Concentrate Substitution with Whole Cottonseed and Partial Mixed Ration (PMR)

Roughage in Goat Feeding

โดย

นายณราวิชญ์ อ่อนใจเอื้อ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สัตวศาสตร์)

พ.ศ. 2556

ณราวิชญ์ อ่อนใจเอื้อ 2556: การทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายร่วมกับอาหารหยาบ PMR ในการเลี้ยงแพะขุน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สัตวศาสตร์) สาขาวิชาสัตวศาสตร์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์วีริยา ลุ่งใหญ่, ประ.ด.
88 หน้า

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายร่วมกับอาหารหยาบ PMR ต่อประสิทธิภาพการผลิตและค่าชีวเคมีในเลือดของแพะขุน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ใช้แพะลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียนเพศผู้ อายุ 6-18 เดือน จำนวน 20 ตัว แบ่งแพะออกเป็น 4 กลุ่มๆละ 5 ตัวแพะทุกกลุ่มได้รับอาหาร PMR เป็นอาหารหยาบหลักและแบ่งการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับแตกต่างกันดังนี้ กลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 ทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้าย 0 15 20 และ 25% ตามลำดับโดยมีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 25.63 ± 4.35 กิโลกรัม และน้ำหนักสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย 33.00 ± 3.62 กิโลกรัม โดยใช้เวลาในการขุน 60 วัน ผลการศึกษาพบว่า อัตราการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว และ ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากระดับค่าชีวเคมีในเลือดพบว่า กลูโคสมีค่าอยู่ในช่วง $62.96 \pm 3.77 - 72.45 \pm 5.22$ มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ยูเรีย-ไนโตรเจน มีค่าอยู่ในช่วง $9.97 \pm 0.90 - 17.56 \pm 0.90$ มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ฮอร์โมนไคโรโอไอโคไทโรนิน มีค่าอยู่ในช่วง $152.01 \pm 14.88 - 179.68 \pm 12.84$ มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ค่าฮีโมโกลบินและปริมาตรเซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่นมีค่าอยู่ในช่วง $9.18 \pm 0.51 - 10.12 \pm 0.51$ g/dl และ $28.75 \pm 1.08 - 30.66 \pm 1.08$ เปอร์เซ็นต์ ยังอยู่ในช่วงปกติ การศึกษากระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนพบว่า ความเข้มข้น C_2 และอัตราส่วนระหว่าง $C_2:C_3$ รวมถึงการศึกษาการย่อยได้ของโภชนาต่างๆโดยใช้เถ้าที่ไม่ละลายในกรด (AIA) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย 15% มีค่าสูงสุด และต้นทุนค่าอาหารทั้งหมด ต้นทุนค่าอาหารชั้น และต้นทุนค่าเมล็ดฝ้าย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มมีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย 25% มีต้นทุนค่าอาหารชั้นและต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริมอาหารชั้นเพียงเดียว

Narawich Onjai-uea 2013: Meal Concentrate Substitution with Whole Cottonseed and Partial Mixed Ration (PMR) Roughage in Goat Feeding. Master of Science (Animal Science), Major Field: Animal Science, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Mrs. Wiriya Loongyai, Ph.D. 88 pages.

The experiment was conducted to study the effect of meal concentrate substitution with whole cottonseed on growth performance and blood biochemical changes in fattening goat production. Twenty crossbred Anglo-Nubian-Native male goats, aged 6-18 months old and averaged initial weight at 25.63 ± 4.35 kg, were randomly assigned into a Completely Randomized Design consisting 4 treatments with 5 replicates in each. All animals were received Partial Mixed Ration (PMR) as roughage *ad libitum* and supplemented with meal concentrate and 3 levels of meal concentrate substitution with whole cottonseed, viz. 0, 15, 20, 25%, respectively, for 60 days. The results showed that PMR can be used as quality roughage with meal concentrate and meal concentrate substituted with whole cottonseed on growth rate and total dry matter intake. Blood glucose, blood urea nitrogen, triiodothyronine, hemoglobin and hematocrit were found under normal between 62.96 ± 3.77 - 72.45 ± 5.22 mg%, 9.97 ± 0.90 - 17.56 ± 0.90 mg%, 152.01 ± 14.88 - 179.68 ± 12.84 mg%, 9.18 ± 0.51 - 10.12 ± 0.51 g/dl and 28.75 ± 1.08 - 30.66 ± 1.08 %, respectively. The concentrations of C_2 , $C_2:C_3$ and the digestibility of nutrients by AIA were significantly ($P < 0.05$) different among treatments where the substituted whole cottonseed of 15% had the highest values. Feed cost per gain was significantly different among treatments ($P < 0.05$), indicating that the substituted whole cottonseed of 25% had the lowest feed cost per 1 kg of body weight gain (52.76 baht/head).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์วีรียา ลุ่งใหญ่ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์จำเริญ เทียงธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ ศาสตราจารย์ น.สพ. สมชาย จันทรผ่องแสง ผู้ทรงคุณวุฒิจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาชี้แนวทางให้คำแนะนำ และช่วยตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตั้งแต่เริ่มงานวิจัยจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท ริช แอนด์ กรีน จำกัด ที่ให้การสนับสนุน อาหารหยาบ PMR ในการวิจัยครั้งนี้ ห้องปฏิบัติการ ฝ่ายเครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ นายศักดิ์ ประจักษ์บุญญา เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เพชรบุรี อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สมเกียรติ ประสานพานิช และ รองศาสตราจารย์ศรเทพ ธีมวาสร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม นางสาวชรีนา ลือแม่ นางสาวอนันท์ จินดานิรุล นางสาวอรวิมล แก้วเกลี้ยง และ นายอัศวิน สายเชื้อ รวมทั้งลูกศิษย์ปริญญาเอกและปริญญาโทของ รองศาสตราจารย์สมเกียรติ ประสานพานิช และ รองศาสตราจารย์ศรเทพ ธีมวาสร ที่ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือให้งานทดลองสำเร็จลงได้ ขอขอบคุณ อาจารย์กฤตยา เพชรผึ้ง ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาในการวิเคราะห์ปริมาณสารพิษกอกซิพอลจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

วิทยานิพนธ์เล่มนี้คงไม่สมบูรณ์ลงได้หากขาดความสนับสนุน และการให้กำลังใจจาก บิดา-มารดา และสมาชิกครอบครัวอ่อนใจเอื้อ ที่ให้โอกาสและการช่วยเหลือในการศึกษาต่อระดับมหาบัณฑิต ความดีหรือประโยชน์ที่ได้จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ผู้มีพระคุณ ตลอดจนนักวิชาการทุกท่านที่ค้นคว้าทดลองและรวบรวมความรู้เขียนขึ้นเป็นตำราต่างๆ ให้ข้าพเจ้านำมาใช้ประกอบในการศึกษาครั้งนี้

ณราวิชญ์ อ่อนใจเอื้อ

ตุลาคม 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	32
อุปกรณ์	32
วิธีการ	34
ผลและวิจารณ์	40
สรุปและข้อเสนอแนะ	63
สรุป	63
ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	64
ภาคผนวก	77
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	88

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงคุณค่าทางโภชนาของเมล็ดฝ้าย	12
2	แสดงคุณค่าทางอาหารของกากเมล็ดฝ้ายชนิดไม่กะเทาะเปลือกและกากเมล็ดฝ้ายชนิดกะเทาะเปลือก	13
3	ค่าเฉลี่ยของคุณค่าทางโภชนาของอาหารที่ใช้ในการทดลอง	40
4	ปริมาณการกินได้ของแพะเนื้อ	43
5	สมรรถภาพการผลิตของแพะเนื้อ	46
6	การเปลี่ยนแปลงของค่าชีวเคมีในเลือดแพะ	49
7	การเปลี่ยนแปลงของค่าชีวเคมีในกระเพาะหมักของแพะ	53
8	ประสิทธิภาพการย่อยได้ (%) ของโภชนาต่างๆ โดยใช้หญ้าที่ไม่ละลายในกรด (AIA)	57
9	ต้นทุนค่าอาหารในการทดลอง (บาท/ตัว)	61

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ตัวอย่างอาหาร PMR ในถุงบรรจุ	8
2 สมอฝ้ายและเมล็ดฝ้าย	11
3 ต่อมลีในเมล็ดฝ้ายและ โครงสร้างโมเลกุลสารพิษกอสซิพอล (gossypol)	14
ภาพผนวกที่	
1 อาหารหยาบ PMR ชั่งน้ำหนักแล้วเตรียมให้แพะทดลอง	83
2 เมล็ดฝ้ายและอาหารข้นชั่งน้ำหนักแล้วเตรียมให้แพะทดลอง	83
3 แพะกำลังกินอาหารทดลอง	84
4 การเก็บตัวอย่าง rumen fluid จากแพะทดลอง	84
5 เนื้อในของเมล็ดฝ้ายที่บดแล้วเพื่อเตรียมในการวิเคราะห์หาสารพิษกอสซิพอล	85
6 เนื้อในของเมล็ดฝ้ายบดที่เติมสารเคมีในการสกัดแล้วเขย่าในเครื่องเขย่าสารโดยใช้เสียงความถี่สูงเป็นเวลา 30 นาที	85
7 หลังจากสารละลายแยกชั้นแล้วให้ดูดสารละลายด้านบน	86
8 นำสารละลายที่ได้เข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) อีกครั้ง	86
9 นำสารละลายที่ได้จากเครื่องปั่นเหวี่ยงเติมสารเคมีเพื่อเข้าเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อกำหนดหาปริมาณสารพิษกอสซิพอล	87
10 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)	87

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ADF	=	acid detergent fiber
AIA	=	ash insoluble acid
BG	=	blood glucose
BUN	=	blood urea nitrogen
C ₂	=	acetic acid
C ₃	=	propionic acid
C ₄	=	butyric acid
CP	=	crude protein
DM	=	dry matter
ECLIA	=	electrochemiluminescence immunoassay
Hb	=	hemoglobin
HCl	=	hydrochloric acid
Hct	=	hematocrit
ml	=	milliliter
NDF	=	neutral detergent fiber
NH ₃ -N	=	ammonia-nitrogen
T ₃	=	triiodothyronine hormone
T ₄	=	thyroxine hormone
TVFA	=	total volatile fatty acid
VFA	=	volatile fatty acid

การทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายร่วมกับอาหารหยาบ PMR ในการเลี้ยงแพะขุน

Meal Concentrate Substitution with Whole Cottonseed and Partial Mixed Ration (PMR) Roughage in Goat Feeding

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกรรมจำนวนมาก ทั้งชนิดและปริมาณ ซึ่งวัสดุเศษเหลือส่วนใหญ่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ โดยสามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ได้ทันทีโดยไม่ต้องปรับปรุงคุณค่าทางอาหารเนื่องจากมีโภชนะสูงอยู่พอสมควร เช่น เมล็ดฝ้าย กล่าวคือฝ้ายเป็นพืชเส้นใยที่มีแหล่งผลิตใหญ่อยู่ในหลายจังหวัดทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งนี้เมล็ดฝ้ายเป็นผลพลอยได้อย่างหนึ่งที่สำคัญและมีคุณค่าทางโภชนะโปรตีนและพลังงานสูงคือ เมล็ดฝ้าย (กฤตพล และคณะ, 2542) รวมทั้งโปรตีนไหลผ่านรูเมนสูง การใช้เมล็ดฝ้ายเป็นอาหารสัตว์ในประเทศไทยนั้นพบว่า การใช้เมล็ดฝ้ายทั้งเมล็ดทดแทนกากเมล็ดฝ้ายในอาหารข้นของโคนมมีผลทำให้ได้ผลตอบแทนและโปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนม (จินดา และคณะ, 2535) แต่เมล็ดฝ้ายมีสารพิษกอสซิพอล (gossypol) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์และเป็นข้อจำกัดในการใช้เมล็ดฝ้ายเป็นอาหารสัตว์ โดยสารพิษกอสซิพอลที่พบในเมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้ายจะเป็นพิษต่อเฉพาะในสัตว์กระเพาะเดี่ยวแต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นสามารถกำจัดสารพิษดังกล่าวได้

ช่วงฤดูแล้งเป็นช่วงที่เกษตรกรประสบกับปัญหาขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพดี ฉะนั้นเกษตรกรจึงต้องหันไปใช้ฟางข้าวซึ่งมีคุณภาพต่ำร่วมกับการใช้อาหารข้น ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการนำเอาผลพลอยได้จากโรงงานแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ เช่น เปลือกสับปะรด ชานอ้อย และกากน้ำตาล เอทานอล (vinasses) เป็นต้น นำมาหมักรวมกันที่เรียกว่า Partial Mixed Ration หรือ PMR สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ เพื่อทดแทนการขาดแคลนแหล่งอาหารหยาบคุณภาพดีในช่วงฤดูแล้ง (วลัยทิพย์, 2553)

ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายร่วมกับอาหารหยาบ PMR ซึ่งเป็นแหล่งอาหารหยาบทางเลือก เพื่อเป็นแนวทางที่จะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตสัตว์ของเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะต่อไป



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับของเมล็ดฝ้ายที่สามารถทดแทนอาหารชั้นร่วมกับการใช้อาหารหยاب PMR ต่อสมรรถภาพการผลิต และการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของเลือดแพะ
2. เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตในการเลี้ยงแพะเพศผู้ที่ได้รับการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายร่วมกับอาหารหยاب PMR



การตรวจเอกสาร

สถานการณ์การเลี้ยงแพะในประเทศไทย

สถานการณ์การเลี้ยงแพะของประเทศไทยในปี 2555 พบว่า มีจำนวนประชากรแพะทั่วประเทศประมาณ 491,119 ตัว แบ่งเป็นภาคต่างๆ ดังนี้ ภาคกลาง 47,540 ตัว ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 10,608 ตัว ภาคเหนือ 17,631 ตัว และภาคใต้ 440,288 ตัว ตามลำดับ โดยในภาคใต้มีการผลิตแพะสูงสุดคิดเป็น 84.57 เปอร์เซ็นต์ ของประชากรแพะทั่วประเทศ รองลงมาคือภาคกลาง 9.68 เปอร์เซ็นต์ ภาคเหนือ 3.59 เปอร์เซ็นต์ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ศูนย์สารสนเทศ, 2555) ทั้งนี้จำนวนประชากรแพะทั่วประเทศในปี 2555 เพิ่มขึ้น 13 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงปี 2554 ที่มีจำนวนประชากรแพะทั่วประเทศประมาณ 427,567 ตัว (ศูนย์สารสนเทศ, 2554)

สายพันธุ์แพะเนื้อ

การเลี้ยงแพะในประเทศไทยมีวัตถุประสงค์ในการเลี้ยงแตกต่างกัน เรียงลำดับความสำคัญคือ เพื่อให้เนื้อ นํ้านม และเพื่อใช้ในงานประเพณีหรืองานพิธีกรรมทางศาสนา โดยเฉพาะการเลี้ยงเพื่อการให้เนื้อหรือการเลี้ยงแพะเนื้อ เป็นอาชีพหนึ่งที่เกษตรกรนิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายทั่วประเทศ เพราะเป็นระบบการเลี้ยงที่ง่ายต่อการดูแลและเอาใจใส่ ให้ผลตอบแทนเป็นเนื้อเพื่อจำหน่ายที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจสูงและระยะเวลาการให้ผลตอบแทนเร็วกว่าการเลี้ยงโค พันธุ์แพะเนื้อที่นิยมเลี้ยงกันในประเทศไทยมีอยู่หลากหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์บอร์ พันธุ์แองโกรา พันธุ์แบล็คเบงกอล เป็นต้น (สุรชน, 2530)

พันธุ์พื้นเมืองไทย (Thai Native)

แพะพันธุ์พื้นเมืองในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ด้วยกัน แพะทางแถบตะวันตก เช่น จังหวัดตากและกาญจนบุรี เป็นแพะที่มาจากแถบประเทศอินเดียหรือปากีสถาน มีรูปร่างสูงใหญ่กว่าแพะทางใต้ ส่วนแพะทางใต้ของประเทศไทยมีขนาดเล็ก คาดว่าเป็นสายพันธุ์เดียวกับแพะพื้นเมืองของมาเลเซียคือ พันธุ์แกมบิงกัตจัง แพะพื้นเมืองทางใต้มีความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร มีน้ำหนัก

ประมาณ 20-25 กิโลกรัม แพะพื้นเมืองมีคุณสมบัติพิเศษคือ ผสมพันธุ์ได้ทุกฤดูกาลขณะที่แพะบางสายพันธุ์ผสมได้บางฤดูกาลเท่านั้น (สุรชน, 2530)

พันธุ์เองโกโลนเบียน

แพะพันธุ์นี้มีขนาดใหญ่ น้ำหนักตัวเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 75 กิโลกรัม ดังจุมกมีลักษณะโค้งและงุ้ม ใบหูยาว และปรกลง ปกติแพะพันธุ์นี้จะไม่มีเขา แต่ถ้าหากมีเขา เขาจะสั้นและเอนแนบติดกับหนังหัว ขนสั้นละเอียดเป็นมัน มีขาวยาวซึ่งช่วยให้เต้านมอยู่สูงกว่าระดับพื้นมากและทำให้ง่ายต่อการรีดนม และยังช่วยให้เต้านมไม่ได้รับบาดเจ็บเนื่องจากหนามวัชพืชเกี่ยว แพะพันธุ์นี้มีหลายสี เช่น ดำ เทา ครีมน้ำตาล และน้ำตาลแดง เป็นต้น และอาจมีจุดหรือรอยต่างขนาดต่างๆได้ ผลผลิตน้ำนมประมาณ 1.5 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาให้น้ำนมประมาณ 165 วัน (สุรชน, 2530)

รูปแบบการเลี้ยงแพะในประเทศไทย

ลักษณะการเลี้ยงแพะโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบ ด้วยกัน ได้แก่ การเลี้ยงแบบผูกถ้ำ การเลี้ยงแบบปล่อยอิสระ การเลี้ยงแบบขังคอกหรือเกี่ยวหญ้าให้กิน การเลี้ยงผสมผสานกับการปลูกพืช แต่ส่วนใหญ่พบว่า การเลี้ยงแพะของเกษตรกรเกือบทั้งหมดคือ 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเลี้ยงไว้ 2-5 ตัว นิยมเลี้ยงแบบปล่อยอิสระ โดยไม่มีคอกให้แพะอยู่อาศัย ซึ่งแพะทุกตัวที่เลี้ยงจะต้องช่วยตัวเองทุกอย่างเพื่อความอยู่รอด เสาหาหญ้า ใบไม้ หรือสิ่งที่กินได้ด้วยตัวเอง หากที่นอนหรืออาศัยหลบแดดบังฝนเอง ส่วนใหญ่ได้แก่ ใต้ถุนเรือน หรือยุ้งฉางและใต้ร่มไม้ กรณีที่เลี้ยงมากกว่า 6 ตัวแต่ไม่เกิน 10 ตัว ผู้เลี้ยงอาจทำคอกที่อยู่อาศัยเพียงบังแดดและฝนเท่านั้น แต่สำหรับผู้เลี้ยงมากกว่า 10 ตัว จะปลูกสร้างคอกแข็งแรงมั่นคง และเป็นคอกขังแบบรวม (สุรชน, 2530)

อาหารแพะ

แพะเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องมีระบบทางเดินอาหารคล้ายโคและกระบือ โดยมีกระเพาะรูเมนซึ่งมีจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยสลายอาหารต่างๆที่แพะกินเข้าไป ปกติแพะมีความต้องการอาหารหยาบ เช่น หญ้าสดต่างๆในปริมาณวันละประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว และต้องการอาหารข้นประมาณวันละ 0.5-1.0 กิโลกรัม (ปิ่น และคณะ, 2551) แพะส่วนใหญ่ที่เลี้ยงกันอยู่ตามชนบทของประเทศไทยเป็นแพะพื้นเมือง ฉะนั้นการเลี้ยงแพะโดยทั่วไปจึงอาศัยอาหารหยาบที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติไม่มีการเสริมอาหารข้น (สมเกียรติ, 2528) ซึ่งการใช้พืชอาหารสัตว์เพียงอย่างเดียวอาจทำ

ให้แพะมีการเจริญเติบโตช้า จำเป็นต้องมีการเสริมอาหารขึ้นและเสริมอาหารแหล่งพลังงานในระดับที่เหมาะสม (ธีรพงศ์, 2536) ซึ่งแพะกินอาหารที่มีระดับของโปรตีนและพลังงานสูง มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าแพะกลุ่มที่ได้รับอาหารมีโปรตีนและพลังงานต่ำ (Sengar, 1975)

ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นที่มีฝนตกเฉพาะฤดู จึงทำให้ระยะที่พืชอาหารสัตว์เจริญเติบโตได้ดีและมีปริมาณโภชนาต่างๆสูงอยู่ในช่วงฤดูฝน ดังนั้นในช่วงฤดูฝนอาหารหยาบที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับส่วนใหญ่จึงเป็นหญ้าสดคุณภาพดี ซึ่งมีการรายงานผลของการขุนแพะเนื้อด้วยหญ้าแพงโกล่าสดเสริมด้วยอาหารขึ้นเปรียบเทียบกับการใช้กระถินสดเพียงอย่างเดียวเป็นอาหารเลี้ยงแพะลูกผสมพื้นเมืองแองโกลนูเบียน เพศผู้อายุประมาณ 3 เดือน พบว่า แพะที่เลี้ยงด้วยหญ้าแพงโกล่าร่วมกับการเสริมอาหารขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 96 กรัมต่อตัวต่อวัน สูงกว่าแพะที่เลี้ยงด้วยใบกระถิน มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 53.93 กรัมต่อตัวต่อวัน และแพะที่เลี้ยงด้วยหญ้าแพงโกล่าร่วมกับการเสริมอาหารขึ้นมีต้นทุนค่าอาหารสูงกว่าการเลี้ยงด้วยกระถินสด แต่มีกำไรจากการขายแพะมากกว่า (ปริญา และ สมศักดิ์, 2549)

ผลของการใช้หญ่ากินนี้สีม่วงโดยการตัดสดร่วมกับการเสริมอาหารขึ้น พบว่า การเสริมอาหารขึ้นที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 108.75 กรัมต่อตัวต่อวัน สูงกว่ากลุ่มที่มีการเสริมอาหารขึ้น 0 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัวตามลำดับ ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 34.66 40.91 และ 71.54 กรัมต่อตัวต่อวันตามลำดับ ซึ่งระดับการเสริมอาหารขึ้นที่สูงขึ้นทำให้อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของแพะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอาหารขึ้นมีโภชนาทางอาหารโดยเฉพาะโปรตีนและพลังงานสูง ทำให้แพะได้รับโภชนาเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายและนำไปสร้างเป็นผลผลิตได้สูงขึ้น (อัศวิน, 2555)

ส่วนระยะเวลาที่เหลือของช่วงปีเป็นช่วงที่พืชอาหารสัตว์มีการเจริญเติบโตลดลง โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งเพราะขาดแหล่งน้ำประกอบกับพื้นที่ในการปลูกสร้างแปลงหญ้าของเกษตรกรมีจำนวนน้อย ซึ่งโดยภาพรวมแล้วสัตว์เคี้ยวเอื้องจึงขาดแคลนแหล่งอาหารหยาบคุณภาพดี ทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตช้า ดังนั้นสัตว์เคี้ยวเอื้องในช่วงฤดูแล้งจึงจำเป็นต้องได้รับอาหารหยาบที่ขาดแคลนนี้จากการจัดทำหญ้าแห้ง หญ้าหมัก และแหล่งของผลพลอยได้ทางการเกษตรอื่นๆ โดยเฉพาะแหล่งของผลพลอยได้ทางการเกษตร มีทั้งวิธีการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้ทันทีโดยไม่ต้องปรับปรุงคุณค่าทางอาหาร เช่น การใช้เปลือกสับปะรดร่วมกับหญ้าแพงโกล่าแห้ง

เป็นแหล่งอาหารหยาบและเสริมด้วยอาหารชั้นระดับต่างๆ พบว่า การเสริมอาหารชั้นที่ระดับ 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 122 และ 128.78 กรัมต่อตัวต่อวัน สูงกว่ากลุ่มที่มีการเสริมอาหารชั้น 1 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 103.89 กรัมต่อตัวต่อวัน และแพะกลุ่มที่มีการเสริมอาหารชั้น 2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว มีแนวโน้มให้ผลตอบแทนสูงกว่าแพะกลุ่มอื่น (ธงชัย และคณะ, 2550)

การใช้หญ้าพลิกะทูล่มแห้งร่วมกับเศษเหลือของสับประรดในอัตราส่วนที่แตกต่างกันเป็นแหล่งอาหารหยาบและทุกกลุ่มการทดลองได้รับการเสริมอาหารชั้น 2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว เลี้ยงแพะพันธุ์ลูกผสมพื้นเมือง-แองโกลนูเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า แพะกลุ่มที่ได้รับหญ้าพลิกะทูล่มแห้งอย่างเดียว เศษเหลือสับประรดเพียงอย่างเดียว หญ้าพลิกะทูล่มแห้งร่วมกับเศษเหลือของสับประรดอัตราส่วน 1:10 (โดยน้ำหนักสด) และหญ้าพลิกะทูล่มแห้งร่วมกับเศษเหลือของสับประรดอัตราส่วน 1:20 (โดยน้ำหนักสด) มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 91.39 102.78 113.89 และ 102 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ และแพะกลุ่มที่ได้รับหญ้าพลิกะทูล่มแห้งร่วมกับเศษเหลือของสับประรดอัตราส่วน 1:10 (โดยน้ำหนักสด) และกลุ่มที่ได้รับหญ้าพลิกะทูล่มแห้งอย่างเดียวมีแนวโน้มให้ผลตอบแทนสูงกว่าแพะกลุ่มที่ได้รับเศษเหลือสับประรดเพียงอย่างเดียวและหญ้าพลิกะทูล่มแห้งร่วมกับเศษเหลือของสับประรดอัตราส่วน 1:20 (โดยน้ำหนักสด) (พิระวัฒน์, 2552)

วิธีการปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของผลพลอยได้ทางการเกษตรก่อนนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ เช่น การใช้เปลือกสับประรดและหญ้านานาในอาหารผสมเสร็จมักเป็นอาหารเลี้ยงแพะลูกผสมพื้นเมือง-บอร์ 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้ อายุประมาณ 8 เดือน พบว่า การเพิ่มการทดแทนเปลือกสับประรดกับหญ้ามักทำให้แพะสามารถย่อยผนังเซลล์ได้ดีขึ้น ในอาหารผสมเสร็จที่มีสัดส่วนอาหารชั้นต่ออาหารหยาบ 60:40 (โดยน้ำหนักสด) การเพิ่มปริมาณเปลือกสับประรดและลดสัดส่วนหญ้านาลง มีผลทำให้แพะสามารถย่อยอาหารได้ดีขึ้น โดยรวมแล้วสูตรอาหารที่มีเปลือกสับประรดทดแทนหญ้าทั้งหมดมีแนวโน้มว่าสามารถใช้เลี้ยงแพะได้ดีที่สุด (สมศักดิ์ และคณะ, 2551) หรือการศึกษาคุณภาพการหมักของทางปาล์มน้ำมันเมื่อเสริมด้วยกากน้ำตาลและกระถินอัตราต่างๆ พบว่า ทางปาล์มน้ำมันหมักสูตร ทางปาล์มน้ำมัน:กากน้ำตาล:กระถิน ในอัตราส่วน 78:2:20 (โดยน้ำหนักสด) มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 1.22 บาทต่อกิโลกรัม และเป็นสูตรที่ควรแนะนำให้เกษตรกรผลิตไว้เป็นเสบียงสัตว์สำรองเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ในช่วงฤดูแล้งหรือยามขาดแคลนหญ้านาล (จันทกานต์ และคณะ, 2551)

อย่างไรก็ตาม จากความสามารถในการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรไปใช้เลี้ยงสัตว์แสดงว่า ผลพลอยได้ทางการเกษตรมีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถใช้เลี้ยงสัตว์ได้และทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และทั้งนี้ผลพลอยได้ทางการเกษตรมีใช้เกือบตลอดทั้งปี จึงไม่ค่อยประสบปัญหาขาดแคลน ซึ่งการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรไปใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง จะส่งผลให้สัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ฉะนั้นการใช้อาหารหยาบ PMR ที่ประกอบไปด้วยผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีเกือบตลอดทั้งปี เช่น เปลือกสับปะรด ชานอ้อย และกากน้ำตาลเอทานอล เป็นต้น เลี้ยงแพะจึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาการขาดแคลนแหล่งอาหารหยาบคุณภาพดีในช่วงฤดูแล้งให้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงแพะ และส่งผลให้แพะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี

อาหาร PMR (Partial Mixed Ration)



ภาพที่ 1 ตัวอย่างอาหาร PMR ในถุงบรรจุ

PMR (Partial Mixed Ration) คือ อาหารหยาบสำหรับสัตว์เลี้ยงทางเลือกใหม่โดยการนำผลพลอยได้จากโรงงานแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ ได้แก่ เปลือกสับปะรด ชานอ้อย และกากน้ำตาลเอทานอล มาหมักรวมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมในสภาพไร้อากาศ (ศรเทพ, 2551) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้นำผลพลอยได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลทราย โรงงานผลิตเอทานอล และโรงงานแปรรูปสับปะรด เป็นต้น มาผลิตเป็นอาหารหยาบ PMR การนำอาหารหยาบไปผ่านกระบวนการหมักนั้น ทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้นและทำให้มีความน่ากินสูงขึ้น ทั้งยังสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานเพื่อใช้ในยามขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ได้ (เมธา, 2533)

การใช้ประโยชน์อาหาร PMR ในการเลี้ยงสัตว์

การใช้อาหารหยาบ PMR ที่ประกอบด้วย ชานอ้อย เศษข้าวโพดหวาน และกากน้ำตาลเอทานอล ในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องได้เริ่มทดลองใช้มาตั้งแต่พ.ศ. 2553 คือการใช้อาหารหยาบ PMR ในการเลี้ยงโคเนื้อเพื่อเป็นอาหารหยาบทดแทนฟางข้าวและใช้กากน้ำตาลเอทานอลแทนกากน้ำตาล เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า โคในกลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบ PMR ที่มีโปรตีน 7 เปอร์เซ็นต์ กับกากน้ำตาลเอทานอลร่วมกับอาหารข้น มีอัตราการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวมากกว่าโคในกลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบ PMR ที่มีโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์ กับกากน้ำตาลเอทานอลร่วมกับอาหารข้น และกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวกับกากน้ำตาลร่วมกับอาหารข้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าชีวเคมีในเลือดพบว่า กลูโคสในเลือด ยูเรียไนโตรเจน และฮอร์โมนไทรโอไอโดไทโรนินมีค่าอยู่ในช่วงปกติ ด้านต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ พบว่า ต้นทุนการผลิตค่าอาหารของฟางข้าวและกากน้ำตาลมีค่าสูงกว่าอาหารหยาบ PMR ที่มีโปรตีน 7 และ 12 เปอร์เซ็นต์ (วลัยทิพย์, 2553)

อย่างไรก็ตามการใช้อาหารหยาบ PMR ที่มีโปรตีน 7 และ 12 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวที่สูงกว่าการเลี้ยงด้วยฟางข้าวร่วมกับกากน้ำตาล เนื่องจากโคเนื้อได้รับพลังงานและโปรตีนที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าโลหิตวิทยาที่อยู่ในช่วงปกติ และการเลี้ยงโคเนื้อด้วยอาหารหยาบ PMR ที่มีโปรตีน 7 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อคุณภาพซากทั้งต่อเปอร์เซ็นต์ซากอ่อน ความหนาไขมันสันหลัง ขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก และเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนจากการตัดแต่ง นอกจากนี้ ยังมีต้นทุนการผลิตต่ำสามารถลดต้นทุนการผลิตทำให้ได้รับกำไรจากการเลี้ยงโคเนื้อสูงขึ้น (วลัยทิพย์, 2553)

การใช้อาหารหยาบ PMR เพื่อเป็นอาหารหยาบทดแทนฟางข้าวในการเลี้ยงโคนมลูกผสมที่มีระดับเลือดไฮสไตน์ฟรีเชียน 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ให้นมครั้งแรกและอยู่ในช่วงกลางของระยะการให้น้ำนม (120 วัน) พบว่า เมื่อนำอาหารหยาบ PMR ที่มีโปรตีน 7 และ 12 เปอร์เซ็นต์ มาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบร่วมกับฟางข้าว โคนมมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและปริมาณผลผลิตน้ำนมที่สูงขึ้นมากกว่าโคนมกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบเพียงอย่างเดียว และน้ำเลือดของโคนมมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ยูเรีย-ไนโตรเจน กลูโคส และฮอร์โมนไทรโอไอโดไทโรนิน พบว่า อยู่ในสภาวะปกติ เมื่อพิจารณาในด้านผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ พบว่า การใช้อาหาร

หยาบ PMR ทดแทนแหล่งอาหารหยาบบางส่วน สามารถช่วยเพิ่มรายได้สุทธิจากน้ำนมปกติมากกว่าโคนมกลุ่มที่ไม่ได้รับการทดแทนด้วยอาหารหยาบ PMR ดังนั้น อาหารหยาบ PMR จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งของทุกๆปี ที่ขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพดี (หญ้าสด) และยังเป็นแนวทางในการนำผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตรและแหล่งพลังงานที่มีอยู่มากในปัจจุบันมาใช้ประโยชน์ด้วย (ณัฐพล, 2553) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาทดลองผลของอาหารหยาบ PMR ในการเลี้ยงแพะ ดังนั้นจึงเป็นอีกวัตถุประสงค์หนึ่งในการวิจัยครั้งนี้

เมล็ดฝ้าย (Whole cottonseed, WCS)

อาหารข้น (concentrate) เป็นอาหารที่มีความเข้มข้นของสารอาหารสูง กล่าวคือ เป็นอาหารที่ให้พลังงานและโภชนาการที่เพียงพอได้ทั้งหมดสูง แต่มีเยื่อใย (crude fiber) ต่ำ ซึ่งในกลุ่มของอาหารข้นอาจแบ่งย่อยได้เป็น 2 ชนิด คือ อาหารข้นที่ให้พลังงาน เป็นพวกอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วจะได้รับพลังงานสูง เช่น ข้าวโพดบด มันสำปะหลัง และเมล็ดข้าวฟ่าง เป็นต้น อีกชนิดหนึ่งเป็นอาหารข้นโปรตีน ซึ่งสัตว์ที่กินเข้าไปแล้วจะได้รับโปรตีนสูง เช่น กากถั่วเหลือง ถั่วลิสง และปลาป่น เป็นต้น อาหารข้นเป็นเพียงอาหารเสริมที่มีบทบาทในการช่วยให้สัตว์เลี้ยงได้รับสารอาหารเต็มตามความต้องการของสัตว์ ปริมาณอาหารข้นที่ใช้จะมากน้อยเพียงใดจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของอาหารหยาบที่สัตว์ได้รับ เช่น ถ้าคุณภาพของอาหารหยาบสูงและมีปริมาณเพียงพอต่อสัตว์ อาหารข้นที่ใช้ก็จะลดน้อยลง ในทางตรงกันข้ามถ้าอาหารหยาบมีคุณภาพต่ำ อาหารข้นก็จำเป็นต้องใช้ในปริมาณมากเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ (สายัณห์, 2547)

ช่วงฤดูแล้งอาหารหยาบมักจะมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ ทำให้แพะที่ได้รับอาหารหยาบเพียงอย่างเดียวได้รับโภชนาการไม่เพียงพอ อาหารข้นจึงเข้ามามีบทบาทที่สำคัญในแง่การเสริมโภชนาการให้เพียงพอต่อการดำรงชีพและเจริญเติบโตของแพะ จึงส่งผลให้ต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงแพะสูงขึ้น การนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ประกอบอาหารสัตว์ จึงเป็นทางออกที่ดีที่สุดในการลดต้นทุนค่าอาหาร ฉะนั้นแนวทางในการลดต้นทุนอาหารข้น จำเป็นต้องหาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีนราคาถูก หาได้ง่าย และมีปริมาณมากมาทดแทนแหล่งโปรตีนราคาแพงในอาหารข้น (เมธา และ ฉลอง, 2533) เมล็ดฝ้ายเป็นตัวเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับใช้เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานทดแทนในอาหารข้น ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้

ฝ้าย

ชื่อสามัญ:	Cotton
ชื่อไทย:	ฝ้าย
ชื่อพฤกษศาสตร์:	<i>Gossypium hirsutum</i> L.
วงศ์:	MALVACEAE



ภาพที่ 2 สมอฝ้ายและเมล็ดฝ้าย

ที่มา: คัดแปลงจาก Indianagrains (2009)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลและเมล็ดฝ้าย

ฝ้ายมีส่วนที่สำคัญและถูกนำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดคือ ผลฝ้าย หรือ สมอฝ้าย (boll หรือ capsule) ที่มีลักษณะกลมหรือรูปไข่ สมอฝ้ายจะเจริญอย่างรวดเร็วหลังจากไข่ได้รับการผสมแล้ว และจะโตเต็มที่ใช้เวลาประมาณ 21 วัน หลังจากนั้นอีก 21-35 วัน จึงแก่เต็มที่ เมื่อสมอฝ้ายแก่ผนังจะแห้งและปริออกตามรอยของ carpel สมอฝ้ายมีจำนวนพูหรือช่อง (locule) 3-5 พู และแต่ละพูมี 6-9 เมล็ด ส่วนเมล็ดฝ้ายประกอบด้วยชั้นอ่อน ใบเลี้ยง และเปลือกหุ้มเมล็ด อาหารที่สะสมในใบเลี้ยงส่วนใหญ่เป็นพวกไขมันและโปรตีน (อำพล, 2546)

คุณค่าทางอาหารของเมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้าย

ตารางที่ 1 แสดงคุณค่าทางโภชนาของเมล็ดฝ้าย

ส่วนประกอบ (%DM)	เมล็ดฝ้าย
วัตถุแห้ง	92.68
โปรตีน	22.3
ไขมัน	20.24
เยื่อใย	24.10
ADF	33.8
Cellulose	24.8
Lignin	9.0
เถ้า	4.44
แคลเซียม	0.16
ฟอสฟอรัส	0.66
แมกนีเซียม	0.30
พลังงานรวม (Gross Energy) (แคลอรี)	5,178.0

ที่มา: คัดแปลงจาก Smith *et al.* (1981)

เมล็ดฝ้ายทั่วไปจะมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันประมาณ 15-24 เปอร์เซ็นต์ ถ้ากะเทาะเปลือก (Seed coat) แล้ว จะมีปริมาณน้ำมันประมาณ 30-38 เปอร์เซ็นต์ (จินดา และคณะ, 2537) เมล็ดฝ้ายเมื่อนำไปสกัดน้ำมันส่วนที่เป็นกากเมล็ดฝ้ายจะมีโปรตีนและเยื่อใยแตกต่างกัน แล้วแต่จะกะเทาะเปลือกหรือไม่กะเทาะเปลือก รวมถึงขบวนการสกัดน้ำมัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาส่วนประกอบทางโภชนาที่มีในเมล็ดฝ้าย (ตารางที่ 1) และกากเมล็ดฝ้ายสกัดน้ำมันทั้ง 2 ชนิด (ตารางที่ 2) จะเห็นว่ามีความแตกต่างทางโภชนาเป็นอาหารสัตว์ได้ เมล็ดฝ้าย (whole cottonseed, WCS) จะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำมีเยื่อใยและไขมันสูงกว่ากากเมล็ดฝ้ายทั้งสองชนิด กากเมล็ดฝ้ายชนิดกะเทาะเปลือกจะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่ากากเมล็ดฝ้ายชนิดไม่กะเทาะเปลือก ซึ่งการกะเทาะเปลือกเมล็ดฝ้ายก่อนผ่านขบวนการสกัดน้ำมันทำให้กากเมล็ดฝ้ายมีปริมาณเยื่อใยต่ำกว่ากากเมล็ดฝ้ายชนิดไม่กะเทาะเปลือกและเมล็ดฝ้ายมาก โดยทั่วไปกาก

เมล็ดฝ้ายชนิดกะเทาะเปลือกจะมีโปรตีนอยู่ระหว่าง 32-50 เปอร์เซ็นต์ มีเยื่อใยประมาณ 10-21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะผันแปรไปตามคุณภาพของวัตถุดิบ และวิธีการแยกเอาน้ำมันออก ในสถานะที่กากเมล็ดฝ้ายมีราคาแพง เมล็ดฝ้ายสามารถนำมาเลี้ยงสัตว์ได้โดยตรง มีราคาถูกกว่ากากเมล็ดฝ้าย สามารถเก็บรักษาไว้ได้ง่าย เป็นเวลานาน และสะดวกกว่ากากเมล็ดฝ้าย จึงเหมาะจะนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อทดแทนโปรตีนจากแหล่งอื่นได้ (จินดาและคณะ, 2537)

ตารางที่ 2 แสดงคุณค่าทางอาหารของกากเมล็ดฝ้ายชนิดไม่กะเทาะเปลือกและกากเมล็ดฝ้ายชนิดกะเทาะเปลือก

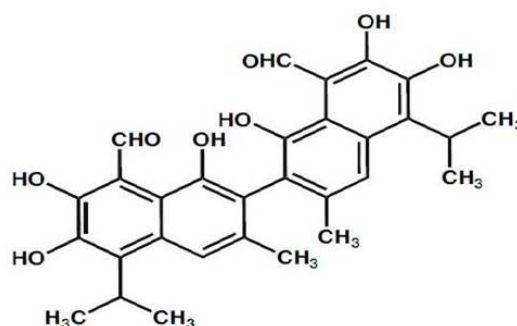
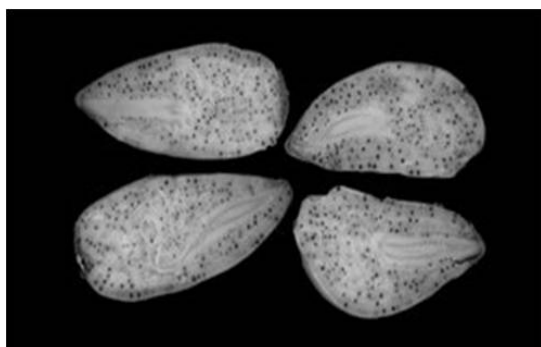
ส่วนประกอบ (%DM)	ชนิดของกากเมล็ดฝ้าย	
	ไม่กะเทาะเปลือก	กะเทาะเปลือก
วัตถุแห้ง	92.4	92.6
โปรตีน	28.0	42.1
ไขมัน	5.2	6.1
เยื่อใย	21.4	10.5
แป้งและน้ำตาล	33.2	28.3
เถ้า	4.6	5.6
แคลเซียม	0.17	0.19
ฟอสฟอรัส	0.64	1.97

ที่มา: คัดแปลงจาก ชวนิศนคาร (2530)

สารพิษในเมล็ดฝ้าย

ต่อมสีในเมล็ดจะพบอยู่ทั่วๆ ไปในพืชสกุล *Gossypium spp.* ที่สำคัญคือ กอสซิปอล (gossypol) ไดอะมิโนกอสซิปอล (diaminogossypol) พบในต่อมสีเหลือง กอสซิปอร์พิวรีน (gossypurpurin) ในต่อมสีม่วง กอสซิปัลวิน (gossyfulvin) ในต่อมสีส้ม กอสซิปูร์คูลิน (gossycaerulein) ในต่อมน้ำเงิน และกอสซิปเวอร์ดูลิน (gossyverdulin) ในต่อมสีเขียว ภายในต่อมสีส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารกอสซิปอล (gossypol, $C_{30}H_{30}O_8$) เป็นสารโพลีฟีนอล (poly phenolic

compound) ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ ลักษณะเป็นต่อมสีเหลืองพบมากในส่วนของ เมล็ด ราก และใบของฝ้าย (Adam *et al.*, 1960; Willard *et al.*, 1995)



ภาพที่ 3 ต่อมสีในเมล็ดฝ้ายและโครงสร้างโมเลกุลสารพิษกอสซิปอล (gossypol)

ที่มา: คัดแปลงจาก Jia *et al.* (2008)

สารพิษกอสซิปอลถูกสังเคราะห์ได้ครั้งแรกโดย Edwards (1958) (Randel *et al.*, 1992) สูตรโครงสร้างคือ 1,1',6,6',7,7'-hexahydroxy-3,3'-dimethyl-5,5'-bis(1methylethyl)[2,2'-binaphthalene]-8,8'-dicarboxyaldehyde มีสูตรเคมีอย่างง่ายคือ $C_{30}H_{30}O_8$ มีน้ำหนักโมเลกุล 518.54 ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เท่ากับ 69.48 5.83 และ 24.68 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Budarari, 1989) ปริมาณกอสซิปอลโดยเฉลี่ยในฝ้ายสกุล *G.hirsutum* พบว่ามีปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ (Pondy and Thejappa, 1975) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของกอสซิปอลในเมล็ดมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณน้ำฝนและในเชิงลบกับอุณหภูมิ ความเข้มข้นของกอสซิปอลที่มีอยู่ในเมล็ดฝ้ายเป็นสิ่งที่จำกัดในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องและเป็นพิษต่อสัตว์กระเพาะเคี้ยว ส่วนที่เป็นกอสซิปอลอิสระ (free gossypol) เป็นส่วนที่เป็นพิษมากที่สุด (Hale and Lyman, 1957)

อาการเป็นพิษในสัตว์

สัตว์กระเพาะเคี้ยว (monogastric animal) มีความไวในการตอบสนองต่อความเป็นพิษของกอสซิปอลมากกว่าสัตว์กระเพาะรวมที่ค่อนข้างจะทนทานต่อสารพิษนี้ได้ การกำจัดกอสซิปอล (gossypol) ในสัตว์กระเพาะรวม ยังไม่สามารถอธิบายได้แต่พอที่จะสันนิษฐานได้ว่าหน้าที่และการทำงานของกระเพาะรูเมนมีความสำคัญต่อการใช้เมล็ดฝ้ายในอาหารสัตว์ กลไกหนึ่งที่สัตว์เคี้ยว

เอื้องใช้ในการกำจัดสารพิษกอสซิพอลคือ สารพิษกอสซิพอลในรูปอิสระเมื่อเข้าไปในกระเพาะรูเมน polyphenolic compound ที่พบในเมล็ดฝ้ายจะเข้ายึดกับโปรตีนที่ละลายได้ในกระเพาะรูเมน ทำให้เกิดพันธะถาวรขึ้นซึ่งพันธะนี้จะคงอยู่ต่อไปจนกว่าโปรตีนจะถูกย่อย ดังนั้นปริมาณของโปรตีนในกระเพาะหมัก จึงเป็นสิ่งสำคัญในการยึดเกาะของสารชนิดนี้ (Raiser and Fu, 1962) กระบวนการกำจัดสารพิษกอสซิพอลมีความซับซ้อนและยังมีอีกหลายกลไกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการนี้

เมล็ดฝ้ายยังคงมีข้อจำกัดในการใช้เลี้ยงสัตว์ เนื่องจากอาการเป็นพิษที่ได้รับจากสารดังกล่าว มีความคล้ายคลึงกันทั้งในสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์กระเพาะเดี่ยว ได้แก่ สัตว์หายใจลำบาก และแรง ไม่อยากอาหาร อัตราการเจริญเติบโตลดลง เมื่อศึกษาซากพบมีการบวม น้ำและสะสมของเหลวคล้ายสีฟางข้าวบริเวณปอด ตับ ช่องอก และช่องท้อง (Hale and Lyman, 1957) ในการใช้เมล็ดฝ้ายที่มีปริมาณสารพิษกอสซิพอลในช่วง 0.1-0.7 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงลูกโคอายุแรกเกิดถึง 6 เดือน มีผลทำให้ลูกโคตาย (Leighton *et al.*, 1953) ซึ่งลูกโคจะแสดงอาการเป็นพิษที่ระดับกอสซิพอลประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (Roger *et al.*, 1975) โคนมที่ได้รับจากเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 6.6 และ 42.7 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว/วัน มีความเข้มข้นสารพิษกอสซิพอลในเลือดและตับเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การผิดปกติอย่างอื่นที่พบได้แก่ อัตราการหายใจเร็ว เม็ดเลือดแดงแตกง่าย ปริมาณฮีโมโกลบินต่ำ ปริมาณพลาสมาโปรตีนทั้งหมดในเลือดสูงขึ้น (Lindsey *et al.*, 1980)

อย่างไรก็ตาม มีการทดลองในสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยเสริมเมล็ดฝ้ายในอาหารแม่โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ในระยะ 15 สัปดาห์แรกของการให้นม ที่ระดับ 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบอาการเป็นพิษ แม้แต่ที่ระดับการเสริมถึง 6.4 กิโลกรัม/ตัว/วัน (น้ำหนักสด) (Smith and Collar, 1980) และเมื่อนำเมล็ดฝ้ายมาเสริมในอาหารที่ใช้เลี้ยงโคพันธุ์บราห์มันเพศผู้ในปริมาณวันละ 60 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว จะทำให้โคถึงวัยเจริญพันธุ์ช้า มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ (Chase *et al.*, 1994) การทดลองเสริมกากเมล็ดฝ้ายในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็กโดยแบ่งเป็น 4 ทริทเมนต์ คือ 0 8 16 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ละทริทเมนต์แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คืออายุน้อยกว่า 6 เดือน 6-12 เดือน 12-18 เดือน และ มากกว่า 18 เดือน ตามลำดับ แพะทดลองได้รับปริมาณสารพิษกอสซิพอลอิสระ (free gossypol) ในแต่ละวันเท่ากับ 0.015 0.030 และ 0.046 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทดลองเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดันภายในเซลล์เม็ดเลือดแดง (erythrocyte membrane osmotic fragility) ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกเกี่ยวกับความผิดปกติของรูปร่างเซลล์เม็ดเลือดแดงที่เกิดสารพิษกอสซิพอล หากมีค่าเฉลี่ยสูงอาจทำให้เม็ดเลือดแดงมีอายุสั้นและแตกง่าย (Matondi *et al.*, 2007) ซึ่งเลือดของแพะทดลองทุกทริทเมนต์ มีค่าเฉลี่ย

เพิ่มขึ้นตามระดับปริมาณสารพิษกอสซิพอลที่ได้รับต่อวัน แต่ค่าเฉลี่ยแรงดันภายในเซลล์เม็ดเลือดแดงยังอยู่ในระดับปกติรวมถึงไม่พบอาการเป็นพิษและการตายของแพะทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าอายุของแพะในแต่ละทริทเมนต์นั้น บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานความเป็นพิษที่เกิดจากสารพิษกอสซิพอล โดยแพะที่มีอายุน้อย (มากกว่า 18 เดือน) จะมีค่าเฉลี่ยแรงดันภายในเซลล์เม็ดเลือดแดงต่ำกว่ากลุ่มแพะที่มีอายุน้อย (น้อยกว่า 6 เดือน) สามารถสรุปได้ว่า แพะที่มีอายุน้อยมีความต้านทานต่อความเป็นพิษจากสารพิษกอสซิพอลมากกว่าแพะที่มีอายุน้อย (Matondi *et al.*, 2007)

การใช้ประโยชน์ของเมล็ดฝ้ายในการเลี้ยงสัตว์

เมล็ดฝ้ายเป็นผลพลอยได้หลังจากโรงงานหีบฝ้ายแยกเอาปุ๋ยฝ้ายออกไปแล้ว เมล็ดฝ้ายที่เข้าโรงงานเพื่อหีบน้ำมัน อาจจะกะเทาะเปลือกหรือไม่กะเทาะเปลือกก่อนการหีบน้ำมันก็ได้ ส่วนที่เหลือหลังการหีบน้ำมันออกแล้วเรียกว่า กากเมล็ดฝ้าย (ชนิดกะเทาะเปลือก) หรือกากเมล็ดฝ้าย (ชนิดไม่กะเทาะเปลือก) เมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้ายทั้งสองชนิดนี้สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดี เนื่องจากจะมีคุณค่าทางอาหารเช่น โปรตีน เยื่อใย และพลังงานสูง อย่างไรก็ตามการใช้เมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้ายเป็นอาหารสัตว์จะมีขีดจำกัดในการใช้ เนื่องจากปริมาณของสารกอสซิพอล (gossypol) ในเมล็ดฝ้ายซึ่งจะเป็นพิษต่อสัตว์ ถ้าสัตว์ได้รับสารนี้ในปริมาณมากเกินไปที่ร่างกายจะรับได้สัตว์อาจจะถึงตาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น ไก่ สุกร จะสามารถต้านทานต่อสารพิษได้น้อยมากจึงไม่เหมาะที่จะใช้กากเมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารในปริมาณมาก แต่สำหรับโค กระบือ สามารถใช้เมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารได้ในอัตราที่สูงกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว (จินดา และคณะ, 2535)

การทดลองในสัตว์กระเพาะเดี่ยว โดยการใช้กากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษเพียงอย่างเดียว เปรียบเทียบกับกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษที่เสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีน ซึ่งกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษมีโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัส และพลังงานรวม (gross energy) เท่ากับ 39.60 3.95 13.91 7.18 0.44 3.04 เปอร์เซ็นต์ และ 4,170 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ตามลำดับ กากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษยังมีกรดอะมิโน lysine, methionine, threonine และ leucine เท่ากับ 1.62 0.58 1.06 และ 2.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณ total gossypol และ free gossypol มีปริมาณ 0.0471 และ 0.009 เปอร์เซ็นต์ ใช้เลี้ยงไก่กระทงพันธุ์ฮับบาร์ด อายุ 7 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่า กากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษที่เสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ต่างๆสูงกว่ากากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ

โปรตีน เนื่องจากกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนจัดเป็น first limiting amino acid ในกากเมล็ดฝ้าย (Johnston and Watts, 1964) ดังนั้นเมื่อมีการเสริมกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนจึงมีผลทำให้การย่อยได้ของโปรตีนในกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษเพิ่มขึ้น (เกียรติศักดิ์และคณะ, 2540) การทดลองโดยทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 0 7.5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในอาหารของสุกรสาวที่อยู่ในระยะการพัฒนากลายเป็นสัดครั้งแรก พบว่า เมล็ดฝ้ายทำให้ปริมาณการกินอาหารและอัตราการเจริญเติบโตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อายุการเป็นสัดครั้งแรกของสุกรสาวสั้นลงมีค่าเท่ากับ 186 181 และ 177 วัน ตามลำดับ บ่งบอกถึงอายุการเป็นสัดครั้งแรกของสุกรสาวสั้นลงตามระดับการทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยเมล็ดฝ้ายที่เพิ่มขึ้น (Schell *et al.*, 2000) นอกจากนี้ ยังสามารถใช้กากเมล็ดฝ้ายทดแทนกากถั่วเหลืองได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ของกากถั่วเหลือง ในอาหารสุกรรุ่นโดยไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกร (Cervantes *et al.*, 1999)

การทดลองในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 0 5 15 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในอาหารชั้นเลี้ยงแม่โครีดนม พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของไนโตรเจน ไขมัน และพลังงาน เพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้าย แต่ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบและปริมาณน้ำนม ทั้งนี้ยังสามารถทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายจนถึงระดับ 2.9 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน (น้ำหนักแห้ง) เลี้ยงแม่โครีดนมได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อช่วงห่างของการตกูก ความผิดปกติของกระเพาะ abomasum คีโตซิส ปริมาณไขมันนม และการเกิดรกค้าง (Smith *et al.*, 1980) แต่ในบางการทดลองรายงานว่า การทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 0 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในสูตรอาหารทั้งหมด เลี้ยงแม่โคที่อยู่ในระยะให้นม มีปริมาณการกินได้ลดลงตามระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของเยื่อใย (NDF และ ADF) ที่เพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย (Coppock *et al.*, 1985)

การใช้เมล็ดฝ้ายระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ niacin ในอาหารโคนม ส่งผลให้ปริมาณการกินได้ ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบ ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ acid detergent fiber (ADF) ค่า pH ในกระเพาะรูเมน ระดับแอมโมเนียในโคโรเจน และปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีปริมาณโปรโตชีวในกระเพาะรูเมนลดลงและมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของไขมันสูงสุด (Horner *et al.*, 1988) การใช้เมล็ดฝ้ายระดับ 18.5 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารทั้งหมดของโคนมมีผลทำให้การดูดซึมน้ำตาลกลูโคสและ palmitate รวมถึงการ oxidation ของกลูโคสไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ในเนื้อเยื่อไขมันและเนื้อเยื่อต่างๆ ภายในเต้านมลดลง (Cummins and Russell, 1985) การทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับสูง

ขึ้นคือ 25 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลให้มีการสังเคราะห์กรดไขมันภายในเต้านมลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ (Smith *et al.*, 1980) และการทดลองเสริมเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ นี้ ในอาหารของลูกโคพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียนอายุ 12 สัปดาห์ พบว่า ลูกโคมีปริมาณการกินได้ น้ำหนักตัว ความหนา และจำนวน papillae ในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกระเพาะ reticulorumen และ abomasums ของลูกโค พบว่า ค่า pH ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (VFAs) น้ำหนัก และความจุกระเพาะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เพราะว่าเมล็ดฝ้ายมีน้ำหนักเบาเมื่อลูกโคกินเข้าไปทำให้อ่อนอาหาร (digesta) มีน้ำหนักเบาด้วย จึงส่งผลให้อัตราการไหลผ่านของอาหารในระบบทางเดินอาหารผ่านไปอย่างรวดเร็ว (Anderson *et al.*, 1982) หลังจากนั้น มีการทดลองเปรียบเทียบการใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน เมล็ดฝ้าย และเมล็ดทานตะวัน ในอาหารโคนมที่ระดับแตกต่างกันคือ 5 10 และ 12 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) อาหารทุกสูตรกำหนดให้มีพลังงานและโปรตีนเท่ากัน พบว่า โคนมที่เลี้ยงด้วยเมล็ดฝ้ายมีประสิทธิภาพในการผลิตน้ำนมสูงกว่ากลุ่มอื่น และไม่มีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของแม่โครวมถึงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (Anderson *et al.* 1984) และเมื่อเปรียบเทียบการใช้เมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันในโคนม พบว่า กรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVFAs) และกรดอะซิติก (acetic acid) ภายในกระเพาะรูเมนมีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ในสูตรอาหารที่มีเมล็ดฝ้ายปริมาณของกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) มากกว่าปริมาณกรดบิวทีริก (Butyric acid) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับ 12.7 เปอร์เซ็นต์ หรือเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 25.3 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) ในสูตรอาหาร ไม่ส่งผลให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง (Keele *et al.*, 1989)

การทดลองใช้เมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารโคเนื้อที่ระดับ 0 5 10 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ พบว่า กลุ่มโคเนื้อที่ได้รับเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ หรือต่ำกว่านี้ จะมีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารให้ผลดีเทียบเท่ากับกลุ่มควบคุม แต่กลุ่มโคเนื้อที่ได้รับเมล็ดฝ้ายที่ระดับเกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป จะมีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ส่วนในด้านองค์ประกอบซากไม่แตกต่างกัน (Preston and Bartel, 1989) การทดลองในสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก โดยการทดแทนวัตถุดิบข้าวโพดและกากถั่วเหลืองในอาหารขึ้นด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 0 15.7 และ 32.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เลี้ยงแพะเพศผู้ อายุ 6-8 เดือน น้ำหนักเริ่มต้น 25 กิโลกรัม จำนวน 12 ตัว เป็นระยะเวลา 140 วัน พบว่า กลุ่มแพะที่ได้รับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 15.7 เปอร์เซ็นต์ จะมีอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งทั้งหมดต่อวัน โปรตีน NDF และ ADF เพิ่มขึ้น ตัวบ่งชี้ความผิดปกติภายในร่างกายสัตว์ที่เกิดจากสารพิษกอสซิพอล ได้แก่ ปริมาณฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต และค่าแรงดันภายในเซลล์เม็ดเลือดแดง (erythrocyte fragility) ในเลือด

แพะมีค่าเพิ่มขึ้นที่ระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย 15.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าเฉลี่ยของตัวบ่งชี้เหล่านี้ยังอยู่ในระดับปกติของแพะทั่วไป แต่ที่ระดับเดียวกันนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวกับเม็ดเลือดแดง รวมถึงค่าชีวเคมีในเลือด เช่น อัลบูมิน กลูโคส และ BUN (blood urea nitrogen) เป็นต้น ทั้งนี้กลุ่มแพะที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับที่สูงขึ้น ส่งผลให้ตัวอสุจิมีการเคลื่อนไหวช้าลงและจำนวนตัวอสุจิลดลงด้วย (Solaiman *et al.*, 2009) นอกจากนั้นยังพบว่า การเสริมเมล็ดฝ้ายสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารทั้งหมด ในการขุนลูกแกะเพศผู้จะส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวลดลงแต่ไม่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบซาก (carcass components) ทั้งนี้อาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำและมีการเสริมเมล็ดฝ้ายร่วมด้วยนั้น ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซาก (carcass characteristics) (Dayani *et al.*, 2011)

การทดลองเสริมเมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารโคนมเพศผู้เพื่อผลิตเนื้อ ควรเสริมในอัตราส่วนไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอาหารทั้งหมด เนื่องจากเมล็ดฝ้ายในปริมาณที่สูงมากเกินไป จะทำให้ความน่ากินของอาหารลดลง (ฉัตรมงคล, 2528) การใช้กากเมล็ดฝ้ายและเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารชั้นร่วมกับอาหารสำเร็จจากบริษัท เลียงแม่โคลูกผสมพันธุ์โฮลสโตน์ฟรีเชียนที่อยู่ในระยะการให้นม โดยแม่โคทุกตัวจะปล่อยให้แพะเล็มในแปลงหญ้า พบว่า แม่โคที่กินอาหารชั้นผสมกากเมล็ดฝ้ายระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตน้ำนมและเปอร์เซ็นต์ไขมันนมสูงกว่า แต่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในนมต่ำกว่าแม่โคที่กินอาหารชั้นที่ผสมเมล็ดฝ้ายระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณอาหารชั้นที่แม่โคใช้ผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม ไม่แตกต่างกัน (จินดา และคณะ, 2535) มีการใช้เมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองประกอบสูตรอาหารชั้นในการเลี้ยงโคนมเพศผู้หลังหย่านมถึงน้ำหนัก 250 กิโลกรัม ให้อาหารชั้นโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว และให้อาหารชั้นโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว ในระยะที่สองคือ น้ำหนักตัว 250 กิโลกรัม ถึงสิ้นสุดการทดลอง เป็นระยะเวลาประมาณ 1 ปี พบว่า การใช้กากเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนมีแนวโน้มการเพิ่มน้ำหนักและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารสูงกว่าเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน (จินดา และคณะ, 2537)

การเสริมเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 20 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในสูตรอาหารเลี้ยงโคขุน โดยใช้โคลูกผสมอเมริกันบราห์มัน พบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้โดยใช้หญ้าที่ไม่ละลายในกรดเป็นตัวบ่งชี้ (AIA) ของโคขุนะต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมล็ดฝ้ายมี

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ สูงสุดและกลุ่มที่เสริมเมล็ดฝ้าย 60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ต่ำสุด ความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนและความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดลดลงตามระดับการเสริมด้วยเมล็ดฝ้าย ความเข้มข้นของกรดอะซิติก (C_2) สูงขึ้น และกรดโพรพิโอนิก (C_3) ลดลงตามระดับการเสริมด้วยเมล็ดฝ้าย แต่สัดส่วนกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิก ($C_2:C_3$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับของการเสริมด้วยเมล็ดฝ้าย (วุฒิพงษ์, 2539) นอกจากนั้น การเสริมเมล็ดฝ้ายในอาหารโคนมระดับสูงสุด (4 กิโลกรัม/ตัว/วัน) ส่งผลให้ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดลดลง ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้อิสระและค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน (กฤตพล และคณะ, 2542)

การใช้ประโยชน์ของเมล็ดฝ้ายทั้งในการเลี้ยงสัตว์กระเพาะเดี่ยวและสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นแตกต่างกัน ในการใช้ประโยชน์ของเมล็ดฝ้ายเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องมีประสิทธิภาพมากกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว เนื่องจากสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น ไก่ สุกร จะสามารถต้านทานต่อสารพิษกอสซิพอลได้น้อยมากจึงไม่เหมาะที่จะใช้เมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารในปริมาณมาก ดังจะเห็นได้จากบางการทดลองที่ใช้เมล็ดฝ้ายพันธุ์ไร้ต่อมพิษในการเลี้ยงไก่กระทาง ซึ่งเมล็ดฝ้ายพันธุ์ไร้ต่อมพิษจะมีปริมาณสารพิษกอสซิพอลต่ำกว่าเมล็ดฝ้ายที่มีต่อมพิษ แต่กลับไม่ปรากฏการทดลองลักษณะนี้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงเป็นการบ่งบอกว่าลักษณะทางเดินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีประสิทธิภาพในการย่อยเมล็ดฝ้ายและถึงแม้จะใช้เมล็ดฝ้ายในอาหารที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ ก็ไม่พบอาการเป็นพิษ (Coppock *et al.*, 1985) อย่างไรก็ตาม ควรเสริมเมล็ดฝ้ายในอัตราส่วนไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอาหารทั้งหมด เนื่องจากเมล็ดฝ้ายในปริมาณที่สูงมากเกินไป จะทำให้ความน่ากินของอาหารลดลง (ฉัตรมงคล, 2528)

การเปลี่ยนแปลงภายในตัวสัตว์

ค่าชีวเคมีในเลือด

เลือดประกอบด้วยสัดส่วนที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ 45 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเลือดทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด สัดส่วนที่เหลืออีก 55 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเลือดทั้งหมดเป็นส่วนของพลาสมา ซึ่งประกอบด้วยน้ำ 90 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนชนิดต่างๆ 7 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เหลือเป็นองค์ประกอบของสารอื่นๆ เช่น วิตามิน

ฮอร์โมน เป็นต้น การตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของระดับค่าเคมีชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบในซีรัมหรือพลาสมามีความสำคัญมาก สามารถใช้เป็นข้อมูลและแนวทางในการวินิจฉัยทางคลินิกที่ให้ผลแม่นยำมากขึ้น และทำให้ทราบถึงการทำงานของอวัยวะต่างๆ ในร่างกายว่าจะอยู่ในสภาวะปกติหรือไม่ (Margi, 1995)

กลูโคสในเลือด (Blood Glucose; BG)

BG ขึ้นอยู่กับสภาวะของสัตว์และชนิดอาหารที่กิน การกินอาหารขึ้นจะสร้างกลูโคสมากกว่าการกินอาหารหยاب เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตในอาหารขึ้นถูกเปลี่ยนเป็นโพรฟิโอนเทโดยการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่งจะถูกลดซึมเข้าสู่กระแสเลือดแล้วเปลี่ยนเป็นกลูโคสที่ตับต่อไป (บุญล้อม, 2541) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องมี BG 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และมีความต้องการเพื่อใช้ในการดำรงชีพ (basal metabolism) 40-46 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (เมธา, 2533) ระดับของ BG จะอยู่ในระดับปกติโดยการควบคุมของฮอร์โมนอินซูลินและกลูคากอนที่ผลิตจากตับอ่อน และมีการเพิ่มขึ้นของ BG หลังจากการได้รับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง การเกิดความเครียดอย่างฉับพลันหรือรุนแรง และการลดลงของ BG เกิดขึ้นในสภาวะ Acetonemia หรือ อินซูลิน ชักนำไปในร่างกายเกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ (Hypoglycemia) หรือการทำงานผิดปกติของตับและไต (Moss, 1992) โดยปกติปริมาณกลูโคสในเลือดของแพะอยู่ในช่วง 50-75 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (Kaneko, 1989)

ยูเรียไนโตรเจนในเลือด (Blood Urea Nitrogen; BUN)

ยูเรียเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen) สังเคราะห์ที่ตับเปลี่ยนมาจากแอมโมเนีย โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสลายโปรตีนในอาหารเป็นแอมโมเนีย เพื่อใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการสร้างจุลินทรีย์โปรตีน แอมโมเนียที่จุลินทรีย์นำไปใช้ไม่หมดจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเข้าสู่กระแสเลือด และจะถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียอย่างรวดเร็วที่ตับเพื่อลดความเป็นพิษของแอมโมเนีย (Khon, 2007) ยูเรียที่เกิดขึ้นเข้าสู่กระแสเลือดส่วนหนึ่งและถูกนำกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนผ่านทางน้ำลาย อีกส่วนหนึ่งไปยังไต และถูกขับออกทางปัสสาวะ (บุญล้อม, 2541) BUN สามารถใช้ตรวจสอบความสมดุลระหว่างปริมาณโปรตีนและพลังงานในอาหารที่สัตว์ได้รับ (Hammond, 1997) การเพิ่มขึ้นของ BUN อาจเป็นผลเนื่องจากสัตว์ได้รับอาหารที่มีโปรตีนคุณภาพต่ำ ไม่สามารถนำมาใช้เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับร่างกาย หรืออาจเกิดจากสภาวะที่มีการนำโปรตีนในร่างกายไปใช้ประโยชน์ เช่น ในช่วงที่ปริมาณการกินได้อาหารต่ำ ไม่

เพียงพอในการรักษาสภาพปกติของสัตว์ได้ อัตราการสังเคราะห์ยูเรียจะสูงขึ้นในสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต อยู่ระหว่างการให้นม และในสัตว์ที่กินอาหารที่มีโปรตีนสูง (Madsen, 1983) ส่วนการลดลงของ BUN อาจเกิดจากร่างกายได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำ หรือการทำงานที่ผิดปกติของวัฏจักรยูเรียในการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นยูเรีย หรือเกิดจากความผิดปกติของตับและไต (Moss, 1992) โดยปกติปริมาณ BUN ในเลือดโดยเฉลี่ยของแพะที่มีการรายงานอยู่ระหว่าง 10-20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Kaneko, 1989)

ฮอร์โมนไตรไอโอโดไทโรนีน (triiodothyronine hormone; T_3)

ฮอร์โมนไตรไอโอโดไทโรนีน (triiodothyronine hormone; T_3) และฮอร์โมนไทรอกซีน (thyroxine hormone; T_4) ผลิตจากต่อมธัยรอยด์ (thyroid gland) โดยฮอร์โมน T_3 จะมีความเข้มข้นในเลือดต่ำกว่าฮอร์โมน T_4 แต่มีความสามารถในการออกฤทธิ์ได้นานกว่าหลายเท่า กระบวนการสังเคราะห์ฮอร์โมนทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับไอโอดีน และกรดอะมิโนไทโรซีน หน้าที่ของฮอร์โมนทั้งสองชนิดเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างพลังงาน โดยควบคุมอัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐาน (basal metabolism rate) มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน และยังมีผลต่อการทำงานของทุกระบบภายในร่างกาย เช่น ระบบหัวใจ ระบบย่อยอาหาร การระบายความร้อนจากร่างกาย เป็นต้น (Dunlop *et al.*, 1991) ในสัตว์ต่างชนิดกันจะมีระดับของฮอร์โมนทั้งสองชนิดนี้แตกต่างกัน แพะควรมีค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยของฮอร์โมนไตรไอโอโดไทโรนีน (triiodothyronine hormone; T_3) เท่ากับ 45 และ 90-190 นาโนกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ (Dunlop, 1991)

ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin; Hb)

ฮีโมโกลบิน คือโปรตีนขนาดใหญ่ที่บรรจุอยู่ในเม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่หลักในการขนส่งออกซิเจน (O_2) จากปอดไปเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อตามอวัยวะต่างๆของร่างกาย โมเลกุลของฮีโมโกลบินมีรูปร่างเป็นก้อนกลม (globular) ประกอบด้วยสายพอลิเปปไทด์ 4 สาย คือ สายแอลฟา 2 สาย (α -globin) และสายเบต้า 2 สาย (β -globin) แต่ละสายจะจับกับส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนที่เรียกว่า ฮีม (heme) ซึ่งทำหน้าที่จับกับออกซิเจนผ่านอะตอมของเหล็กเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ฮีโมโกลบินสามารถจับกับโมเลกุลของออกซิเจนได้ 4 โมเลกุล โดยหลังจากที่ฮีโมโกลบินโมเลกุลแรกจับกับออกซิเจน

แล้วจะมีผลทำให้โมเลกุลฮีโมโกลบินเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเหนี่ยวนำให้สามารถจับกับออกซิเจนได้อย่างต่อเนื่อง (ปริยานันท์ และคณะ, 2553)

ความสามารถในการจับออกซิเจนของฮีโมโกลบินจะลดลงเมื่อได้รับอิทธิพลจากโมเลกุลต่างๆ เช่น โปรตอนไฮดรอน (H^+) คลอไรด์ไฮดรอน (Cl^-) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น ในขณะที่ฮีโมโกลบินจับกับออกซิเจนในแต่ละโมเลกุลของฮีโมโกลบินจะปลดปล่อยไฮดรอนของโปรตอนออกมา ส่งผลให้เกิดสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในเซลล์ลดลงทำให้ความสามารถในการจับกับออกซิเจนของฮีโมโกลบินลดลง รูปแบบการจับกับออกซิเจนของฮีโมโกลบินจะเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์กับการทำหน้าที่ภายในเซลล์นั้นต้องเป็นบริเวณที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนสูง การจับอย่างสมบูรณ์ของฮีโมโกลบิน 1 โมเลกุล จะจับกับออกซิเจนได้ 4 โมเลกุล ซึ่งความสามารถของฮีโมโกลบินในการจับกับออกซิเจนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและค่าความดันของออกซิเจน (ปริยานันท์ และคณะ, 2553)

โดยทั่วไปบริเวณกล้ามเนื้อเมื่อค่าความดันออกซิเจนลดลง ร่างกายจะเข้าสู่สภาวะเมตาบอลิซึมสูง เนื่องจากโมเลกุลของฮีโมโกลบินไม่สามารถจับออกซิเจนได้ครบทั้ง 4 โมเลกุล ในทางตรงกันข้ามเมื่อค่าความดันออกซิเจนเพิ่มขึ้นที่ปอด โมเลกุลของฮีโมโกลบินจะสามารถจับออกซิเจนได้ทั้ง 4 โมเลกุล (ปริยานันท์ และคณะ, 2553) ถ้าเม็ดเลือดแดงมีขนาดปกติ ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินจะประมาณ 1 ใน 3 ของค่าฮีมาโตคริต (สุนันท์, 2538) ค่า Hb มีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับปริมาณสารพิษกอสซิพอลที่ได้รับต่อวัน ซึ่งการทดลองเสริมเมล็ดฝ้ายในอาหารแพะเพศผู้ที่ระดับ 15.7 และ 32.7 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารพิษกอสซิพอลที่แพะได้รับต่อวันเท่ากับ 0.054 และ 1.416 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ย Hb เท่ากับ 9.85 และ 8.98 g/dl (Solaiman *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามแพะโดยทั่วไปควรมีค่าเฉลี่ย Hb อยู่ในช่วง 8-12 g/dl (Duncan *et al.*, 1986)

ปริมาตรเซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Hematocrit; Hct)

ปริมาตรของเซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่นคือ ปริมาตรของเม็ดเลือดแดงคิดเป็นร้อยละต่อปริมาตรของเม็ดเลือดแดง เมื่อบีบเลือดจนเม็ดเลือดแดงแยกออกจากพลาสมา เม็ดเลือดแดงจะอัดแน่นอยู่กันตลอด ความสูงของคอลัมน์เม็ดเลือดแดง (จากกันหลอดถึงระดับของพลาสมา) เมื่อเทียบกับความสูงทั้งหมดคิดเป็นร้อยละคือค่าของปริมาตรเซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (ฮีมาโตคริต) เป็นการบอกปริมาตรของเม็ดเลือดแดงได้แม่นยำกว่าการนับเม็ดเลือดแดง (สุนันท์, 2538) ค่าฮีมาโตคริต

เป็นดัชนีที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้วินิจฉัยหรือประเมินความสมบูรณ์ของร่างกายแพะและสุขภาพสัตว์ เบื้องต้นว่า สัตว์มีความผิดปกติของเลือดหรือไม่ (ไชยณรงค์, 2541) โดยหากค่าฮีมาโตคริตต่ำกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรคโลหิตจาง (anemia) ในทางตรงกันข้ามหากค่าฮีมาโตคริตสูงกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรค polycythemia เป็นความผิดปกติที่ไขกระดูกจะสร้างเม็ดเลือดแดงจำนวนมาก (Jain, 1993) ค่า Hct มีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับปริมาณสารพิษกอสซิพอลที่ได้รับต่อวัน ซึ่งการทดลองเสริมเมล็ดฝ้ายในอาหารแพะเพศผู้ที่ระดับ 15.7 และ 32.7 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารพิษกอสซิพอลที่แพะได้รับต่อวันเท่ากับ 0.054 และ 1.416 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ย Hct เท่ากับ 28.9 และ 25.10 เปอร์เซ็นต์ (Solaiman *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยฮีมาโตคริตของแพะโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 22-38 เปอร์เซ็นต์ (Duncan *et al.*, 1986)

กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถพิเศษในการใช้อาหารหยาบ กระเพาะทั้งหมดของสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ rumen, reticulum, omasum และ abomasum (เมธา, 2533) ส่วนแรกเป็น proventriculi ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของหลอดอาหาร กระเพาะ reticulum และ rumen เชื่อมติดต่อกันด้วยผนัง rumino-reticular fold ส่วนอาหารในรูปของแข็งและของเหลวจากทั้งสองส่วน จะเคลื่อนเข้าหากันอย่างอิสระในบริเวณส่วนเหล่านี้ โดยเฉพาะในรูเมนจะมีประชากรจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์จะทำการย่อยหมักอาหารที่สัตว์กินเข้าไป การใช้ประโยชน์จากอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องแต่ละชนิดนั้นจะมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความจุของระบบทางเดินอาหาร จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ภายในรูเมน อัตราการไหลผ่านของอาหาร และความสามารถในการดูดซึมโภชนา (Devendra, 1989; Leng, 1989; Wanapat, 1989)

ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน

ค่าความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะรูเมน (ruminal pH) จะแปรปรวนไปตามชนิดของอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับและเวลาที่ทำการวัด เมื่อสัตว์กินอาหารประเภทแป้งเข้าไปในกระเพาะรูเมนจะถูกเอนไซม์จากจุลินทรีย์ย่อย ผลที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยจุลินทรีย์จะเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid) ส่วนหนึ่งของกรดไขมันระเหยได้จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตและเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งกับคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างของพืช (เยื่อใย) พบว่า แป้งถูกย่อยสลายได้เร็วกว่า ให้สัดส่วน

ของ propionic acid และ butyric acid สูงกว่า และทำให้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมน ลดต่ำลง เนื่องจากในกระบวนการย่อยแป้งนั้นจะเกิด lactic acid เป็นจำนวนมากและจะถูกเปลี่ยนไปเป็น propionic acid ต่อไป (เทอดชัย, 2542)

กรดที่เกิดจากการหมักย่อยตามทฤษฎีแล้วสามารถทำให้ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนลดต่ำลงเหลือ 2.5-3.0 ได้ แต่สภาพปกติความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะมีค่าอยู่ในช่วง 6-7 (เมธา, 2533) เนื่องจากฟอสเฟต (phosphate) และ ไบคาร์บอเนต (bicarbonate) ในน้ำลายที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ประกอบกับการดูดซึมกรดอย่างรวดเร็วโดยผ่านทางผนังกระเพาะรูเมน ทำให้รักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างไว้ได้ (McDonald *et al.*, 1995) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมนสามารถบ่งบอกถึงการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตได้ โดยถ้าหากความเป็นกรด-ด่างลดลง แสดงว่ามีการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตเกิดขึ้น ถ้าลดลงอย่างรวดเร็วแสดงว่าอาหารนั้นมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายนั้นหมายถึง มีพลังงานจำนวนมากในกระเพาะรูเมน ในทางตรงกันข้ามถ้าหากความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไม่ลดลงแสดงว่าคาร์โบไฮเดรตในอาหารนั้นย่อยสลายได้ยาก (เทอดชัย, 2542)

การย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตและกรดไขมันที่ระเหยได้ในกระเพาะรูเมน

อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตของสัตว์เคี้ยวเอื้อง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างพืช (structural carbohydrate) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และเพคติน (pectin) คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural carbohydrate) ได้แก่ แป้ง และน้ำตาล เมื่ออาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเข้าสู่กระเพาะรูเมนจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ ในขั้นแรกน้ำตาลเชิงซ้อน (polysaccharide) จะถูกเอนไซม์เข้าย่อยพันธะที่เชื่อมหน่วยของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ให้เป็นน้ำตาลขนาดต่างๆ และสุดท้ายได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ขั้นที่สองน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ย่อยได้จะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวต (pyruvate) อย่างรวดเร็ว ในขั้นตอนสุดท้ายไพรูเวตที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยได้ (VFA) ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดบิวทีริก (butyric acid) นอกจากนี้จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทน (methane) ต่อไป

กรดไขมันระเหยได้เหล่านี้ส่วนหนึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้สังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ และส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปยังตับ โดยกรดอะซิติกและกรดบิวทีริกจะถูก

ใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยผ่านกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) และสังเคราะห์เป็นไขมัน ส่วนกรดไพรูฟิโอนิกจะเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์กลูโคส โดยกระบวนการ gluconeogenesis (เทอดชัย, 2542) นอกเหนือไปจากอาหารคาร์โบไฮเดรตแล้ว ไขมันและโปรตีนจากอาหารที่สัตว์กินสามารถเป็นแหล่งผลิต VFA ได้ด้วย การใช้ไขมันผสมลงในอาหารนับว่ามีปริมาณน้อยมาก จากการย่อยไขมันจะได้กลีเซอรอลและกรดไขมันแต่ไม่ได้กรดไขมันสายยาว ในขณะที่โปรตีนจากอาหารอาจจะเป็นแหล่งผลิต VFA ที่สำคัญ เมื่ออาหารนั้นมีการสลายของโปรตีนในรูเมนอยู่สูง โปรตีนถูกย่อยไปเป็นกรดอะมิโนและถูก deaminate ก่อนจะเปลี่ยนไปเป็น VFA ความสำคัญในส่วนนี้ก็คือจะมีการสังเคราะห์ ไอโซบิวทีริก ไอโซวาเลอริก และ 2-เมทิลบิวทีริก จากกรดอะมิโน วาลีน ลูซีน และ ไอโซลูซีน ตามลำดับ ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ใช้ในการเจริญเติบโตที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียบางชนิด (Cotta and Hespell, 1986)

VFA ส่วนใหญ่ที่สังเคราะห์ขึ้นในกระเพาะรูเมนจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน และมีส่วนประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ จะผ่านไปยังกระเพาะโอม้าซึม อะโบมาซึม และมีการดูดซึมเกิดขึ้นโดยกระเพาะเหล่านี้ (Weston and Hogan, 1968) การสังเคราะห์ VFA พบว่า สูงสุดในระหว่างชั่วโมงที่ 2-4 หลังการกินอาหาร ความเข้มข้นของ VFA ในกระเพาะรูเมนที่ระยะเวลาใด ๆ นั้น สะท้อนให้ทราบถึงความสมดุลระหว่างอัตราการสังเคราะห์และอัตราการสูญเสีย หลังการกินอาหารอัตราการสังเคราะห์จะมีมากกว่าอัตราการสูญเสียทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นสภาวะเปลี่ยนไปความเข้มข้นจะลดลง ความเข้มข้นของ VFA อาจลดต่ำลงถึง 30 mM หรือสูงถึง 200 mM แต่โดยปกติจะอยู่ในช่วงระหว่าง 70-130 mM ความเข้มข้นของกรดไขมันแต่ละตัวจะบ่งบอกถึงรูปแบบกระบวนการหมัก ซึ่งดัชนีของกระบวนการหมักจากอาหารหยาบจะมีความเชื่อถือได้มากกว่าอาหารข้น (Leng and Brett, 1966; Esdale *et al.*, 1968)

อาหารที่ประกอบด้วยอาหารหยาบในปริมาณสูงเป็นสิ่งกระตุ้นให้มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ผลิตกรดอะซิติก ในทางตรงกันข้ามอาหารที่ประกอบด้วยอาหารข้นในปริมาณสูงจะเป็นสิ่งกระตุ้นให้มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มที่ผลิตกรดไพรูฟิโอนิก ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะทางกายภาพของอาหาร ปริมาณการกินได้ ความถี่ของการให้อาหารและการใช้สารเสริมอาหาร อาจเป็นสิ่งที่สะท้อนถึงรูปแบบของกระบวนการหมัก (Thomas and Rook, 1981; Orskov, 1981; Van Neren and Demeyer, 1988) กรดอะซิติก และบิวทีริกหลังจากที่ถูกดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อสัตว์แล้ว จะถูกใช้เป็นแหล่งของพลังงานโดยกระบวนการ oxidation ผ่าน citric acid cycle ซึ่งกรดอะซิติกเป็นสารประกอบหลักในการสังเคราะห์ไขมัน ในขณะที่กรดไพรูฟิโอนิกส่วน

ใหญ่ถูกใช้ในขบวนการสังเคราะห์กลูโคส ปริมาณโปรตีนที่ถูกลดซึมเข้าไปจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกลูโคสได้ตั้งแต่ 19-60 เปอร์เซ็นต์ (เมธา, 2533)

เมทาบอลิซึมของสารประกอบไนโตรเจนในรูเมน

ไนโตรเจนในอาหารอยู่ในรูปที่ต่างกัน แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ โปรตีนแท้ (true protein) และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen; NPN) ตัวอย่างของ NPN เช่น free amino acid, peptides, amides, amines, ammonium salt, nitrate, nitrite, urea และ biurate เป็นต้น ในอาหารธรรมชาติ จะมีสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนอยู่ในปริมาณที่ต่างกันไป เช่น เมล็ดพืชมีประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ หญ้าสดและหญ้าอ่อนมีประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ แต่พอหญ้าแก่จะลดลงเหลือ 4-5 เปอร์เซ็นต์ อาหารหมักมีสูงถึง 60-75 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูเมน ได้แก่ ชนิดของอาหาร ความสามารถในการละลายได้ ช่วงเวลาหลังจากสัตว์กินอาหารแล้ว รวมทั้งวิธีการตรวจหาสารประกอบไนโตรเจนด้วย (เมธา, 2533)

การย่อยสลายของโปรตีนในรูเมน

เมื่อสัตว์ได้รับโปรตีนในอาหารเข้าไปในรูเมน จุลินทรีย์โดยเฉพาะพวกแบคทีเรียจะไฮโดรไลซ์ (hydrolyzed) โปรตีนให้มีโมเลกุลเล็กลงเปลี่ยนเป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน กิจกรรมของจุลินทรีย์จะแตกต่างกันออกไปจะขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะอาหาร อย่างไรก็ตามค่า pH ในรูเมนอาจจะมีอิทธิพลมากกว่า ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมของการเข้าย่อยสลายโปรตีนจะอยู่ระหว่าง 6-7 หลังจากนั้นจะมีการ deamination กรดอะมิโนได้เป็น แอมโมเนีย และ keto acid ซึ่งอาจถูกสลายต่อไปเพื่อใช้ในการสร้างสารประกอบอื่น หรือเป็นแหล่งพลังงานหรือถูกนำกลับมาสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนใหม่ สรุปได้ว่าส่วนหนึ่งของกรดอะมิโนจะถูกย่อยสลายต่อไปได้แก่ แอมโมเนีย (ammonia) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA) (บุญล้อม, 2541) แอมโมเนียมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน (microbial protein) ซึ่ง 80 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในตัวจุลินทรีย์สังเคราะห์โดยใช้แอมโมเนียและอีก 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้กรดอะมิโนโดยตรง ไนโตรเจนในอาหารประมาณ 59 เปอร์เซ็นต์ จะถูกย่อยในกระเพาะรูเมน ปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกย่อย 29 เปอร์เซ็นต์ ถูกใช้ประโยชน์ในรูปของกรดอะมิโนและอีก 71 เปอร์เซ็นต์ จะ

ถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย แต่กระบวนการดังกล่าวก็ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของชนิดอาหาร โปรตีนแต่ละชนิดด้วย (เมธา, 2533)

ความเข้มข้นที่เหมาะสมของแอมโมเนียในโตรเจน ในกระเพาะรูเมน นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับของการให้อาหาร ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่มี แหล่งของแร่ธาตุ และ ความถี่ของการให้อาหาร เป็นต้น ระดับของแอมโมเนียในโตรเจน ที่เหมาะสมนั้นมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการเพิ่มกระบวนการย่อยในรูเมนโดยจุลินทรีย์ ทั้งนี้ความเข้มข้นที่เหมาะสมของแอมโมเนียในโตรเจนอยู่ระหว่าง 2-22 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (mg%) (Church, 1983) ความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนที่มากกว่า 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลในการผลิตโปรตีนในตัวจุลินทรีย์ (Satter and Slyter, 1974)

การผลิตแอมโมเนียในรูเมน มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับเอนไซม์ transaminase จากจุลินทรีย์ (Roffler and Satter, 1975) ระดับ แอมโมเนียในโตรเจน ที่เหมาะสมในสัตว์เคี้ยวเอื้องในเขตร้อนมีค่าสูงกว่า 20 กรัม แอมโมเนียในโตรเจน/ลิตร จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปริมาณการกินได้สูงสุด (Boniface *et al.* 1986) และการให้อาหารที่มีไนโตรเจนที่ละลายง่าย (soluble nitrogen) สูง มีผลทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูเมนสูงขึ้นในช่วงเวลาที่ 1-2 หลังการให้อาหาร จากนั้นความเข้มข้นของแอมโมเนียจะค่อยๆ ลดลง แต่ในช่วงเวลาที่ 8-12 หลังให้อาหาร ความเข้มข้นของแอมโมเนียกลับสูงขึ้น เนื่องจากมียูเรียที่ร่างกายสร้างขึ้น (endogenous urea) ถูกส่งเข้ามาในรูเมน (Grummer and Clark, 1982) เมื่อระดับแอมโมเนียในโตรเจนเพิ่มขึ้นถึง 21 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (mg%) ส่งผลให้การย่อยได้ของ cellulose เพิ่มขึ้น (Krebs and Leng, 1986)

แอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะรูเมน

แอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะรูเมน (ruminal ammonia-nitrogen) เป็นสารตัวกลางระหว่างกระบวนการย่อยโปรตีนโดยจุลินทรีย์และการสังเคราะห์โปรตีน ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนนั้นสามารถบ่งบอกถึงการย่อยสลายของโปรตีนจากอาหารในกระเพาะรูเมนได้ โดยถ้าหากระดับแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนต่ำอาจแสดงว่าในอาหารนั้นมีโปรตีนต่ำหรือโปรตีนย่อยได้ต่ำ หรือโปรตีนสามารถทนทานต่อการย่อย มีผลทำให้การเจริญเติบโตหรือการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ต่ำลง ในทางตรงกันข้ามถ้าหากในอาหารมีโปรตีนมากเกินไปหรือมีการย่อยได้ของโปรตีนมากเกินไปกว่าการสังเคราะห์โปรตีน จะเกิดการสะสมแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนและ

มากเกินกว่าระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีน แอมโมเนียจะถูกดูดซึมผ่าน กระแสเลือดไปยังตับและเปลี่ยนเป็นยูเรีย ซึ่งยูเรียบางส่วนจะกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนทางน้ำลาย และซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนโดยตรง แต่ปริมาณยูเรียส่วนใหญ่จะถูกขับทางปัสสาวะ

โปรตีนที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ได้นั้นเป็นโปรตีนที่สังเคราะห์มาจากแอมโมเนีย 40-70 และจากแหล่งอื่นคือ เปปไทด์และกรดอะมิโน (เทอดชัย, 2542; McDonald *et al.*, 1995) ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนไม่ควรต่ำกว่า 5 มิลลิกรัม/ 100 มิลลิลิตร การเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่มีผลทำให้จุลินทรีย์มีการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้น ปกติความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมีค่าสูงสุดหลังจากสัตว์กินอาหาร 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดต่ำลง การรักษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียให้อยู่ในช่วง 3-8 มิลลิกรัม/ 100 มิลลิลิตร ให้นาน จะทำให้มีการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ (Satter and Slyter, 1974)

การหมุนเวียนกลับของไนโตรเจนเข้าสู่รูเมน (rumen N-recycling)

ไนโตรเจนสามารถกลับเข้าสู่รูเมนในรูปของยูเรีย โดยผ่านทางน้ำลายและโดยการแพร่ (diffusion) ของยูเรียในเลือดผ่านผนังรูเมน ซึ่งอาจสูงกว่าที่ผ่านมาทางน้ำลายถึง 16 เท่า ในน้ำลาย ชนิดผสมและน้ำลายชนิดใสที่ผลิตจากต่อมพาโรติค (parotid) มียูเรียเป็นองค์ประกอบสูงถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนทั้งหมด อย่างไรก็ตาม การขนส่งของยูเรียจากเลือดเข้าสู่รูเมนมากกว่า ผ่านทางน้ำลายและพบว่ายูเรียที่ผ่านผนังรูเมนเข้ามานั้นส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย เนื่องจากมีน้ำย่อยยูรีเอส (urease) จากแบคทีเรียในรูเมนเข้าไปใน epithelium และ แอมโมเนียที่เกิดขึ้นมีการแพร่เร็วกว่ายูเรีย (บุญล้อม, 2541) การนำกลับของยูเรียเข้าสู่รูเมนจะช่วยทำให้การใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในสัตว์ที่ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำ หรือในระยะอดอาหาร นอกจากนั้นปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ได้รับจะถูกนำกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนคิดเป็น 14% ของไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ได้รับ (เมธา, 2533) ในสภาวะที่สัตว์ได้รับไนโตรเจนตามปกติ 40% ของยูเรียที่ถูกกรองใน glomeruli ของไตจะขับออกทางปัสสาวะ แต่ในระยะที่สัตว์ขาดแคลนไนโตรเจน ไตจะลดการขับยูเรียทางปัสสาวะเหลือเพียง 1-2% เท่านั้น จึงทำให้มียูเรียกักเก็บไว้ในเลือดมากและสามารถนำกลับเข้าสู่รูเมนได้อีกเพื่อเพิ่มการผลิตจุลินทรีย์โปรตีน (Fontenot, 1979)

การนำกลับของไนโตรเจนขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนที่กิน แต่การเพิ่มไนโตรเจนในอาหารบางครั้งไม่จำเป็นต้องเพิ่มการนำกลับไนโตรเจนเข้าสู่กระเพาะรูเมนเสมอไป ทั้งนี้เพราะว่า urea pool ในร่างกายอยู่ภายใต้การควบคุมให้คงที่โดยทางระบบสรีรวิทยาของสัตว์ รวมทั้งไนโตรเจนที่กลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนมีจำนวนไม่เพียงพอต่อความต้องการทั้งหมดของจุลินทรีย์ ดังนั้นไนโตรเจนส่วนที่เหลือจึงจำเป็นต้องได้มาจากอาหาร ด้วยเหตุนี้ไนโตรเจนจากอาหารและไนโตรเจนจากการนำกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนจึงเกิดการแข่งขันกันขึ้น ฉะนั้นเมื่อสัตว์ได้รับอาหารที่มีระดับไนโตรเจนเพิ่มขึ้น จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำยูเรียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (re-utilization) ลดลง (Van Soest, 1994)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างและแอมโมเนียในไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน

ปริมาณโปรตีนจากจุลินทรีย์ที่เข้าไปยังลำไส้เล็กนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ (microbial protein synthesis) โดยมีปัจจัยที่สำคัญคือแหล่งอาหารพลังงานและไนโตรเจน โดยถ้ามีแหล่งของพลังงานและไนโตรเจนเพียงพอและเหมาะสมแล้วการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ก็จะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการวัดความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะการย่อยสลายแหล่งพลังงานคือคาร์โบไฮเดรต และการวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะการย่อยสลายโปรตีนที่ช้าโม่งต่างๆ หลังจากสัตว์กินอาหาร จะทำให้ทราบถึงอาหารนั้นมีความเหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์มากน้อยเพียงใด โดยถ้าการย่อยสลายทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนเกิดขึ้นอย่างสอดคล้องกัน ทำให้สันนิษฐานได้ว่าจะเกิดการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ (เทอดชัย, 2542)

การศึกษาการย่อยได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

คุณค่าทางโภชนาของอาหารสัตว์สามารถวัดได้โดยการวิเคราะห์ทางเคมี แต่ในระหว่างกระบวนการย่อยอาหาร ดูดซึมอาหาร และ metabolism จะมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารไป เพราะฉะนั้นการให้อาหารตามความต้องการของสัตว์จำเป็นต้องมีการศึกษาการย่อยได้ของอาหาร เพื่อที่จะได้ให้อาหารตรงความต้องการของสัตว์ โดยการศึกษาในขั้นแรกจะเป็นการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีหรือโภชนาต่างๆของอาหาร ขั้นที่สองจะเป็นการศึกษาการย่อยได้ของอาหารเพื่อทราบปริมาณโภชนาที่สัตว์ได้รับหรือที่สูญเสียไป การย่อยได้หาได้จากโภชนาที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่ถูกขับออกทางมูลซึ่งถือว่าถูกย่อยและดูดซึมเข้าร่างกายสัตว์ อย่างไรก็ตามส่วนประกอบ

ต่างๆในมูลที่ขับออกมา นั้นไม่ได้มาจากอาหารที่กินเข้าไปเพียงอย่างเดียวแต่จะมีบางส่วนที่มาจาก เอนไซม์ สารอื่นๆที่ถูกขับออกมาจากทางเดินอาหารและเป็นเซลล์ในทางเดินอาหารที่หลุดลอก ออกมาซึ่งจะทำให้การศึกษาย่อยได้นั้นคลาดเคลื่อนได้ การศึกษาย่อยได้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินความสามารถของสัตว์ในการนำโภชนะหรืออาหารชนิดนั้นๆ ไปใช้ประโยชน์ ทราบถึง จำนวนโภชนะที่ย่อยได้ในอาหารแต่ละชนิดว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด และอาจมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาถึงผลของการเตรียมอาหาร การเสริมสารต่างๆ อัตราส่วนของวัตถุดิบต่างๆ อิทธิพลของ ชนิด และอายุของสัตว์ และปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการย่อยได้ของอาหารอีกด้วย (เทอดชัย, 2542)



อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตของแพะขุนที่ได้รับเมล็ดฝ้ายทดแทนอาหารข้นร่วมกับอาหารหยาบ PMR

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง สัตว์ทดลองใช้แพะเพศผู้ลูกผสมพื้นเมือง-แอ่งโคลนเบียน 50 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ย 25.63 ± 4.35 กิโลกรัม จำนวน 20 ตัว แพะเหล่านี้มีอายุประมาณ 6-18 เดือน โดยแพะทุกตัวผ่านการถ่ายพยาธิ ฉีดวัคซีนและวิตามิน A, D และ E ในช่วงก่อนทดลอง
2. โรงเรือนทดลอง เป็นโรงเรือนโปร่ง พื้นคอนกรีต หลังคากระเบื้อง ขนาด 6x9x4 เมตร (กว้างxยาวxสูง) แพะทดลองแต่ละตัวจะได้รับการเลี้ยงดูในคอกขังเดี่ยวยกพื้น คอกละ 1 ตัว ขนาด 0.8x1.2x1.2 เมตร (กว้างxยาวxสูง) มีภาชนะใส่น้ำและอาหารอยู่ด้านหน้า ภาชนะใส่อาหารข้นและอาหารหยาบแยกจากกัน มีน้ำสะอาดและแร่ธาตุก้อนให้กินตลอดเวลา
3. อาหารที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย
 - 3.1 อาหารหยาบ ได้แก่ อาหารหยาบ PMR
 - 3.2 อาหารข้น ใช้อาหารสำเร็จรูปจากบริษัทเอกชนมีโปรตีนประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์
 - 3.3 เมล็ดฝ้ายทั้งเมล็ด (whole cottonseed)
4. เครื่องชั่ง มี 2 ชนิด ได้แก่
 - 4.1 เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 130 กิโลกรัม
 - 4.2 เครื่องชั่งอาหารหยาบและอาหารข้นขนาด 1 กิโลกรัม
5. อุปกรณ์การเจาะเก็บเลือด ของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid) และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่า BUN, BG, T₃, Hb และ Hct

- 5.1 กระจกนิตยาพลาสติกขนาด 20 มิลลิเมตร
 - 5.2 เข็มฉีดยาเบอร์ 18 ความยาว 1 นิ้ว
 - 5.3 หลอดเก็บเลือดที่เคลือบด้วยโซเดียมคลอไรด์ 6 มิลลิเมตร
 - 5.4 กรดซัลฟูริก
 - 5.5 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid; VFA) และ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen; $\text{NH}_3\text{-N}$) ด้วยวิธีการของ Bremner and Keeney (1965)
 - 5.6 กรดซัลฟูริก
 - 5.7 สายยาง
 - 5.8 เครื่องดูดของเหลวจากกระเพาะรูเมน (Suction)
 - 5.9 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
 - 5.10 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
 - 5.11 เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)
 - 5.12 เครื่องกลั่นเหลวชนิดกลั่น (Distillation Unit)
 - 5.13 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี หรือจีซี (gas chromatography; GC)
 - 5.14 ตู้แช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส
6. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง
 - 6.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความชื้น วัตถุแห้ง โปรตีน และ เถ้า ด้วยวิธีการ Proximate analysis (AOAC, 1980)
 - 6.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หา neutral detergent fiber (NDF) และ acid detergent fiber (ADF) ด้วยวิธี Detergent method (Goering and Van Soest, 1991)
 - 6.3 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาพลังงานรวม (Gross Energy) (AOAC, 1980)
 - 6.4 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ gossypol ด้วยวิธี Spectrophotometer method (A.O.C.S., 1958)

7. อุปกรณ์ในการศึกษาการย่อยได้ของอาหาร โดยวิธีประเมินสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ โภชนะโดยใช้เถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble Ash; AIA) เป็นตัวชี้บ่งภายใน (internal indicator)

7.1 ถังรองรับมูล

7.2 ถังพลาสติกใส

7.3 ยางรัดของ

7.4 เครื่องชั่งดิจิตอล ขนาด 5 กิโลกรัม

7.5 ตู้แช่-20 องศาเซลเซียส

7.6 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของมูลแพะ

7.6.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความชื้น วัตถุแห้ง โปรตีน และ เถ้า ด้วยวิธีการ Proximate analysis (AOAC, 1980)

7.6.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หา neutral detergent fiber (NDF) และ acid detergent fiber (ADF) ด้วยวิธี Detergent method (Goering and Van Soest, 1991)

7.6.3 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble Ash; AIA) (Van Kuelen and Young, 1977)

วิธีการ

1. การเลี้ยงสัตว์ทดลอง เตรียมแพะเข้าทดลองโดยใช้เวลาเลี้ยงประมาณ 14 วัน เพื่อให้แพะปรับตัวกับอาหาร (preliminary period) ก่อนทำการเก็บตัวเลขจริง โดยชั่งน้ำหนักแพะที่ใช้ในการทดลองทุกตัว

2. การให้อาหาร แพะทดลองทุกตัวได้รับอาหารข้นโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดฝ้าย และอาหารหยาบ PMR การให้อาหารข้นและอาหารหยาบจะให้พร้อมกัน วันละ 2 มื้อ คือ ช่วงเช้า (07.00 น.) และช่วงเย็น (15.00 น.) ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 60 วัน อาหารหยาบ PMR ให้กินอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) การเสริมอาหารข้น แพะแต่ละกลุ่มจะได้รับการทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายทั้งเมล็ดที่ระดับแตกต่างกันดังนี้ (Preston and Bartel, 1989)

- กลุ่มที่ 1 อาหารชั้น 2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว
- กลุ่มที่ 2 ทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้าย 15 เปอร์เซ็นต์
- กลุ่มที่ 3 ทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้าย 20 เปอร์เซ็นต์
- กลุ่มที่ 4 ทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้าย 25 เปอร์เซ็นต์

3. การชั่งน้ำหนักแพะทดลอง โดยชั่งน้ำหนักเริ่มต้นทดลองและหลังจากนั้นชั่งทุกๆ 15 วัน จนถึงสิ้นสุดการทดลอง การชั่งน้ำหนักทุกครั้งจะทำการชั่งน้ำหนักในเวลา 07.00-08.00 น. ก่อนการให้อาหารช่วงเช้าโดยทำการชั่งน้ำหนักแพะทดลองทุกตัว และคำนวณอัตราการเจริญเติบโต และใช้ประกอบการคำนวณปริมาณการกินได้ (% BW)

4. การเก็บตัวอย่างอาหาร ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารชั้น เมล็ดฝ้ายทั้งเมล็ด และอาหารหยาบ PMR เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความชื้น วัตถุแห้ง โปรตีน และ เถ้า ด้วยวิธีการ Proximate analysis (AOAC, 1980) วิเคราะห์หา NDF และ ADF ด้วยวิธี Detergent method (Goering and Van Soest, 1991) วิเคราะห์หาพลังงานรวม (Gross Energy) (AOAC, 1980)

5. การเก็บตัวอย่างเมล็ดฝ้ายเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษกอสซิพอล (Gossypol) ทำการเก็บตัวอย่างเมล็ดฝ้าย บดเมล็ดเพื่อแยกเนื้อในของเมล็ดฝ้ายออกมาและนำเนื้อในของเมล็ดฝ้ายไปวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษกอสซิพอล โดยใช้ปริมาณ 2 กรัม นำมาเติมสารละลาย Fe (NO₃) และ gossypol acetic เติมสารละลาย Hexane : IPA (Isopropyl alcohol) อัตราส่วน 40:60 และเติมกรดไฮโดรคลอริก (6N HCL) เขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นนำไปอุ่นด้วยเครื่อง ultrasonic เป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ตามวิธีของ Smith, (1958)

6. การเก็บตัวอย่างเลือด ทำการเก็บตัวอย่างเลือดที่เส้นเลือดดำบริเวณลำคอ (Jugular vein) จากแพะทดลองทุกตัว จำนวน 2 ครั้ง คือ ก่อนการให้อาหารที่ 0 ชั่วโมง และหลังให้อาหารไปแล้วที่ 4 ชั่วโมง ในวันสุดท้ายของการทดลอง โดยใช้เข็มเจาะเลือดเบอร์ 18 ยาว 1 นิ้ว ครอบอกชนิดยาพลาสติกขนาด 20 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างเลือดตัวละประมาณ 20 มิลลิลิตร ใส่หลอดเก็บเลือดที่เคลือบด้วยโซเดียมฟลูออไรด์ออกเป็น 3 หลอด หลอดที่ 1 สำหรับหาค่า BUN ประมาณ 5 มิลลิลิตร หลอดที่ 2 สำหรับหาค่า BG และ T₃ ประมาณ 5 มิลลิลิตร และ หลอดที่ 3 สำหรับหาค่า Hb และ Hct ประมาณ 5 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อส่งวิเคราะห์ค่า BUN ตามวิธีของ Henry *et al.* (1974) BG ตามวิธีของ Tiffany *et al.* (1972) และ T₃ ด้วยวิธีการ Electrochemiluminescence

immunoassay (ECLIA) โดยใช้เครื่อง Roche Elecsys1010/2010 และ MODULA ANALYTIC E170 (Elecsys module) และการวิเคราะห์ค่า Hb และ Hct ตามวิธีของ สุภิญญา และคณะ (2554)

7. การเก็บตัวอย่าง rumen fluid สุ่มเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมนในวันสุดท้ายของระยะการทดลองโดยใช้เครื่อง suction ต่อสายยางสอดเข้าไปผ่านปากและหลอดอาหารไปยังกระเพาะหมักเก็บของเหลวในกระเพาะหมัก จำนวน 2 ครั้ง คือ ก่อนการให้อาหารที่ 0 ชั่วโมง และ หลังให้อาหารไปแล้วที่ 4 ชั่วโมง เป็นเวลา 1 วัน โดยบีบเอาเฉพาะของเหลวผ่านผ้ากรอง 2 ชั้น ลง ปีกเกอร์เพื่อวัด pH ทันทีด้วยเครื่อง pH meter และอีกส่วนหนึ่งประมาณ 100 มิลลิลิตร นำมาเติม กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เพื่อเก็บรักษาและเป็นการหยุดชะงักกิจกรรมและการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ในอัตราส่วน rumen fluid 9 มิลลิลิตร ต่อ H_2SO_4 1 มิลลิลิตร) ก่อนนำไปเหวี่ยง (centrifuge) จนใส ด้วยความเร็ว 3,000 รอบ นาน 15 นาที เก็บเอาส่วนใส (supernatant) ไปแช่แข็งที่ อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อเตรียมวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen; NH_3 -N) ของของเหลวจากกระเพาะหมัก โดยวิธีการกลั่นด้วยเครื่องคิสทิลเลชันยูนิค (Distillation Unit) และ กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid; VFA) โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี หรือจีซี (gas chromatography; GC) ตามวิธีการของ Bremner and Keeney (1965)

8. การเก็บตัวอย่างมูล โดยเก็บมูลจากแพะทดลองในแต่ละทรีทเมนต์ๆละ 5 ตัว มีทั้งหมด 4 ทรีทเมนต์ เป็นจำนวน 20 ตัว ที่กองบนพื้นเอาเฉพาะส่วนปลายที่ไม่มีการปลอมปนของสิ่งอื่น ในช่วงเช้าก่อนให้อาหารเวลา 07.00 น.ของแต่ละวัน เป็นเวลา 7 วัน สุดท้ายของระยะการทดลอง นำมูลของแพะแต่ละตัวที่เก็บไว้ตลอด 7 วัน ซึ่งแช่อยู่ในตู้แช่ -20 องศาเซลเซียส ออกมาไว้ที่ อุณหภูมิห้องเพื่อให้ส่วนที่แข็งละลาย แล้วนำมาผสมกันแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 สุ่มเก็บ มูลสดประมาณ 100 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เพื่อหาค่า วัตถุแห้งของมูลสด ส่วนที่ 2 สุ่มเก็บมูลเพื่อให้ได้ตัวอย่างมูลประมาณ 300 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ใส่ถุงที่ทำหมายเลขไว้ หลังจากนั้นบดผ่านตะแกรง ขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์หาความชื้น วัตถุแห้ง โปรตีน และ เถ้า ตามวิธีการ Proximate analysis (AOAC, 1980) NDF และ ADF ตามวิธี Detergent method (Goering and Van Soest, 1991) และ AIA ตามวิธีของ Van Kuelen and Young (1977) การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ของโภชนะ คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งและโภชนะต่างๆ ตามวิธีการของ Schnieder and Platt (1975) ดังนี้

สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง = $100 - [(100 \times (\%AIA \text{ ในอาหาร})) / (\%AIA \text{ ในมูล})]$

สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ = $100 - [(100 \times (\%AIA \text{ ในอาหาร}) \times (\%โภชนะ \text{ ในมูล})) / ((\%AIA \text{ ในมูล}) \times (\%โภชนะ \text{ ในอาหาร}))]$

9. การเก็บข้อมูลการทดลอง

9.1 บันทึกน้ำหนักแพะทดลองทุกตัวเพื่อคำนวณหาน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย/ตัว/วันของแพะตลอดการทดลอง

9.2 บันทึกปริมาณการกินอาหารของแพะ โดยการชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารที่ให้และปริมาณอาหารที่เหลือทุกวันเพื่อคำนวณปริมาณวัตถุแห้งที่ได้รับ/ตัว/วัน และปริมาณวัตถุแห้งที่ได้รับโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว

9.3 บันทึกผลการวิเคราะห์หาระดับ BUN BG T₃ Hb และ Hct

9.4 บันทึกผลการวิเคราะห์หาระดับ NH₃-N และ VFA

9.5 บันทึกผลการวิเคราะห์หาระดับสารพิษกอสซิปอล (gossypol) ในเมล็ดฝ้าย

9.6 บันทึกผลการวิเคราะห์หาปริมาณ AIA

10. คำนวณต้นทุนการผลิต ทำการวิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงแพะดังนี้

10.1 ค่าใช้จ่ายต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ ได้แก่ ค่าอาหารหยาบ ค่าอาหารข้น ค่าเมล็ดฝ้าย

10.2 ต้นทุนการผลิตต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม

11. การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้น้ำหนักเริ่มต้นทดลองมีอิทธิพลต่อลักษณะที่ศึกษา จึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of covariance) ภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) หาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย least square means โดยใช้ Option PDIF ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1990) โดยมีหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ (มนต์ชัย, 2544) ดังนี้

$$y_{ij} = \mu + A_i + \beta (x_{ij} - \bar{x}) + e_{ij}$$

เมื่อ	y_{ij}	=	ค่าสังเกตของลักษณะที่ศึกษาจากปัจจัยของทรีตเมนต์ ที่ i และซ้ำที่ j เมื่อ $j = 1, 2, 3, 4$ และ 5
	μ	=	ค่าเฉลี่ยรวม (overall means)
	A_i	=	อิทธิพลของอาหารที่ระดับ i เมื่อ $i = 1, 2, 3$ และ 4
	β	=	สัมประสิทธิ์รีเกรชันของลักษณะที่ศึกษาต่อน้ำหนักมีชีวิตเริ่มต้น
	x_{ij}	=	น้ำหนักมีชีวิตเริ่มต้นของสัตว์ที่ได้รับอาหารกลุ่มที่ i
	$\bar{x}$	=	ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักมีชีวิตเริ่มต้น
	e_{ij}	=	อิทธิพลของความคลาดเคลื่อนอื่นๆที่ไม่ได้พิจารณาในโมเดลเมื่อ $e_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma_e^2)$

สถานที่ทำการวิจัย

1. ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เพชรบุรี อำเภชะอำ จังหวัดเพชรบุรี
2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ
3. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมา อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา
4. วิเคราะห์หาคูโคส (BG) ยูเรีย-ไนโตรเจน (BUN) สอร์โมนไตรโอไอโดไทโรนิน (T_3) ฮีโมโกลบิน (Hb) และ ฮีมาโตคริต (Hct) ในกระแสเลือดของแพะทดลอง ที่ห้องปฏิบัติการของบริษัทโปรเฟสชั่นแนล ลาโบลาทอรี เมเนจเม้นท์ คอร์ป จำกัด กรุงเทพฯ
5. วิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ (VFAs) ที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
6. วิเคราะห์หาปริมาณสารพิษกอสซิปอล (gossypol) ที่ห้องปฏิบัติการ ฝ่ายเครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

ระยะเวลาทำการวิจัย

การทำวิจัยครั้งนี้เริ่มต้นตั้งแต่เดือน	ตุลาคม พ.ศ. 2554
ระยะเวลาทดลองในตัวสัตว์	ตุลาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2554
สิ้นสุดการทำวิจัยเดือน	มิถุนายน พ.ศ. 2555

ผลและวิจารณ์

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารหยาบ PMR ที่ใช้เป็นอาหารหยาบเลี้ยงแพะจะเห็นว่าอาหารหยาบ PMR มีโปรตีนสูง (8.71 เปอร์เซ็นต์) (ตารางที่ 3) มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับหญ้ากินนีสีม่วงแบบตัดสดซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.67 เปอร์เซ็นต์ (วัตถุแห้ง) (อศวิน, 2555) ฉะนั้นอาหารหยาบ PMR ในการทดลองครั้งนี้สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบเลี้ยงแพะทดแทนหญ้าสดได้

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของคุณค่าทางโภชนาของอาหารที่ใช้ในการทดลอง

คุณค่าทางโภชนา (%วัตถุแห้ง)	PMR	อาหาร ชั้น	เมล็ด ฝ้าย	อาหารชั้นกลุ่มที่			
				1	2	3	4
วัตถุแห้ง (DM)	24.49	87.31	95.37	87.31	88.52	88.92	79.50
อินทรีย์วัตถุ (OM)	14.91	77.47	90.81	77.47	79.47	80.14	80.81
โปรตีน (CP)	8.71	16.29	24.06	16.29	17.46	17.84	18.23
NDF	63.05	33.62	49.80	33.62	36.05	36.86	37.67
ADF	36.61	17.78	37.65	17.78	20.76	19.35	20.17
เถ้า (Ash)	9.58	9.84	4.56	9.84	9.05	8.78	8.52
พลังงานรวม (cal/g)	4,014.70	4,068.53	4,864.77	4,068.53	4,187.97	4,227.78	4,267.59
สารพิษ gossypol (mg)	-	-	1,525	-	228.75	305.00	381.25

หมายเหตุ อาหารชั้นกลุ่มที่ 1 คือ อาหารชั้น 2 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัว (กลุ่มควบคุม)

อาหารชั้นกลุ่มที่ 2 คือ อาหารชั้นทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย 15 เปอร์เซ็นต์

อาหารชั้นกลุ่มที่ 3 คือ อาหารชั้นทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย 20 เปอร์เซ็นต์

อาหารชั้นกลุ่มที่ 4 คือ อาหารชั้นด้วยทดแทนเมล็ดฝ้าย 25 เปอร์เซ็นต์

1. คุณค่าทางโภชนาของอาหารที่ใช้ในการทดลอง

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารหยาบ PMR พบว่า มีวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ โปรตีน NDF ADF และเถ้า เท่ากับ 24.49 14.91 8.71 63.05 36.61 และ 9.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพลังงานรวม (Gross energy; GE) 4,014.70 แคลอรี/กรัม จะเห็นได้ว่าอาหารหยาบ PMR สามารถจัดอยู่ในเกณฑ์อาหารหยาบคุณภาพดี มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง (8.71 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากพืชอาหารสัตว์ที่ใช้สำหรับการดำรงชีพของสัตว์เคี้ยวเอื้องควรมีปริมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ ถ้าโปรตีนในอาหารหยาบมีระดับต่ำกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ อาจส่งผลให้ปริมาณการกินอาหารของสัตว์ลดลง (Walton, 1984) ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารข้น พบว่า มีวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ โปรตีน NDF ADF และเถ้า เท่ากับ 87.31 77.47 16.29 33.62 17.78 และ 9.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพลังงานรวม (Gross energy; GE) 4,068.53 แคลอรี/กรัม และผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเมล็ดฝ้าย พบว่า มีวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ โปรตีน NDF ADF และ เถ้า เท่ากับ 95.37 90.81 24.06 49.80 37.65 และ 4.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพลังงานรวม (Gross energy; GE) 4,864.77 แคลอรี/กรัม ซึ่งพลังงานรวมและปริมาณโปรตีนของเมล็ดฝ้ายที่สูงถึง 24.06 เปอร์เซ็นต์ มีมากเพียงพอในการเสริมปริมาณโปรตีนแก่แพะน้ำหนัก 20-30 กิโลกรัม ใช้ในการเจริญเติบโตวันละ 100 กรัม ต้องการเพิ่มจากปริมาณโปรตีนที่ใช้ในการดำรงชีพ 28 กรัม/ตัว/วัน (NRC, 1981) ฉะนั้นเมล็ดฝ้ายในงานทดลองมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับอาหารข้น จึงคาดว่า จะสามารถนำมาทดแทนการใช้อาหารข้นในการเลี้ยงแพะได้

2. ปริมาณการกินได้และอัตราการเจริญเติบโต

2.1 ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง

จากการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของอาหารหยาบ PMR ในแพะ กลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 ได้รับอาหารข้นทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 0 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 607.72 ± 10.49 626.97 ± 10.52 618.43 ± 10.49 และ 623.70 ± 10.51 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 446.34 ± 4.10 กรัม/ตัว/วัน รองลงมาคือกลุ่มที่ 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 301.93 ± 4.13 และ 293.13 ± 4.11 กรัม/ตัว/วัน กลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 252.01 ± 4.12 กรัม/ตัว/วัน เมื่อเปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของเมล็ดฝ้ายมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 151.89 ± 5.66 กรัม/ตัว/วัน กลุ่มที่ 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 104.02 ± 5.76 และ 122.33 ± 5.63 กรัม/ตัว/วัน ซึ่งเป็นผลมาจากกลุ่มที่ 4 มีการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับสูงสุด (25 เปอร์เซ็นต์) และเมล็ดฝ้ายมีปริมาณวัตถุแห้ง (95.37 เปอร์เซ็นต์) ที่สูงกว่าอาหารชั้น (87.31 เปอร์เซ็นต์) แต่ปริมาณวัตถุแห้งของเมล็ดฝ้ายที่แพะทดลองได้รับในการทดลองครั้งนี้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายแพะ เนื่องจากสัตว์เคี้ยวเอื้องกินอาหารตามความจุของกระเพาะหมัก (เมธา, 2533) ฉะนั้นเมื่อสัตว์ได้รับวัตถุแห้งจากอาหารชั้นและเมล็ดฝ้ายไม่เพียงพอ จึงต้องกินอาหารหยาบ PMR เพิ่มขึ้น ซึ่งแพะทดลองสามารถกินได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของอาหารหยาบ PMR จึงเพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้าย

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารพิษกอสซิพอล (gossypol) ของเนื้อในเมล็ดฝ้ายในการทดลองครั้งนี้ (ตารางที่ 3) พบว่า มีสารพิษกอสซิพอล 1,525 มิลลิกรัม (%วัตถุแห้ง) และปริมาณสารพิษกอสซิพอลที่แพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม ได้รับต่อวันจากการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้าย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 4) โดยกลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษกอสซิพอลสูงสุดเท่ากับ 77.21 ± 2.88 มิลลิกรัม/ตัว/วัน กลุ่มที่ 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษกอสซิพอลใกล้เคียงกันเท่ากับ 52.88 ± 2.93 และ 62.18 ± 2.86 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษกอสซิพอลที่แพะได้รับมีค่าอยู่ระหว่าง 52.88-77.21 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ยังอยู่ในช่วงปกติที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษมีค่าอยู่ระหว่าง 10-140 มิลลิกรัม/ตัว/วัน (อำพล, 2546)

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถในการทนทานต่อสารพิษกอสซิพอลได้มากกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว (McDonald *et al.*, 1995) ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีกลไกในการทำลายสารพิษกอสซิพอลโดยไปจับตัวกับโปรตีนที่สามารถละลายได้ในกระเพาะรูเมน กลายเป็นสารกอสซิพอลที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถดูดซึมได้ ทำให้ไม่เป็นพิษต่อตัวสัตว์ ซึ่งพันธะนี้จะคงอยู่ต่อไปจนกว่าโปรตีนจะถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารลำดับถัดไป (Raiser and Fu, 1962) และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งทั้งหมดที่ได้รับต่อวัน พบว่า มีค่าลดลงตามการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 0 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($1,055.84\pm13.12$ $1,037.07\pm13.16$ $1,030.91\pm13.12$ และ $1,024.64\pm13.15$ กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ปริมาณการกินได้ของแพะเนื้อ

ลักษณะที่ศึกษา	กลุ่ม				P-Value
	1	2	3	4	
วัตถุดิบที่ได้รับ (กรัม/ตัว/วัน)					
PMR	607.72±10.49	626.97±10.52	618.43±10.49	623.70±10.51	0.598
อาหารข้น	446.34±4.10 ^a	301.93±4.13 ^b	293.13±4.11 ^b	252.01±4.12 ^c	<0.0001
เมล็ดฝ้าย	-	104.02±5.76 ^b	122.33±5.63 ^b	151.89±5.66 ^a	0.0004
วัตถุดิบทั้งหมด (กรัม/ตัว/วัน)					
	1,055.84±13.12	1,037.07±13.16	1,030.91±13.12	1,024.64±13.15	0.502
วัตถุดิบที่ได้รับ (%) น้ำหนักตัว					
	3.66±0.07	3.57±0.07	3.47±0.07	3.41±0.07	0.094
โปรตีนที่ได้รับ (กรัม/ตัว/วัน)					
	125.92±1.59	129.64±1.06	130.05±1.59	131.37±1.59	0.123
NDF ที่ได้รับ (กรัม/ตัว/วัน)					
	547.88±6.77	559.31±6.83	560.48±6.78	563.44±6.81	0.418
ADF ที่ได้รับ (กรัม/ตัว/วัน)					
	309.16±3.95 ^b	328.40±4.00 ^a	330.80±3.96 ^a	336.00±4.00 ^a	0.001

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลักษณะที่ศึกษา	กลุ่ม				P-Value
	1	2	3	4	
ปริมาณ gossypol ที่ได้รับ (mg/ตัว/วัน)	-	52.88±2.93 ^b	62.18±2.86 ^b	77.21±2.88 ^a	0.0004
พลังงานรวมที่ได้รับ (แคลอรี/ตัว/วัน)	4,263±0.53	4,270±0.53	4,258±0.53	4,255±0.53	0.998

หมายเหตุ ^{ab}อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีค่าเฉลี่ยลิสต์สแควร์±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

กลุ่มที่ 1 คือ อาหารหยาบ PMR + อาหารข้น 2 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัว (กลุ่มควบคุม)

กลุ่มที่ 2 คือ อาหารหยาบ PMR + อาหารข้นทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย 15 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มที่ 3 คือ อาหารหยาบ PMR + อาหารข้นทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย 20 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มที่ 4 คือ อาหารหยาบ PMR + อาหารข้นด้วยทดแทนเมล็ดฝ้าย 25 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจากความสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบทั้งหมดต่อวัน เป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณ NDF และ ADF ที่ได้รับต่อวัน (ตารางที่ 4) ค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบทั้งหมดลดลงตามปริมาณ NDF และ ADF ที่เพิ่มขึ้น เพราะระดับของเมล็ดฝ้ายที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นการเพิ่มปริมาณ NDF และ ADF ในอาหารที่แพะทดลองได้รับ ซึ่งเป็นส่วนของผนังเซลล์ ส่วนนี้ย่อยได้ยากหรือย่อยได้น้อยต้องอาศัยน้ำย่อยจากจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายและใช้เวลาในการหมักนาน (วุฒิพงษ์, 2539) จึงทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบทั้งหมดลดลง

การลดลงของค่าเฉลี่ยนี้ อาจเป็นอีกกลไกหนึ่งในการลดสารพิษกอสซิปอลเข้าสู่ร่างกายโดยจำกัดปริมาณการกินอาหาร (Matondi *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบกับพลังงานรวมที่แพะได้รับต่อวัน บ่งบอกถึงความสามารถในการทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายได้ ถึงแม้ว่าปริมาณการกินได้วัตถุดิบทั้งหมดจะลดลงแต่พลังงานรวมที่แพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม ได้รับนั้นยังมีค่าใกล้เคียงกันและเพียงพอต่อความต้องการของแพะ

(NRC, 1981) จึงไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ ซึ่งค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบของแพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าใกล้เคียงกัน

2.2 ปริมาณการกินได้ของโปรตีนและพลังงาน

จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนที่ได้รับต่อวัน ในแพะกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ได้รับการทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 0 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 125.92 ± 1.59 129.64 ± 1.06 130.05 ± 1.59 และ 131.37 ± 1.59 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าเฉลี่ยพลังงานรวมที่แพะทดลองได้รับต่อวันมีค่าเท่ากับ $4,263 \pm 0.53$ $4,270 \pm 0.53$ $4,258 \pm 0.53$ และ $4,255 \pm 0.53$ แคลอรี/ตัว/วัน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) แพะที่มีน้ำหนัก 20-30 กิโลกรัม อยู่ในสภาพเลี้ยงแบบขังคอก มีการเจริญเติบโตวันละ 100 กรัม ต้องได้รับปริมาณโปรตีนรวมไม่ต่ำกว่า 66-79 กรัม/ตัว/วัน (NRC, 1981) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ พบว่า แพะทดลองทั้ง 4 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนรวมที่ได้รับอยู่ในช่วง 125.92-131.37 กรัม/ตัว/วัน เนื่องจากเมล็ดฝ้ายมีปริมาณโปรตีนและพลังงานรวมที่ค่อนข้างสูง (24.06 เปอร์เซ็นต์ และ 4,864.77 แคลอรี/กรัม) บ่งบอกถึงความสามารถในการทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายได้ โดยปริมาณโปรตีนรวมและพลังงานรวมที่แพะทดลองแต่ละกลุ่มได้รับมีค่าใกล้เคียงกันและเพียงพอต่อความต้องการของแพะ

2.3 อัตราการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

อัตราการเจริญเติบโตของแพะกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 110.08 ± 27.05 114.80 ± 27.28 103.78 ± 27.09 และ 121.53 ± 27.21 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แพะที่ใช้ในการทดลองมีน้ำหนักตัวเริ่มต้นและน้ำหนักตัวสิ้นสุด แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งน้ำหนักตัวเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.2 กิโลกรัม และน้ำหนักตัวสิ้นสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.95 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวเท่ากับ 6.3 ± 1.48 6.3 ± 1.28 6.6 ± 1.90 และ 7.8 ± 1.57 กิโลกรัม/ตัว ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 สมรรถภาพการผลิตของแพะเนื้อ

ลักษณะที่ศึกษา	กลุ่ม				P-Value
	1	2	3	4	
จำนวนแพะทดลอง					
(ตัว)	5	5	5	5	-
ระยะเวลาทดลอง					
(วัน)	60	60	60	60	-
น้ำหนักเริ่มต้น (กก./ตัว)	26.30±1.30	26.90±1.27	26.00±1.63	25.60±1.55	0.814
น้ำหนักสุดท้าย					
(กก./ตัว)	32.60±2.78	33.20±2.55	32.60±3.53	33.40±3.12	0.803
การเปลี่ยนแปลง					
น้ำหนักตัว (กก./ตัว)	6.30±1.48	6.30±1.28	6.60±1.90	7.80±1.57	0.540
อัตราการ					
เจริญเติบโต (กรัม/ตัว/วัน)	110.08±27.05	114.80±27.28	103.78±27.09	121.53±27.21	0.971

หมายเหตุ ^{ab}อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีค่าเฉลี่ยสี่สัปดาห์ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เมื่อพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตของแพะทั้ง 4 กลุ่ม อยู่ในช่วง 103.78-121.53 กรัม/ตัว/วัน ตรงตามจุดประสงค์ด้านอัตราการเจริญเติบโตของการทดลองนี้ที่ต้องการให้แพะทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตวันละ 100 กรัม และยังพบว่า แพะทดลองกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่กินอาหารหยาบ PMR และเสริมด้วยอาหารข้น 2 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัว มีอัตราการเจริญเติบโต (110.08 กรัมต่อตัวต่อวัน) สูงกว่าแพะที่กินหญ้ากินนีสีม่วงตัดสดและเสริมด้วยอาหารข้นในระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัว ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 108.75 กรัมต่อตัวต่อวัน (อัสวิน และคณะ, 2555) แต่แพะทดลองในกลุ่มที่มีการทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงถึง 121.53±27.21 กรัม/ตัว/วัน เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีการทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายระดับสูงสุด และเมล็ดฝ้ายมีปริมาณโปรตีนกับพลังงานรวมที่ค่อนข้างสูง (24.06 เปอร์เซ็นต์

และ 4,864.77 แคลอรี/กรัม) จึงทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตดังกล่าว อย่างไรก็ตามจากการพิจารณาอัตราการเจริญเติบโต บ่งบอกถึงความสามารถในการทดแทนอาหารขึ้นด้วยเมล็ดฝ้ายได้ โดยปริมาณโปรตีนรวมและพลังงานรวมที่แพะทดลองแต่ละกลุ่มได้รับมีค่าใกล้เคียงกันและเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ส่งผลให้แพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกันด้วย

3 การเปลี่ยนแปลงค่าโลหิตวิทยาและฮอร์โมนไทรโอไอโดไทโรนิน

3.1 ปริมาณกลูโคสในเลือด (blood glucose; BG)

ระดับความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดของแพะ (ตารางที่ 6) ก่อนกินอาหาร(0 ชั่วโมง) ในกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 เท่ากับ 65.49 ± 4.62 60.02 ± 4.65 66.30 ± 3.76 และ 64.94 ± 4.62 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และระดับของกลูโคสหลังกินอาหาร (4 ชั่วโมง) เท่ากับ 69.05 ± 3.76 62.96 ± 3.77 72.45 ± 5.22 และ 66.89 ± 3.76 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระดับของกลูโคสก่อนการให้อาหารที่ 0 ชั่วโมง มีแนวโน้มสูงขึ้นหลังการให้อาหารที่ 4 ชั่วโมง แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ การสร้างกลูโคสจะขึ้นอยู่กับสถานะของสัตว์และชนิดของอาหารที่กิน การกินอาหารขึ้นจะเกิดการสร้างกลูโคสมากกว่าการกินอาหารหยاب เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตในอาหารขึ้นถูกเปลี่ยนเป็นโพรฟิโอนเทโดยการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่งจะถูกลดซึมเข้าสู่กระแสเลือดแล้วเปลี่ยนเป็นกลูโคสที่ตับ (บุญล้อม, 2541) เมื่อพิจารณาระดับกลูโคสในเลือดของแพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีลักษณะเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยพลังงานรวมที่แพะทดลองได้รับต่อวัน มีค่าใกล้เคียงกันและแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ตาม ระดับกลูโคสในกระแสเลือดแพะหลังจากได้รับอาหาร (4 ชั่วโมง) ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วง 62.96-72.45 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ยังอยู่ในช่วงปกติที่มีค่าอยู่ในช่วง 50-75 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Kaneko, 1989) แสดงว่าแพะทดลองได้รับพลังงานเพียงพอต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต (NRC, 1981) ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยระดับกลูโคสในเลือดอยู่ในช่วงปกติ

3.2 ปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด (blood urea-nitrogen; BUN)

ระดับความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดของแพะ (ตารางที่ 6) ก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) กลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 เท่ากับ 9.38 ± 0.93 10.23 ± 0.93 13.85 ± 0.93 และ 15.35 ± 0.93

มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และระดับยูเรีย-ไนโตรเจน หลังกินอาหาร (4 ชั่วโมง) เท่ากับ 9.97 ± 0.90 12.22 ± 0.90 15.05 ± 0.90 และ 17.56 ± 0.90 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เปรียบเทียบระดับยูเรีย-ไนโตรเจน ก่อนการให้อาหารที่ 0 ชั่วโมง มีแนวโน้มสูงขึ้นหลังการให้อาหารที่ 4 ชั่วโมง แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งระดับยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือดของแพะทั้ง 4 กลุ่ม ยังอยู่ในช่วงปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 10-20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Kaneko, 1989)

เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของระดับความเข้มข้นยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดที่ 4 ชั่วโมง ตามระดับการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายนั้น พบว่า มีทิศทางเดียวกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนที่ 4 ชั่วโมง (14.27 ± 1.08 16.35 ± 1.22 16.94 ± 1.08 และ 18.73 ± 1.09 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เนื่องจากระดับยูเรีย-ไนโตรเจนขึ้นอยู่กับปริมาณการกินและการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารที่สัตว์ได้รับ (Higginbotham *et al.*, 1989) ผลการย่อยอาหารโปรตีนโดยจุลินทรีย์ในรูเมนทำให้ได้แอมโมเนีย-ไนโตรเจนและกรดอินทรีย์เกิดขึ้น สำหรับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนทางเส้นเลือดฝอย และถูกนำเข้าสู่ ruminal vein แล้วถูกส่งไปยังตับทาง portal vein จากนั้นตับจะเปลี่ยนแอมโมเนีย-ไนโตรเจนให้เป็นยูเรีย ยูเรียที่สังเคราะห์ในตับนี้จะส่งออกมายังเลือด ส่วนหนึ่งของยูเรียจะถูกนำกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนทางน้ำลายและอีกส่วนหนึ่งจะถูกขับถ่ายออกทางปัสสาวะ (เสาวนิต, 2537)

ดังนั้นประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์โปรตีนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ผลิตขึ้นในกระเพาะรูเมน ถ้าหากอาหารมีระดับไนโตรเจนสูง จะทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนสูง ส่งผลต่อความเข้มข้นของยูเรียในเลือดสูงตามไปด้วย (เมธา, 2533) ซึ่งในการทดลองนี้ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนและยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด เป็นไปในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ความเข้มข้นยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดยังเป็นตัวสะท้อนถึงความสมดุลระหว่างปริมาณโปรตีนและพลังงานในอาหารที่สัตว์ได้รับ ถ้าหากมีระดับสูงเกินไปจะเป็นตัวบ่งบอกถึงการใช้ประโยชน์จากอาหารที่ไม่มีประสิทธิภาพ (O'Doherty and Crosby, 1998) จึงกล่าวได้ว่าการใช้เมล็ดฝ้ายทดแทนอาหารชั้นระดับ 25% ในการทดลองนี้ไม่ทำให้สมดุลโปรตีนและพลังงานเปลี่ยนแปลงมากจนเกินไป แม้ว่าปริมาณโปรตีนที่ได้รับในกลุ่มทดแทน 20-25% จะเพิ่มขึ้นก็ตาม

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของค่าชีวเคมีในเลือดแพะ

ค่าชีวเคมีของ เลือด	ชั่วโมง	กลุ่ม				P-Value
		1	2	3	4	
BUN (mg%)	0	9.38±0.93	10.23±0.93	13.85±0.93	15.35±0.93	0.143
	4	9.97±0.90	12.22±0.90	15.05±0.90	17.56±0.90	0.203
BG (mg%)	0	65.49±4.62	60.02±4.65	66.30±3.76	64.94±4.62	0.404
	4	69.05±3.76	62.96±3.77	72.45±5.22	66.89±3.76	0.722
T ₃ (ng/dl)	0	168.74±15.81	148.15±18.75	165.55±16.11	167.06±16.00	0.677
	4	175.87±12.57	152.01±14.88	167.21±14.22	179.68±12.84	0.682
Hemoglobin (g/dl)		9.18±0.51	10.12±0.51	9.95±0.51	9.64±0.51	0.274
Hematocrit (%)		29.00±1.07	30.66±1.08	29.85±1.07	28.75±1.08	0.350

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยลิสต์สแควร์±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

3.3 ปริมาณฮอร์โมนไตรไอโอโดไทโรนีน (triiodotyronine; T₃)

ระดับความเข้มข้นของ T₃ มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างพลังงานและควบคุมอัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐาน โดยจะมีผลต่อระบบการทำงานของร่างกาย เช่น ระบบหัวใจ ย่อยอาหาร และการระบายความร้อน เป็นต้น จากการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของ T₃ ในเลือดแพะ ก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) (ตารางที่ 6) กลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 168.74±15.81 148.15±18.75 165.55±16.11 และ 167.06±16.00 นาโนกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และระดับของ T₃ หลังกินอาหาร (4 ชั่วโมง) เท่ากับ 175.87±12.57 152.01±14.88 167.21±14.22 และ 179.68±12.84 นาโนกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เปรียบเทียบระดับ T₃ ก่อนการให้อาหารที่ 0 ชั่วโมง มีแนวโน้มสูงขึ้น หลังการให้อาหารที่ 4 ชั่วโมง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งระดับความเข้มข้นของ T₃ ในกระแสเลือดของแพะทั้ง 4 กลุ่ม ยังอยู่ในช่วงปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 90-190 นาโนกรัมต่อเดซิลิตร (Dunlop, 1991) ระดับ T₃ ที่เหมาะสมมีผลทำให้เกิดการกระตุ้นการหมุนเวียนของโปรตีน (นทีทิพย์ , 2538) ทำให้การสลายโปรตีนเพิ่มขึ้นส่งผลให้สัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (ยรรยง, 2538) แพะในกลุ่มที่ 4 จึงมีค่าเฉลี่ยสูงสุด

3.4 ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hb) และ ปริมาตรเซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Hct)

จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณ Hb ในแพะกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) มีค่าเท่ากับ 9.18 ± 0.51 10.12 ± 0.51 9.95 ± 0.51 และ 9.64 ± 0.51 กรัมต่อเดซิลิตร (g/dl) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาณ Hct ในแพะกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) มีค่าเท่ากับ 29.00 ± 1.07 30.66 ± 1.08 29.85 ± 1.07 และ 28.75 ± 1.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปริมาณ Hb และ Hct ในเลือดสามารถบ่งบอกถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสารพิษ กอสมิโกลภายในตัวสัตว์ (Solaiman *et al.*, 2009) เนื่องจาก Hb ทำหน้าที่หลักในการขนส่ง ออกซิเจน (O_2) จากปอดไปเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อตามอวัยวะต่างๆของร่างกาย และ Hct เป็นดัชนีที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้อินิจฉัยหรือประเมินความสมบูรณ์ของร่างกายแพะ (ไชยณรงค์, 2541) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย Hb และ Hct กับปริมาณสารพิษกอสมิโกลที่แพะได้รับต่อวัน (ตารางที่ 4) เป็นไปในทิศทางตรงข้ามกัน โดยค่าเฉลี่ย Hb และ Hct ลดลงตามระดับ ปริมาณสารพิษกอสมิโกลที่ได้รับต่อวัน (52.88 ± 2.93 62.18 ± 2.86 และ 77.21 ± 2.88 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) เนื่องจากสารพิษกอสมิโกลที่แพะได้รับสามารถยับยั้ง (inhibit) เอนไซม์ glucose-6-phosphate dehydrogenase ทำให้ปริมาณของ NADPH (Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) ลดลง ส่งผลต่อการลดลงของสารกลูตาไธโอน (glutathione) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบต่อต้านอนุมูลอิสระของเซลล์ (Solaiman *et al.*, 2009)

ถ้ามีการยับยั้งเอนไซม์ดังกล่าวในระบบต่อต้านอนุมูลอิสระมากเกินไป อาจจะทำให้ระดับของค่าเฉลี่ย Hb และ Hct ในเลือดลดลง (Risco *et al.*, 2002) และถ้าหากค่าเฉลี่ย Hct ต่ำกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรคโลหิตจาง (anemia) ในทางตรงกันข้าม หากค่าเฉลี่ย Hct สูงกว่าค่าปกติ สัตว์จะมีอาการของโรค polycythemia เป็นความผิดปกติที่ไขกระดูกจะสร้างเม็ดเลือดแดงจำนวนมาก (Jain, 1993) อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้ แพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ย Hb อยู่ในช่วง 9.18 ± 0.51 - 10.12 ± 0.51 กรัมต่อเดซิลิตร (g/dl) อยู่ในช่วงปกติของแพะทั่วไปที่มีค่าอยู่ระหว่าง 8-12 (g/dl) (Duncan *et al.*, 1986) และค่าเฉลี่ย Hct อยู่ในช่วง 28.75 ± 1.08 - 30.66 ± 1.08 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในช่วงปกติของแพะทั่วไปที่มีค่า Hct อยู่ระหว่าง 22-38 เปอร์เซ็นต์ (Duncan *et al.*, 1986) นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ Hb เท่ากับ 1 ใน 3 ของค่า Hct แสดงว่า เม็ด

เลือดแดงยังมีขนาดปกติ (สุรนันท์, 2538) ดังนั้นสารพิษกอสซิปอลจึงไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อแพะที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

4 กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน

4.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมน

จากการทดลองพบว่า แพะที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน (ตารางที่ 7) ก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.93 ± 0.13 7.11 ± 0.13 6.92 ± 0.13 และ 7.23 ± 0.13 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับอาหาร (4 ชั่วโมง) แพะทุกกลุ่มมีค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.62 ± 0.12 6.63 ± 0.12 6.51 ± 0.12 และ 6.78 ± 0.12 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) พบว่า มีแนวโน้มต่ำลงหลังจากได้รับอาหาร (4 ชั่วโมง) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

การที่ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนลดต่ำลงหลังจากกินอาหารนั้น เกิดจากการหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่าย เนื่องจากในกระบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายนั้นจะเกิด lactic acid เป็นจำนวนมาก (เทอดชัย, 2542) และในระยะหลังจะเป็นการหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตที่เป็นเยื่อใย ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนที่ลดต่ำลงในระยะแรกจะกลับเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการย่อยสลายอาหารหยาบ เพราะการเคี้ยวเอื้องของสัตว์ทำให้เกิดการหลั่งน้ำลายเป็นจำนวนมาก ซึ่งน้ำลายมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ประกอบกับการดูดซึมกรดอย่างรวดเร็วโดยผ่านทางผนังกระเพาะรูเมนจึงทำให้รักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ไว้ได้ (McDonald *et al.*, 1995) อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนของแพะทดลองก่อนและหลังได้รับอาหารมีค่าอยู่ในช่วง 6.92-7.23 และ 6.51-6.78 ยังอยู่ในช่วงปกติของแพะทั่วไปที่มีค่าอยู่ระหว่าง 6-7 (เมธา, 2533)

4.2 ปริมาณแอมโมเนียในไตรเจนในกระเพาะรูเมน

จากการทดลองพบว่า แพะที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 มีความเข้มข้นแอมโมเนียในไตรเจน (ตารางที่ 7) ในกระเพาะรูเมนในช่วงก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.03 ± 0.98 13.64 ± 1.11 16.26 ± 0.98 และ 15.53 ± 1.00 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับอาหาร (4 ชั่วโมง) แพะทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแอมโมเนียในไตรเจนเท่ากับ 14.27 ± 1.08 16.35 ± 1.22 16.94 ± 1.08 และ 18.73 ± 1.09 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแอมโมเนียในไตรเจนก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) พบว่า มีแนวโน้มสูงขึ้นหลังจากได้รับอาหาร (4 ชั่วโมง) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โปรตีนในอาหารทดลองที่เกิดการแตกตัวเป็นแอมโมเนียอย่างรวดเร็ว ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในไตรเจนในกระเพาะรูเมนสูงขึ้น (Insung, 1999) และความเข้มข้นของแอมโมเนียในไตรเจนจะมีค่าสูงสุดหลังจากสัปดาห์กินอาหาร 1 หรือ 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดต่ำลง (Satter and Slyter, 1974) จากการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแอมโมเนียในไตรเจนที่ 4 ชั่วโมง ตามระดับการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายนั้น พบว่า มีทิศทางเดียวกับค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนที่ได้รับต่อวัน (125.92 ± 1.59 129.64 ± 1.06 130.05 ± 1.59 และ 131.37 ± 1.59 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) เนื่องจากระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน บ่งบอกถึงการย่อยสลายของโปรตีนจากอาหารในกระเพาะรูเมน ถ้าหากระดับแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนต่ำ อาจแสดงว่าในอาหารนั้นมีโปรตีนต่ำหรือโปรตีนย่อยได้ต่ำ หรือโปรตีนสามารถทนทานต่อการย่อย ส่งผลต่อปริมาณของแอมโมเนียไม่สมดุลกับพลังงานที่เพียงพอจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต จึงทำให้อัตราการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ (microbial protein) ต่ำลง (เมธา, 2533)

ในทางตรงกันข้ามถ้าหากในอาหารมีโปรตีนมากเกินไปหรือมีการย่อยได้ของโปรตีนมากเกินไปกว่าการสังเคราะห์โปรตีน จะเกิดการสะสมแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนและมากเกินไปกว่าระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีน แอมโมเนียจะถูกดูดซึมผ่านกระแสเลือดไปยังตับและเปลี่ยนเป็นยูเรีย (เทอดชัย, 2542; McDonald *et al.*, 1995) ซึ่งในการทดลองนี้ ความสัมพันธ์ของปริมาณการกินได้ของโปรตีนและแอมโมเนียในไตรเจนในกระเพาะรูเมน เป็นไปในทิศทางเดียวกันและยังพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแอมโมเนียในไตรเจนอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 2-22 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (mg%) (Church, 1983) อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์จะสามารถนำแอมโมเนียไปใช้ประโยชน์ได้ดีก็ต่อเมื่อจุลินทรีย์ได้รับพลังงานในปริมาณที่เพียงพอ (พนัส, 2537)

4.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะรูเมน (volatile fatty acid; VFA)

ผลของการทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 0 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ต่อความเข้มข้นของกรดอะซิติก (acetic acid; C_2) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid; C_3) กรดบิวทีริก (butyric acid; C_4) อัตราส่วนระหว่างกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิก ($C_2:C_3$) และ กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid; TVFA) ในช่วงก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังให้อาหาร (4 ชั่วโมง) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของค่าชีวเคมีในกระเพาะหมักของแพะ

ค่าชีวเคมีใน กระเพาะหมัก	ชั่วโมง	กลุ่ม				P-Value
		1	2	3	4	
ค่า pH	0	6.93±0.13	7.11±0.13	6.92±0.13	7.23±0.13	0.289
	4	6.62±0.12	6.63±0.12	6.51±0.12	6.78±0.12	0.414
NH ₃ -N, mg%	0	10.03±0.98	13.64±1.11	16.26±0.98	15.53±1.00	0.250
	4	14.27±1.08	16.35±1.22	16.94±1.08	18.73±1.09	0.076
Acetic acid (C_2), %	0	73.80±0.88	75.45±0.89	75.49±0.89	75.32±0.89	0.490
	4	72.60±0.98 ^b	76.64±1.00 ^a	72.82±0.98 ^b	71.56±1.00 ^b	0.013
Propionic acid (C_3), %	0	18.24±0.89	16.55±0.90	15.80±0.89	15.87±0.90	0.233
	4	19.03±0.97	15.08±0.98	16.91±0.97	17.89±0.98	0.066
Butyric acid (C_4), %	0	7.96±0.61	8.00±0.61	8.70±0.61	8.81±0.61	0.672
	4	8.36±0.64	8.27±0.65	10.27±0.65	10.56±0.65	0.046
$C_2:C_3$	0	4.12±0.32	4.61±0.32	4.91±0.32	4.82±0.32	0.343
	4	3.92±0.28 ^b	5.11±0.28 ^a	4.41±0.28 ^{ab}	4.02±0.28 ^b	0.038
Total VFAs, mM	0	26.47±4.00	30.00±4.03	21.12±4.00	20.20±4.02	0.321
	4	53.45±7.97	64.14±8.03	58.11±7.98	59.45±8.01	0.821

หมายเหตุ ^{ab}อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีค่าเฉลี่ยลีสต์สแควร์±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.3.1 กรดอะซิติก (acetic acid; C₂)

จากการทดลองพบว่า แพะที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 มีความเข้มข้นของกรดอะซิติกในช่วงก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.80 ± 0.88 75.45 ± 0.89 75.49 ± 0.89 และ 75.32 ± 0.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7) หลังจากได้รับอาหาร (4 ชั่วโมง) แพะทุกกลุ่มมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดอะซิติกต่ำลง แตกต่างกันอย่างมีความสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งกลุ่มที่ 2 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 76.64 ± 1.00 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 1 3 และ 4 มีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 72.60 ± 0.98 72.82 ± 0.98 และ 71.56 ± 1.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากแพะในกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยปริมาณวัตถุแห้งที่ได้รับต่อวันของอาหารหยาบ PMR (626.97 ± 10.52 กรัม/ตัว/วัน) สูงกว่ากลุ่มที่ 1 3 และ 4 ถ้าแพะได้รับอาหารหยาบปริมาณมากจะมีการผลิตกรดอะซิติกมาก (ฉลอง, 2541) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นและสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ยังขึ้นอยู่กับชนิดอาหารและระยะเวลาการสุมหลังจากกินอาหาร จึงทำให้ความเข้มข้นและสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้แต่ละตัวแปรผันด้วย ซึ่งค่าเฉลี่ยของกรดอะซิติกในการทดลองครั้งนี้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยปกติที่อยู่ในช่วงประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ (บุญล้อม, 2541) กรดอะซิติกนี้เมื่อดูดซึมผ่านผนังรูเมนส่วนมากถูกส่งไปยังตับ มีส่วนน้อยที่เปลี่ยนไปเป็นคีโตนในสัตว์กระเพาะรวม (เมธา, 2533)

4.3.2 กรดโพรพิโอนิก (propionic acid; C₃)

จากการทดลองพบว่า แพะที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 มีความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกในช่วงก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.24 ± 0.89 16.55 ± 0.90 15.80 ± 0.89 และ 15.87 ± 0.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7) หลังจากได้รับอาหาร (4 ชั่วโมง) แพะทุกกลุ่มมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกสูงขึ้นเท่ากับ 19.03 ± 0.97 15.08 ± 0.98 16.91 ± 0.97 และ 17.89 ± 0.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกของแพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย (0 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์) อาจมีสาเหตุมาจากการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้าย เป็นการเพิ่มปริมาณเปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่าย (แป้ง และ น้ำตาล) จากธัญพืชในอาหารทดลอง ถึงแม้ว่าจะถูกลดสัดส่วนของอาหารชั้นก็ตาม ซึ่งปริมาณแป้งที่ย่อยสลายได้ง่ายเพิ่มขึ้นในอาหารชั้นมีผลทำให้ระดับความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกในกระเพาะรูเมนสูงขึ้น ขณะที่ระดับความเข้มข้น

ของกรดอะซิติกลดลง (Sarwar *et al.*, 1992; Sutton *et al.*, 1993) ซึ่งค่าเฉลี่ยของกรดโพรพิโอนิกในการทดลองครั้งนี้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยปกติอยู่ในช่วงระหว่าง 18-20 เปอร์เซ็นต์ (บุญล้อม, 2541) กรดโพรพิโอนิกที่ดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนส่วนใหญ่ไปที่ตับเพื่อสังเคราะห์กลูโคส และส่วนน้อยประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก (Fahey and Berger, 1988)

4.3.3 กรดบิวทีริก (butyric acid; C_4)

จากการทดลองพบว่า แพะที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 มีความเข้มข้นของกรดบิวทีริกในช่วงก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.96 ± 0.61 8.00 ± 0.61 8.70 ± 0.61 และ 8.81 ± 0.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7) หลังจากได้รับอาหาร (4 ชั่วโมง) แพะทุกกลุ่มมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดบิวทีริกสูงขึ้นเท่ากับ 8.36 ± 0.64 8.27 ± 0.65 10.27 ± 0.65 และ 10.56 ± 0.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นและสัดส่วนของกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้นไม่คงที่เสมอไป ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและระยะเวลาหลังกินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (เมธา, 2533) ซึ่งค่าเฉลี่ยของกรดบิวทีริกในการทดลองครั้งนี้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (บุญล้อม, 2541) กรดบิวทีริกเมื่อดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนแล้วส่วนมากจะเปลี่ยนเป็นกรดเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีริก มีผลทำให้ระดับกรดบิวทีริกในเลือดต่ำ (Fahey and Berger, 1988) กรดบิวทีริกจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยผ่านกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) และสังเคราะห์เป็นไขมันที่บริเวณตับ (เทอดชัย, 2542)

4.3.4 อัตราส่วนระหว่างกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิก ($C_2:C_3$)

จากการทดลองพบว่า แพะที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 มีอัตราส่วนระหว่าง $C_2:C_3$ ในช่วงก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.12 ± 0.32 4.61 ± 0.32 4.91 ± 0.32 และ 4.82 ± 0.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7) หลังจากได้รับอาหาร (4 ชั่วโมง) แพะทุกกลุ่มมีอัตราส่วนระหว่าง C_2 ต่อ C_3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเรียงลำดับกลุ่มที่ 2 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.11 ± 0.28 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือกลุ่มที่ 3 มีค่าเท่ากับ 4.41 ± 0.28 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกลุ่มที่ 4 มีค่าเท่ากับ 3.92 ± 0.28 และ 4.02 ± 0.28 เปอร์เซ็นต์

สัดส่วนของกรดโพฟิโอนิกต่ออะซิดิกจะสูงต่อเมื่อสัตว์ได้รับอาหารพวก ธัญพืชในปริมาณมาก ในการทดลองครั้งนี้อัตราส่วนของ $C_2:C_3$ ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยปกติอยู่ในช่วง ระหว่าง 1-4 เปอร์เซนต์ (เมธา, 2533) ซึ่งสัดส่วน $C_2:C_3$ ที่ต่ำกว่าจะช่วยเพิ่มการกักเก็บพลังงาน เพราะการผลิต C_3 ให้ประสิทธิภาพของพลังงานสูงกว่า และในทางทฤษฎีสามารถลดการผลิตแก๊ส เมทเทน จากการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยไฮโดรเจน (H) ที่เกิดจากกระบวนการ สังเคราะห์กรดอะซิดิกและบิวทีริก (Preston and Leng, 1987) แต่สำหรับการสังเคราะห์กรดโพฟิ โอนิกจะไม่มีแก๊สเมทเทนเกิดขึ้น ดังนั้นถ้ามีการสังเคราะห์กรดโพฟิโอนิกมากก็จะมีแก๊สเมทเทน เกิดขึ้นน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการสังเคราะห์กรดอะซิดิกและบิวทีริกมากกว่าก็จะมีแก๊สเมท เทนเกิดขึ้นมาก ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานทางหนึ่งนอกเหนือจากความร้อนที่เกิดขึ้นจาก กระบวนการหมัก (เมธา, 2533)

4.3.5 กรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid; TVFA)

จากการทดลองพบว่า แพะที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 มีความ เข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดในช่วงก่อนให้อาหาร (0 ชั่วโมง) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.47 ± 4.00 30.00 ± 4.03 21.12 ± 4.00 และ 20.20 ± 4.02 mM ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มี นัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7) หลังจากได้รับอาหาร (4 ชั่วโมง) แพะทุกกลุ่มมีความเข้มข้นของกรด ไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดเท่ากับ 53.45 ± 7.97 64.14 ± 8.03 58.11 ± 7.98 และ 59.45 ± 8.01 mM ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ขึ้นอยู่กับ หลายปัจจัย เช่น สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน การดูดซึมของกรดไขมันที่ระเหยได้ผ่าน ผนังกระเพาะรูเมน อัตราการไหลผ่านของของเหลวไปยังกระเพาะอะโบมาซัม (Lopez *et al.*, 2003) และยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นสัดส่วนของกรดอินทรีย์ (organic acid) ทั้งหมดในกระเพาะรูเมนซึ่ง ขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์โบไฮเดรต ปริมาณที่สัตว์กิน และ สัดส่วนอาหารข้นและอาหารหยาบ (Heldt *et al.*, 1999) ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีปริมาณการ กินได้ของอินทรีย์วัตถุ ปริมาณการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และอาหารที่มี คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างสูง (Van Soest, 1994) นอกจากนี้ อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อย สลายได้ง่าย (soluble carbohydrate) สูง และมีสัมประสิทธิ์การย่อยได้สูงจะเพิ่มสัดส่วนของกรดโพ ฟิโอนิกในกระเพาะรูเมนสูงขึ้น (Nocek and Russell, 1988) ซึ่งความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย ได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในอาหารที่มีพลังงานสูง เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายสูง

5 สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (digestion coefficient of nutrients)

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ โดยใช้เถาที่ไม่ละลายในกรด (AIA) เป็นตัวบ่งชี้ภายในอาหารสูตรต่างๆ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

5.1 การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (dry matter; DM)

จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้งในแพะกลุ่มที่มีการทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 0 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 8) โดยแพะทดลองในกลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงสุดเท่ากับ 60.84 ± 1.60 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 0 20 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันเท่ากับ 54.88 ± 1.61 53.98 ± 1.60 และ 52.47 ± 1.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพการย่อยได้ (%) ของโภชนะต่างๆ โดยใช้เถาที่ไม่ละลายในกรด (AIA)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย				P-Value
	1	2	3	4	
วัตถุแห้ง (DM), %	54.88 ± 1.61^b	60.84 ± 1.60^a	53.98 ± 1.60^b	52.47 ± 1.41^b	0.024
อินทรีย์วัตถุ (OM), %	53.93 ± 2.26^{ab}	58.44 ± 2.24^a	58.36 ± 2.24^a	49.62 ± 1.98^b	0.049
โปรตีน (CP), %	36.27 ± 1.48^{bc}	43.82 ± 1.47^a	39.03 ± 1.47^b	32.22 ± 1.29^c	0.002
NDF, %	38.36 ± 2.29^b	46.27 ± 2.27^a	34.42 ± 2.27^b	34.42 ± 2.00^b	0.017
ADF, %	37.38 ± 4.60^{ab}	50.54 ± 4.57^a	32.95 ± 4.57^b	32.72 ± 4.04^b	0.046

หมายเหตุ ^{ab}อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีค่าเฉลี่ยลิสต์สแควร์±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้งของแพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีแนวโน้มลดลงตามระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย เนื่องจากมีความแตกต่างกันในปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างหรือผนังเซลล์ที่ได้รับต่อวัน (NDF และ ADF) กลุ่มที่ได้รับอาหารข้นเพียงอย่างเดียว (0

เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีส่วนประกอบของ NDF และ ADF เท่ากับ 547.88 ± 6.77 และ 309.16 ± 3.95 กรัม/ตัว/วัน ต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ ทำให้มีส่วนของเนื้อเซลล์อยู่มากและเป็นส่วนที่สตัวย่อยได้เกือบทั้งหมด ขณะที่การทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณของ NDF ที่ได้รับต่อวันเท่ากับ 559.31 ± 6.83 560.48 ± 6.78 และ 563.44 ± 6.81 กรัม/ตัว/วัน ส่วนค่า ADF ที่ได้รับต่อวันเท่ากับ 328.40 ± 4.00 330.80 ± 3.96 และ 336.00 ± 4.00 กรัม/ตัว/วัน ปริมาณของ NDF และ ADF เพิ่มขึ้นตามระดับของการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย ซึ่งเป็นส่วนที่ย่อยได้ยากหรือย่อยได้น้อย ต้องอาศัยน้ำย่อยจากจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายและใช้เวลาในการหมักนาน (วุฒิพงษ์, 2539)

5.2 การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (organic matter; OM)

จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในแพะกลุ่มที่มีการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 0 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 8) โดยแพะทดลองกลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุสูงสุดเท่ากับ 58.44 ± 2.24 และ 58.36 ± 2.24 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ กลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.93 ± 2.26 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 49.62 ± 1.98 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DM) และอินทรีย์วัตถุ (OM) ของแพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม พบว่า ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มลดลงตามระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (วุฒิพงษ์, 2539) อาจมีสาเหตุมาจากการใช้เมล็ดฝ้ายทดแทนอาหารชั้นที่ระดับสูงขึ้นนั้น ส่งผลให้มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของผนังเซลล์ในอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นส่วนที่ย่อยได้ยากหรือย่อยได้น้อยต้องอาศัยน้ำย่อยจากจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายและใช้เวลาในการหมักนาน จึงอาจมีผลต่อการหมักย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Church, 1983)

5.3 การย่อยได้ของโปรตีน (crude protein; CP)

จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของโปรตีนในแพะกลุ่มที่มีการทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 0 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 7) โดยแพะทดลองที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 43.82 ± 1.47 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 20 และ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันเท่ากับ 39.03 ± 1.47 และ 36.27 ± 1.48 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 32.22 ± 1.29 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของโปรตีนของแพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม พบว่า ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของโปรตีนมีแนวโน้มลดลงตามระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายที่สูงขึ้น เนื่องจากแพะทดลองมีค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นแอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมัก และ ยูเรียในโตรเจนในเลือด หลังกินอาหาร (ที่ 4 ชั่วโมง) เพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายที่สูงขึ้น ซึ่งแอมโมเนียในโตรเจนมีค่าเท่ากับ 14.27 ± 1.08 16.35 ± 1.22 16.94 ± 1.08 และ 18.73 ± 1.09 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และยูเรียในโตรเจนมีค่าเท่ากับ 9.97 ± 0.90 12.22 ± 0.90 15.05 ± 0.90 และ 17.56 ± 0.90 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เพราะประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์โปรตีนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ผลิตขึ้นในกระเพาะรูเมน ถ้าหากอาหารมีระดับโปรตีนมากเกินไป จะทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนสูง ส่งผลต่อความเข้มข้นของยูเรียในเลือดสูงตามไปด้วย (เมธา, 2533) และการที่อาหารมีโปรตีนมากเกินไปนั้น จะเกิดการสะสมแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนมากเกินไปกว่าระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โปรตีน แอมโมเนียจะถูกดูดซึมผ่านกระแสเลือดและถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียที่ตับ หลังจากนั้นตับจะส่งยูเรียออกมาทางกระแสเลือดอีกครั้ง ยูเรียในเลือดจะถูกนำกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนผ่านทางน้ำลายหรือดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน และยูเรียอีกส่วนหนึ่งจะถูกขับทิ้งทางไตในรูปของปัสสาวะ(เทอดชัย, 2542; McDonald *et al.*, 1995)

5.4 การย่อยได้ของ NDF และ ADF

จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของ NDF และ ADF ในแพะกลุ่มที่มีการทดแทนอาหารข้นด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 0 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 8) ซึ่งค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของ NDF ในกลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 46.27 ± 2.27 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 0 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันเท่ากับ 38.36 ± 2.29 34.42 ± 2.27 และ 34.42 ± 2.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของ ADF ของแพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 50.54 ± 4.57 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ กลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.38 ± 4.60 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายระดับ 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันเท่ากับ 32.95 ± 4.57 และ 32.72 ± 4.04 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้งของแพะทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีแนวโน้มลดลงตามระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผนังเซลล์มีสหสัมพันธ์ในเชิงลบกับการย่อยได้ของอาหาร (Hart and Wanapat, 1992) การใช้เมล็ดฝ้ายทดแทนอาหารชั้นที่ระดับสูงขึ้นนั้นส่งผลให้มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของผนังเซลล์ในอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นส่วนที่ย่อยได้ยากหรือย่อยได้น้อยต้องอาศัยน้ำย่อยจากจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายและใช้เวลาในการหมักนาน จึงทำให้การย่อยได้ของผนังเซลล์ลดลง (วุฒิพงษ์, 2539)

6. ต้นทุน

ผลการวิเคราะห์ถึงต้นทุนโดยคิดจากค่าใช้จ่ายของปัจจัยต่างๆที่ดำเนินการตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 2 เดือน องค์ประกอบต้นทุนจำแนกเป็น ค่าอาหารหยาบ ค่าอาหารชั้น ค่าเมล็ดฝ้าย ค่าอาหารทั้งหมด และ ค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 9) โดยต้นทุนค่าอาหารทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยแพะกลุ่มที่ 1 ได้รับการเสริมด้วยอาหารชั้นเพียงอย่างเดียวมีค่าสูงสุดเท่ากับ 438.44 บาทต่อตัว กลุ่มที่ 2 3 และ 4 ซึ่งมีการทดแทนอาหารชั้นด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีต้นทุนค่าอาหารทั้งหมดใกล้เคียงกันเท่ากับ 421.69 415.94 และ 411.53 บาทต่อตัว ตามลำดับ เนื่องจากแพะกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้ทั้งหมดสูงสุด ในขณะที่กลุ่ม 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาต้นทุนค่าอาหารหยาบ อาหารชั้น และ เมล็ดฝ้าย พบว่า ต้นทุนค่าอาหารหยาบของแพะทั้ง 4 กลุ่ม แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 9 ต้นทุนค่าอาหารในการทดลอง (บาท/ตัว)

รายการ	กลุ่ม				P-Value
	1	2	3	4	
ค่าอาหารหยาบ	217.78	226.32	223.02	225.60	0.572
ค่าอาหารข้น	220.66 ^a	148.17 ^b	136.62 ^b	111.43 ^c	<0.0001
ค่าเมล็ดฝ้าย	-	47.20 ^b	56.30 ^b	74.50 ^a	0.0004
ต้นทุนอาหารทั้งหมด	438.44 ^a	421.69 ^b	415.94 ^b	411.53 ^b	0.0005
ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่ม น้ำหนักตัว 1 กก. (บาท/กก.)	69.59	66.93	63.02	52.76	0.378

หมายเหตุ ^{ab}อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีค่าเฉลี่ยสิทธิ์สแควร์ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)
 ราคาอาหารหยาบ PMR 2.00 บาท/กิโลกรัม (น้ำหนักสด)
 ราคาอาหารข้น 11.17 บาท/กิโลกรัม (น้ำหนักสด)
 ราคาเมล็ดฝ้ายทั้งเมล็ด 10.05 บาท/กิโลกรัม (น้ำหนักสด) (ราคานำเข้าจากต่างประเทศ)

ต้นทุนค่าอาหารข้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่า แพะกลุ่มที่ 1 ได้รับการเสริมด้วยอาหารข้นเพียงอย่างเดียวมีต้นทุนค่าอาหารข้นสูงสุดเท่ากับ 220.66 บาทต่อตัว กลุ่มที่ 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 148.17 และ 136.62 บาทต่อตัว กลุ่มที่ 4 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 111.43 บาทต่อตัว เนื่องจากค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้ของอาหารข้นของแพะทั้ง 4 กลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งแพะกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้ของอาหารข้นสูงสุด กลุ่มที่ 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน กลุ่มที่ 4 มีค่าต่ำสุด ต้นทุนในส่วนนี้จะลดลงตามระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้าย โดยแพะในกลุ่มที่ 1 ได้รับการเสริมด้วยอาหารข้นเพียงอย่างเดียวมีต้นทุนค่าอาหารข้นสูงสุด แล้วลดลงในกลุ่มที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ

ต้นทุนค่าเมล็ดฝ้าย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่า แพะกลุ่มที่ 4 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 74.50 บาทต่อตัว กลุ่มที่ 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 47.20 และ 56.30 บาทต่อตัว เนื่องจากค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้ของเมล็ดฝ้าย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยแพะในกลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ยปริมาณการกินได้ของเมล็ดฝ้ายสูงสุด กลุ่มที่ 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียง

กัน ต้นทุนในส่วนนี้จะลดลงจากระดับการทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายสูงสุดจนถึงต่ำสุด โดยเฉพาะในกลุ่มที่ 4 ได้รับการทดแทนอาหารขึ้นด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนเมล็ดฝ้ายสูงสุดและลดลงในกลุ่มที่ 2 และ 3 ได้รับการทดแทนอาหารขึ้นด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 69.59 66.93 63.02 และ 52.76 บาทต่อตัว ตามลำดับ จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า แพะในกลุ่มที่ 4 ทดแทนด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าเมล็ดฝ้ายสูงสุด แต่มีต้นทุนค่าอาหารขึ้นและต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมต่ำสุด ข้อมูลราคาซื้อขายเมล็ดฝ้ายจากแหล่งปลูกฝ้ายภายในประเทศไทยมีไม่เพียงพอ ดังนั้นราคาเมล็ดฝ้าย 10.05 บาท/กิโลกรัม ที่ใช้คำนวณเป็นราคานำเข้าจากต่างประเทศ อย่างไรก็ตามถ้าหากสั่งซื้อหรืออยู่ใกล้เคียงแหล่งที่มีการปลูกฝ้ายภายในประเทศไทยอาจจะมีต้นทุนค่าเมล็ดฝ้ายที่ต่ำกว่าในการศึกษาครั้งนี้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่า อาหารหยาบ PMR ใช้เลี้ยงแพะทดแทนหญ้าสดได้ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารเหมาะสมและมีปริมาณโปรตีนสูงเทียบเท่ากับหญ้าสดคุณภาพดี แพะเพศผู้ที่ได้รับเมล็ดฝ้ายมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นมากกว่าแพะที่ได้รับอาหารขึ้นเพียงอย่างเดียวและไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการกินได้ของอาหารหยาบ เนื่องจากแพะได้รับพลังงานและโปรตีนที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตและเจริญเติบโต เมื่อนำเลือดของแพะมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ยูเรียไนโตรเจน กลูโคส ฮอร์โมนไทรไโอโดไทโรนีน ฮีโมโกลบิน และปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น ในกระแสเลือดของแพะทุกกลุ่มอยู่ในเกณฑ์ระดับปกติ รวมถึงกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนียไนโตรเจน และกรดไขมันระเหยได้ ในกระเพาะรูเมนของแพะทุกกลุ่มอยู่ในเกณฑ์ระดับปกติ สรุปได้ว่า สามารถทดแทนอาหารขึ้นด้วยเมล็ดฝ้ายได้สูงถึงระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิต ค่าชีวเคมีในเลือด และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนซึ่งบ่งบอกว่ามีการใช้ประโยชน์จากอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่เกิดความเป็นพิษต่อตัวสัตว์ และแพะในกลุ่มที่ได้รับการทดแทนอาหารขึ้นด้วยเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารขึ้นและต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริมอาหารขึ้นเพียงเดียว

ข้อเสนอแนะ

เมล็ดฝ้ายและอาหารหยาบ PMR มีคุณค่าทางโภชนาสูงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดแทนอาหารขึ้นด้วยเมล็ดฝ้ายและการใช้อาหารหยาบ PMR เป็นแหล่งอาหารหยาบ เป็นแนวทางในการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ในท้องถิ่นและใช้ผลพลอยได้จากการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ อัตราการเจริญเติบโตของแพะมีระดับสูงขึ้น จึงควรมีการเผยแพร่ให้เกษตรกรผู้เลี้ยงแพะได้ใช้ประโยชน์จากเมล็ดฝ้ายอย่างแพร่หลายต่อไป แต่อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประเมินคุณภาพลักษณะทางกายภาพของอาหารหยาบ PMR ตลอดจนปริมาณสารพิษกอสซิโพลในกระแสเลือดและกลไกการทำลายสารพิษในร่างกายสัตว์เลี้ยงเองเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการเลี้ยงสัตว์ต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กฤตพล สมมาตรย์ นิโรจน์ ศรสูงเนิน และ เมธา วรรณพัฒน์. 2542. ผลของการเสริมเมล็ดฝ้ายทดแทนอาหารชั้นในโครีดนม. วารสารวิจัย มข. 4 (2):37-44.

เกียรติศักดิ์ สร้อยสุวรรณ เสกสม อาตมางกูร อุทัย คันโธ อังคณา หารบรรจง และ อรุณี อิงคากุล. 2540. คุณค่าทางอาหารของกากเมล็ดฝ้ายพันธุ์ไร้ต่อมในอาหารสัตว์ปีก, น. 257-267. ใน รายงานการประชุมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35 (สาขา สัตว์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จันทกานต์ อรณนันทน์ สมพล ไวยัญญา และ ราไพร นามลิลี. 2551. ผลของการเสริมกระถินและกากน้ำตาลต่อคุณภาพการหมักของทางปาล์มน้ำมัน. รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ ประจำปี พ.ศ. 2554. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา อุดมศรี อินทรโชติ และ กัลยา บุญญานุวัตร. 2535. การใช้เมล็ดฝ้ายเป็นอาหารสัตว์ 2. ผลการใช้เมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารโคนมที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำนม. กองอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____ สุวิทย์ บุญโปร่ง และ อำนาจ เกตุใหม่. 2537 การใช้เมล็ดฝ้ายเป็นอาหารสัตว์ 3. การใช้เมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้ายขุนโค. กองอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ฉลอง วชิราภกร. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นัตรมงคล นิจถาวร. 2528. ผลของการใช้เมล็ดฝ้ายเป็นอาหารโคนมเพศผู้ต่อการเพิ่มน้ำหนักคุณภาพซาก และต้นทุนการผลิตเนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชวนิศนดากร วรวรรณ, ม.ร.ว. 2530. การเลี้ยงโคนม. พิมพ์ครั้งที่ 6. ภาควิชาสัตวบาล, คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์. 2541. โลหิตวิทยาของสัตว์เลี้ยงและการวิเคราะห์. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

เทอดชัย เวียร์ศิลป์. 2542. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาสัตวศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 343 น.

ธงชัย ปอศิริ สมศักดิ์ เกาทอง และ อานุกาพ เต็งสาย. 2550. การใช้เปลือกถั่วปดและหญ้าแพงโกล่าแห้งเป็นแหล่งอาหารหายาพร้อมกับอาหารชั้นระดับต่างๆกัน ขุนพะเนื่อลูกผสม. รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี พ.ศ. 2553. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ธีรพงศ์ ธีรภัทรสกุล. 2536. การเลี้ยงพะเชิงธุรกิจ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ณัฐพล สุวรรณสิน. 2553. ผลของการใช้ Partial Mixed Ration (PMR) ต่อสมรรถภาพการผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของโคนมลูกผสม ในช่วงฤดูแล้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 170 น.

ปิ่น จันจุฬา เสาวนิต คูประเสริฐ วันวิสาข์ งามผ่องใส อภิชาติ หล่อเพชร และ อาริย์วรรณ มีแสง. 2551. การใช้ประโยชน์ของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารพะ. โครงการวิจัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ปริญญา จเรรัชต์ และ สมศักดิ์ เกาทอง. 2549. การศึกษาการขุนพะเนื่อด้วยหญ้าแพงโกล่าร่วมกับอาหารชั้น. รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี พ.ศ. 2549. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ปริญญ์ อำนวยพิเศษ จินดา จันดาเรือง ทัย กาบบัว และ สมปอง ธรรมศิริรักษ์. 2553. ซีโมโกลบินจระเข้: การนำไปใช้ประโยชน์. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 38(3):303-312.

พนัส ธรรมกิตติวงศ์. 2537. การใช้ประโยชน์ของอาหารผสมเสร็จอัดแท่งในโค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

พิระวัฒน์ ณ มณี. 2552. การใช้เศษเหลือของถั่วปดเป็นอาหารหายาของพะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มนต์ชัย ดวงจินดา. 2544. การใช้โปรแกรม SAS เพื่อวิเคราะห์งานวิจัยทางสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี้พับลิชชิง. กรุงเทพฯ.

_____ และ จุลอง วชิราภากร. 2533. เทคนิคการให้อาหารโคเนื้อและโคนม. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ฟันนี้พับลิชชิง. กรุงเทพฯ.

วลัยทิพย์ แก่นจันทร์. 2553. อิทธิพลของการใช้อาหาร Partial Mixed Ration ที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในการเลี้ยงโคเนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วุฒิพงษ์ อินทรธรรม. 2539. ผลของการเสริมเมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารโคขุนที่มีต่อขบวนการหมักในรูเมนสมรรถนะการผลิต และ คุณสมบัติของซาก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศรเทพ ชัมวาสร. 2551. คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของเนื้อที่ได้รับวินัสและกากน้ำตาล. ใน รายงานผลการศึกษาดูงานพิเศษ เรื่องการใช้วินัสในการเลี้ยงสัตว์เพื่อลดต้นทุนการผลิต. สหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป. กลาง โพนยางคำ จำกัด, สกลนคร.

ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์. 2554. สรุปข้อมูลและสถิติจำนวนแพะและเกษตรกรผู้เลี้ยงประจำปี 2554. แหล่งที่มา: http://www.dld.go.th/ict/th/images/stories/stat_web/yearly/2554/goat54/report_goat_54.pdf, 28 กันยายน 2556.

ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์. 2555. สรุปผลการปรับปรุงฐานข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ปี 2556. แหล่งที่มา: <http://www.dld.go.th/ict/th2/index.php/en/84-planning/th-lifds-planning/th-lifds2556/179-th-lifds56-2>, 28 กันยายน 2556.

สมเกียรติ สายธนู. 2528. ลักษณะของการเลี้ยงแพะในประเทศไทย. ว. สงขลานครินทร์. 7:335-342.

สมศักดิ์ เกาทอง อานูภาพ เสี่ยงสาย จีระศักดิ์ ชอบแต่ง และ สุวรรณิ เกศกมลลาสน์. 2551. ปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของอาหารผสมเสร็จหมักที่มีเปลือกสับประดผสมในระดับต่างๆ ในแพะ. รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี พ.ศ. 2553. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สายันท์ พัดศรี. 2547. พืชอาหารสัตว์เขตร้อน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 534 น.

สุรชน ต่างวิวัฒน์. 2530. คำแนะนำในการเลี้ยงแพะ. โครงการพัฒนาปศุสัตว์ภาคใต้เพื่อการส่งออก. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สุนันท์ จำรูญ. 2538. เซลล์เม็ดเลือด : แนวทางการวินิจฉัยโรคจากการสเมียร์เลือด. กองมาตรฐานชั้นสูตรสาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 122 น.

สุกัญญา ชูใจ ปิ่น จันจุฬา ยุทธนา ศิริวัธนกุล และ อภิชาติ หล่อเพชร. 2554. ผลของระดับเนื้อในเมล็ดยางพาราและกากเนื้อในปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารชั้นต่อปริมาณการกินได้และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนในแพะที่ได้รับหญ้าชิกแนลแห้งเป็นอาหารหลัก. วารสารแก่นเกษตร 39:43-54.

เสาวนิต คุประเสริฐ. 2537. โภชนศาสตร์สัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อัศวิน สายเชื้อ. 2555. ผลการใช้หญ้ากินนีสีม่วงร่วมกับเมล็ดข้าวโพดต่อประสิทธิภาพการผลิตและปริมาณกรดไขมัน Conjugated Linoleic Acid ในแพะเนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อำพล วรทิตธรรม. 2546. การใช้กากเมล็ดฝ้ายเป็นอาหารโค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Adam, R., T.A. Geissman and J.D. Edwards. 1960. Gossypol, pigment of cottonseed. **Chem. Rev.** 60: 555.

- Anderson, M.J., M. Khoyloo and J.L. Walter. 1982. Effect of feeding whole cottonseed on intake, body weight and reticulo-rumen development of young Holstein calves. **J. Dairy. Sci.** 65: 764.
- Anderson, M.J., Y.E.M. Obadiah, R.L. Boman and J.L. Walter. 1984. Comparison of whole cottonseed, extruded soybeans, or whole sunflower seeds for lactating dairy cows. **J. Dairy. Sci.** 67: 569.
- AOAC. 1980. **Official Methods of Analysis**. 13th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., U.S.A.
- Boniface, A.N., R.M. Murray and J.P. Hogan. 1986. Optimum level of ammonia in the rumen liquor of cattle fed tropical pasture hay. **Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.** 16: 151-154.
- Bremner, J.M. and D.R. Keeney. 1965. Steam distillation methods of determination of ammonium nitrate and nitrite. **Anal. Chem. Acta.** 32: 485-495.
- Budarari, S. 1989. **The Merck index 11th**. USA: Merck & Co.
- Cervantes, M., J. Gonzalez, N. Torrentera, S. Espinoza and M. Cuca. 1999. Evaluation of dietary of cottonseed meal on performance and carcass traits of growing pigs. **J. Anim. Sci.** 77: 186.
- Chase, C.C., Jr., P. Bastidas, J.L. Ruttle, C.R. Long and R.D. Randel. 1994. Growth and reproductive development in Brahman bulls fed diets containing gossypol. **J. Anim. Sci.** 72: 445.
- Church, D.C. 1983. **Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants**. (2nd ed.) Oregon: O&B Books.
- Coppock, C.E., J.W. West, J.R. Moya, D.H. Nave, J.M. Labore, K.G. Thomson, L.D. Jr. Rowe and C.E. Gates. 1985. Effects of amount of whole cottonseed on intake, digestibility and physiological responses of dairy cows. **J. Dairy Sci.** 68: 2248.

- Cotta, M.A. and R.B. Hespell. 1986. Protein and amino acid metabolism of rumen bacteria. *In*: Milligan, L.P. W.L. Grovum, A. Obson. (Ed.) **Control of digestion and metabolism in ruminants**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. pp. 122-136.
- Cummins, K.A. and R.W. Russell. 1985. Effects of feeding whole cottonseed to lactating dairy cows on glucose and palmitate metabolism. **J. Dairy Sci.** 68: 2009.
- Dayani, O., P. Dadvar and M. Afsharmanesh. 2011. Effect of dietary whole cottonseed and crude protein level on blood parameters and performance of fattening lambs. **Small Rumin. Res.** 97: 48-54.
- Devendra, C. 1989. Comparative aspects of digestive physiology and nutrition in goats and sheep. *In*: **Ruminant physiology and nutrition in asia**. Sendai, Japan.
- Duncan, J.R. and K.W. Prasse. 1986. **Veterinary Laboratory Medicine**. (2nd ed.) Iowa State University Press.
- Dunlop, R.P. 1991. Thyroid metabolic hormone. *In*: **Physiology of Small and Large Animals**. National Academic Press, Washington D.C. pp. 513-520.
- Dunshea, F.R., A.W. Bell and T.E. Trigg. 1988. Relations between plasma non-esterified fatty acid metabolism and body tissue mobilization during chronic undernutrition in goats. **Br. J. Nutr.** 60: 633-644.
- Esdale, W.J., G.A. Broderick and L.D. Satter. 1968. Measurement of ruminal volatile fatty acid production from alfalfa hay or corn silage rations using a continuous infusion isotope dilution technique. **J. Dairy. Sci.** 51: 1823.
- Fahey, G.C. and L.L. Berger. 1988. Carbohydrate nutrition of ruminants. *In*: **The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. pp. 269-298.
- Fontenot, J.P. 1979. Protein and nitrogen metabolism. *In*: **Digestive physiology and nutrition of ruminants**. Vol. 4, D.C. Church, Ed. O&B Book, Inc., Corvallis Oregon, U.S.A.

- Grummer, R.R. and J.H. Clark. 1982. Effect of dietary nitrogen solubility on lactation performance and protein and dry matter degradation *In Situ*. **J. Dairy Sci.** 65: 1432.
- Hale, F. and C.M. Lyman. 1957. Effect of protein level in the ration on gossypol tolerance in growing-fattening pigs. **J. Anim. Sci.** 71: 1239.
- Hammond, A.C. 1997. **Update on BUN and MUN as a guide for protein supplementation in cattle.** Available Source: <http://dairy.ifas.ufl.edu/rns/1997/frns1997.pdf>, July 30, 2011.
- Hart, F.J. and Wanapat, M. 1992. Physiology of digestion of urea-treated rice straw in swamp buffalo. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** 5: 617-622.
- Heldt, J.S., R.C. Cochran, C.P. Mathis, B.C. Woods, K.C. Olson, E.C. Titgemeyer, T.G. Nagaraja, E.S. Vanzant and D.E. Johnson. 1999. Effects of level and source of carbohydrate and level of degradable intake protein on intake and digestion of low-quality tallgrass-prairie hay by beef steers. **J Anim Sci.** 77: 2846-2854.
- Higginbotham, G.E., M. Torabi and J.T. Huber. 1989. Influence of dietary protein concentration and degradability on performance of lactating cows during hot environmental temperature. **J. Dairy Sci.** 72: 2554-2564.
- Horner, J.L., C.E. Coppock, J.R. Moya, J.M. Labore and J.K. Lanham. 1988. Effects of niacin and whole cottonseed on ruminal fermentation, protein degradability and nutrient digestibility. **J. Dairy Sci.** 71:1239.
- Hron, R.J., M.S. Kuk and G. Abraham. 1990. Determination of free and total gossypol by high performance liquid chromatography. **JAOCS.** 67(3): 182-187.
- Indianagrains. 2009. **Monsanto Acquires 49% Stake In Brazil Cotton Seed Co.** Available Source: <http://www.indianagrains.com/blog/monsanto-acquires-49-stake-in-brazil-cotton-seed-co->, June 22, 2013.
- Insung, O. 1999. **Use of Diatomite Filter Aid Residue in Cattle Feed.** Georg-August-University. Göttingen, Germany. 133 pp.

- Jain, N.C. 1993. **Essential of Veterinary Hematology**. Lea & Febiger. Philadelphia.
- Jia, L., L.C. Coward, C.D. Kerstner-Wood, R.L. Cork, G.S. Gorman, P.E. Noker, S. Kitada, M. Pellecchia, and J.C. Reed. 2008. Comparison of pharmacokinetic and metabolic profiling among gossypol, apogossypol and apogossypol. **Cancer Chemother Pharmacol.** 61: 63–73.
- Johnston, C. and A.B. Watts. 1964. The chick feeding value of meals prepared from glandless cottonseed. **Poultry Sci.** 43: 957-963.
- Kaneko, J.J. 1989. **Clinical Biochemistry of Domestic Animal**. 4th ed., Academic Press Inc., San Diego, California.
- Karalazos, A., D. Datas and J. Bikos. 1992. A note on apparent digestibility and nutritive value of whole cottonseed given to sheep. **Anim. Prod.** 55: 232.
- Keele, J.W., R.E. Roffler and K.Z. Beyers. 1989. Ruminal metabolism in nonlactating cows fed whole cottonseed or extruded soybeans. **J. Anim. Sci.** 67: 1612.
- Khon, R. 2007. **Use of milk or blood urea nitrogen to identify feed management in efficiencies and estimate nitrogen excretion by dairy cattle and other animals**. Available Source: <http://dairy.ifas.ufl.edu/ms/2007/Kohn.pdf>, July 30, 2011.
- Krebs, G. and R.A. Leng. 1986. The effect of supplementation with molasses/urea blocks on ruminal digestion. **Proc. of the Aust. Soc. of Anim Prod.** 15: 704.
- Leng, R.A. 1989. Recent advances in applied aspects of ruminant physiology and nutrition. *In*: **Ruminant physiology and nutrition in asia**. Sendai, Japan. pp. 257-263.
- Leng, R.A. and D.J. Brett. 1966. Simultaneous measurements of the rates of production of acetic, propionic and butyric acids in the rumen of sheep on different diets and the correlation between production rates and concentrations of these acids in the rumen. **Br. J. Nutr.** 20: 541.

- Leighton, R.E., W.B. Anthony, J.S. Huff and I.W. Rupel. 1953. Relation of breed and free gossypol levels to cottonseed meal toxicity in dairy calves. **J. Dairy. Sci.** 36:601.
- Lindsey, T.O., G.E. Hawkins and L.D. Guthrie. 1980. Physiological response of lactating cows to gossypol from cottonseed meal rations. **J. Dairy. Sci.** 63:562.
- López, S., F.D.D. Hovell, J. Dijkstra and J. France. 2003. Effects of volatile fatty acid supply on their absorption and on water kinetics in the rumen of sheep sustained by intragastric infusions. **J. Anim. Sci.** 81: 2609-2616.
- Madsen, A. 1983. Metabolism in liver cells. *In*: P.M. Riis, ed. **Dynamic Biochemistry of Animal Production**. Elseviers Science. Publ. Co., Inc., New York. pp. 53-73.
- Margi, S. 1995. **Veterinary Clinical Laboratory Procedure**. Mosby year Book Inc., St. Louis, Missouri.
- Matondi, G.H.M., E. Masama, I.D.T. Mpofu and F.F. Muronzi. 2007. Effect of feeding graded levels of cottonseed meal on goat erythrocyte membrane osmotic fragility. **LRRD.** 19: 11.
- McDonald, P., R.A. Edward, J.F.D. Greenhalgh and C.A. Morgan. 1995. **Animal Nutrition**. 5th Ed. Longman Science and Technical. New York. 607 pp.
- McGown, E.L., R.J. O'Connor and J.W. Neher. 1982. Erythrocyte filterability, fragility, and membrane proteins in folic acid deficient guinea pigs. **Am Soc Nutrition.** 112(1): 92-7.
- Moss, R. 1992. **Livestock Health and Welfare**. Longman scientific and technical, UK.
- Nocek, J.E. and J.B. Russell. 1988. Protein and energy as an integrated system, Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. **J. Dairy Sci.** 71: 2070-2107.
- NRC. 1981. **Nutrient Requirements of Goats: Seventh Revised Edition**. National Academy Press, Washington, D.C. Pages 11.

- Orskov, E.R. 1981. Recent advances in the understanding of cereal processing for ruminants. *In*: Haresign, W. and D.J.A. Cole (Eds) **Recent development in ruminant nutrition**. Butterworths, London. pp. 258-267.
- Pethick, D.W. and F.R. Dunshea. 1993. Fat metabolism and turnover. *In*: J.M. Forbes and J. France (ed.). **Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism**. C.A.B. International. University Press, Cambridge. pp. 291-311.
- Pondy, S.N. and N. Thejappa. 1975. Study on relationship between oil, protein and gossypol in cottonseed kernels. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 52: 312.
- Preston, R.L. and S.J. Bartel. 1989. Effect of whole cottonseeds in cattle finishing diets on growth, efficiency and body fat composition. **Aust. J. Agri. Sc.** 2: 505.
- Preston, T.R. and R.A. Leng. 1987. Matching ruminant production systems with available resources in the tropics and sub-tropics. **Penambull book armidale**, Australia.
- Raiser, R. and H.C. Fu. 1962. The mechanism of gossypol detoxification by ruminant animals. **J. Nutr.** 76: 125.
- Randel, R.D., C.C. Jr.Chase and S.J. Wyse. 1992. Effect of gossypol and cottonseed products on reproduction of mammals. **J. Anim. Sci.** 70: 1628.
- Risco, C.A., A.L. Adam, S. Seebohm, M.J. Thatcher, C.R. Staples, H.H. Vanhorn, L R. McDowell, M.C. Calhoun and W.W. Thatcher. 2002. Effect of gossypol from cottonseed on hematological responses and plasma alpha tocopherol concentration of dairy cows. **J. Dairy Sci.** 85: 3395-3402.
- Roffler, R.E. and L.D. Satter. 1975. Relationship between ruminal ammonia and non protein nitrogen utilization by ruminants. I. Development of a model for predicting non protein nitrogen utilization by cattle. **J. Dairy Sci.** 58: 1880.
- Roger, P.A.M., T.P. Henaghan and B. Wheeler. 1975. Gossypol poisoning in young calves. **Ir. Vet. J.** 29:9.

- Sarwar, M., J.L. Firkins and M.L. Eastridge. 1992. Effect of varying forage or concentrate carbohydrate on nutrient digestibilities and milk production by dairy cows. **J Dairy Sci.** 75: 1533-1542.
- SAS. 1990. **SAS/STATTM User's Guide (Release 6.03)**. SAS Inst., Inc. Cary, NC.
- Satter, L.D. and L.L. Slyter. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production *In vitro*. **Br. J. Nutr.** 32:199.
- Schell, T.C., C.R. Dove and D.K. Bishop. 2000. Growth rate, carcass composition and onset of estrus in developing gilts fed cottonseed meal. **J. Dairy Sci.** 83:191.
- Schneider, B.H. and Flatt, W.P. 1975. **The Evaluation of Feeds Through Digestibility Experiments**. University of Georgia Press, Athens, USA. 423 pp.
- Sengar, O.P.S. 1975. Investigation of milk and meat potential of Indian goats. Raja Balwant Singh College. Agra, India.
- Smith, F.H. 1958. Spectrophotometric determination of total gossypol in cottonseed meal and cottonseed meats. **JAOCs.** 35:261-262.
- Smith, N.E. and L.S. Collar. 1980. Whole cottonseed and extruded soybeans for lactating cows. *In: Proc. California Dairy Cattle Day*, pp. 33-44.
- Smith, N.E., L.S. Collar, D.L. Bath, W.L. Dunkley, and A.A. Franke. 1981. Digestibility and effects of whole cottonseed fed to lactating cows. **J. Dairy Sci.** 64: 2209-2215.
- Solaiman, S.G., N.K. Gurung, Q. McCrary, H. Goyal, and W.H. McElhenney. 2009. Feeding performance and blood parameters of male goat kids fed EasiFlo[®] cottonseed. **Small Rum Res.** 81: 137-145.
- Sutton, J.D., S.V. Morant, J.A. Bines, D.J. Napper and D.I. Givens. 1993. Effect of altering the starch: fiber ratio in the concentrates on hay intake and milk production by Friesian cows. **J. Agric. Sci. (Camb).** 120: 379-390.

- Thomas, P.C. and A.J.F. Rook. 1981. Manipulation of rumen fermentation. *In*: Haresign, W. and D.J.A. Cole (Eds) **Recent development in ruminant nutrition**. Butterworths, London. pp. 157-183.
- Tiffany, T.O., J.M. Jansen, C.A. Burtis, J.B. Overton and C.D. Scott. 1972. Enzymatic kinetic rate and end point analyses of substrate by the use of a GeMSAEC fast analyser. **Clinical Chemistry**. 18: 829-840.
- Van Keulen, J. and B.A. Young. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. **J. Anim. Sci.** 40: 281.
- Van Nevel, C.L. and D.I. Demeyer. 1988. Manipulation of rumen fermentation. *In*: Hobson, p.N. (Eds) **The rumen microbial ecosystem**. Elsevier Applied Science, London. pp. 157-183.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **J. Dairy Sci.** 74: 3583-3597.
- Van Soest, P.J. 1994. **Nutritional ecology of the ruminant, 2nd**. Cornell university Press, Ithaca, NY.
- Walton, P.D. 1984. **Production and management of cultivated forages**. Reston Publishing Company, Inc. Virginia, USA. pp. 335
- Wanapat, M. 1989. Comparative aspects of digestive physiology and nutrition in buffaloes and cattle. *In*: **Ruminant physiology and nutrition in asia**. Sendai, Japan.
- Weston, R.H. and J.P. Hogan. 1968. The digestion of pasture plants by sheep. I: Ruminal production of volatile fatty acids by sheep offered diets of rye grass and forage oats. **Aust. J. Agri. Sc.** 19: 419.

Willard, S.T., D.A. Neuendoff, A.W. Lewis and R.D. Randel. 1995. Effects of gossypol in diet of pregnant and postpartum Brahman cows on calf development and cow performance. **J. Anim. Sci.** 73: 496.





การวิเคราะห์หาสารพิษกอสซิปอล

(ดัดแปลงจาก Smith, 1958)

1. อุปกรณ์

- 1.1 Mechanical shaker
- 1.2 Spectrophotometer (440 nm)
- 1.3 Grinding mill (เครื่องกะเทาะเปลือก)
- 1.4 Erlenmeyer flask 250 ml fitted with leakproof glass or polyethylene stoppers
- 1.5 Pipett
- 1.6 Filter paper (Whatman no. 2)
- 1.7 Volumetric flasks 25, 200 and 250 ml
- 1.8 Water bath, 100 °C
- 1.9 เครื่อง Ultrasonic sonicator รุ่น Transsonic digitals (เครื่องเขย่าสาร โดยใช้เสียงความถี่สูง)

2. สารเคมี

2.1 Solvents (สารสกัด)

2.1.1 Aqueous acetone (สารละลาย acetone 70%) acetone (Reagent-grade) 700 ml กับน้ำกลั่น 300 ml

2.1.2 Aqueous isopropyl alcohol (2-propanol) (สารละลาย 2-propanol 80%) เตรียมโดยผสม isopropyl alcohol 800 ml กับน้ำกลั่น 200 ml

2.1.3 Aniline

2.2 Thiourae solution

เตรียมโดยสารละลาย thiourea (reagent grade) 10 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2.3 Hydrochloric acid (1.2 N)

เตรียมโดยเจือจาง HCl เข้มข้น (35-37% HCl) 106 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นและปรับให้ได้ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

2.4 Standard gossypol solution

ใช้ primary standard quality gossypol หรือ gossypol acetic acid (89.61% gossypol by weight) เตรียมโดย

2.4.1 ชั่ง primary standard gossypol 25 มิลลิกรัม (0.025 กรัม) หรือ gossypol acetic acid 27.9 มิลลิกรัม (0.0279 กรัม) แล้วใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.4.2 เติม acetone (acetone reagent grade) 100 มิลลิลิตร

2.4.3 เติม glacial acetic acid 1 มิลลิลิตร

2.4.4 เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร

2.4.5 ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร ด้วย acetone แล้วเขย่าให้เข้ากัน

2.4.6 คูดสารละลายมา 45 มิลลิลิตร ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 200 มิลลิลิตร

2.4.7 เติม acetone 100 มิลลิลิตร

2.4.8 เติมน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร

2.4.9 ปรับปริมาตรให้ได้ 200 มิลลิลิตร ด้วย acetone แล้วเขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายที่มี gossypol 0.025 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

3. การ Calibration

3.1 คูดสารละลาย Standard gossypol solution (gossypol 0.025 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ปริมาตร 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 และ 10 มิลลิลิตร อย่างละ 2 ซ้ำ ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร

3.2 ซ้ำที่ 1 ของทุกความเข้มข้นเรียกว่า ชุด A ซ้ำที่ 2 เรียกว่า ชุด B

ชุด A

3.3 เติม 10% thiourea 2 หยด

3.4 เติม 1.2 N HCl 2 หยด

- 3.5 ปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย Aqueous isopropyl alcohol
- 3.6 นำชุด A ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 440 nm โดยใช้ Aqueous isopropyl alcohol ปรับเครื่องให้อ่านค่าได้ 0 (100% transmittance)

ชุด B

- 3.7 เติม 10% thiourea 2 หยด
- 3.8 เติม 1.2 N HCl 2 หยด
- 3.9 เติม aniline 2 มิลลิลิตร
- 3.10 เตรียม blank โดยมี Aqueous isopropyl alcohol 10 มิลลิลิตร, 10% thiourea 2 หยด, aniline ที่กลั่นแล้ว 2 มิลลิลิตร, ไม่ต้องเติม HCl
- 3.11 นำชุด B และ blank ไปแช่ใน water bath 100 °C นาน 30 นาที นำออกมาทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง
- 3.12 ปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย Aqueous isopropyl alcohol
- 3.13 นำ blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 440 nm จะต้องได้ค่าไม่เกิน 0.022
- 3.14 นำชุด B ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 440 nm โดยปรับ blank ให้มีค่าเท่ากับ 0
- 3.15 คำนวณ corrected absorbance
- $$\text{corrected absorbance} = \text{absorbance of B} - \text{absorbance of A}$$
- 3.16 คำนวณ linear regression calibration factor
- โดย แกน X = ระดับกอสซิปอล (gossypol, mg)
- แกน Y = corrected absorbance
- และ X ผ่าน 0
- จะได้สมการ Gossypol (mg) = F x corrected absorbance

4. การสกัดตัวอย่าง

- 4.1 ชั่งตัวอย่างปริมาณ 1 กรัม ลงใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 4.2 เติม Aqueous acetone 50 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดฝาแก้วหรือพลาสติก แล้วเขย่าในเครื่องเขย่าสารโดยใช้เสียงความถี่สูงเป็นเวลา 30 นาที
- 4.3 กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman no. 2 กรองใส่ flask ขนาดเล็ก ทิ้งส่วนที่กรองได้ 5 เปอร์เซ็นต์แรก ใช้กระจกนาฬิกาปิดฝากรวยเพื่อลดการระเหยระหว่างการกรอง

4.4 คัดสารละลาย 5 มิลลิลิตร ใส่ลง volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 2 ซ้ำ ซ้ำที่ 1 เรียกว่า ชุด C และซ้ำที่ 2 เรียกว่า ชุด D

ชุด C

4.5 ชุด C เติม 10% thiourea 2 หยด

4.6 เติม 1.2 N HCl 2 หยด

4.7 ปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย Aqueous isopropyl alcohol

4.8 นำชุด C ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 440 nm โดยใช้ Aqueous isopropyl alcohol ปรับเครื่องให้อ่านค่าได้ 0 (100% transmittance)

ชุด D

4.9 ชุด D เติม 10% thiourea 2 หยด

4.10 เติม 1.2 N HCl 1 หยด

4.11 เติม aniline ที่กลั่นแล้ว 2 มิลลิลิตร

4.12 เตรียม blank โดยมี Aqueous isopropyl alcohol 10 มิลลิลิตร, 10% thiourea 2 หยด, aniline ที่กลั่นแล้ว 2 มิลลิลิตร, ไม่เติม HCl

4.13 นำชุด D และ blank ไปแช่ใน water bath 100 °C นาน 30 นาที นำออกมาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4.14 ปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย Aqueous isopropyl alcohol

4.15 นำ blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 440 nm จะต้องได้ค่าไม่เกิน 0.022 ถ้าเกินจะต้องทำใหม่ โดยใช้ aniline ที่กลั่นใหม่ๆ

4.16 นำชุด D ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 440 nm โดยปรับ blank ให้มีค่าเท่ากับ 0

4.17 คำนวณ corrected absorbance

$$\text{corrected absorbance} = \text{absorbance of D} - \text{absorbance of C}$$

4.18 เมื่อได้ค่า corrected absorbance สามารถคำนวณหาปริมาณ gossypol (มิลลิกรัม) ได้จากสมการ

$$\text{Gossypol (mg)} = F \times \text{corrected absorbance}$$

4.19 คำนวณหา Free Gossypol (%) ได้จากสมการ

$$\text{Free Gossypol (\%)} = \frac{5(G)}{(W)(V)}$$

เมื่อ G = mg gossypol in sample

W = mass of sample, g

V = ml of sample aliquot used





ภาพผนวกที่ 1 อาหารหยาบ PMR ชั่งน้ำหนักแล้วเตรียมให้พะทะดลอง



ภาพผนวกที่ 2 เมล็ดฝ้ายและอาหารข้นชั่งน้ำหนักแล้วเตรียมให้พะทะดลอง



ภาพผนวกที่ 3 แพะกำลังกินอาหารทดลอง



ภาพผนวกที่ 4 การเก็บตัวอย่าง rumen fluid จากแพะทดลอง



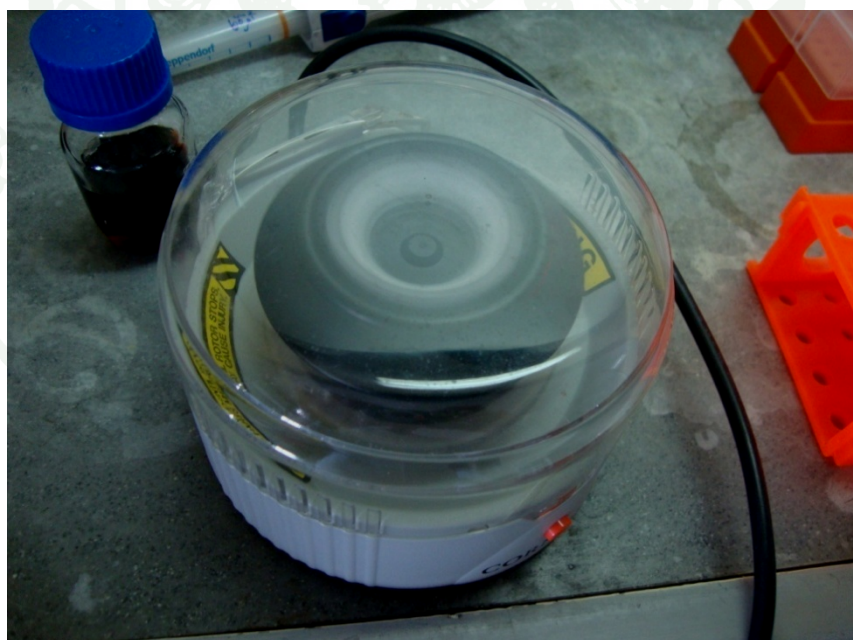
ภาพผนวกที่ 5 เนื้อในของเมล็ดฝ้ายที่บดแล้วเพื่อเตรียมในการวิเคราะห์หาสารพิษกอสซิพอล



ภาพผนวกที่ 6 เนื้อในของเมล็ดฝ้ายบดที่เติมสารเคมีในการสกัดแล้วเขย่าในเครื่องเขย่าสารโดยใช้เสียงความถี่สูงเป็นเวลา 30 นาที



ภาพผนวกที่ 7 หลังจากสารละลายแยกชั้นแล้วให้ดูคสารละลายด้านบน



ภาพผนวกที่ 8 นำสารละลายที่ได้เข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) อีกครั้ง



ภาพผนวกที่ 9 นำสารละลายที่ได้จากเครื่องปั่นเหวี่ยงเดิมสารเคมีเพื่อเข้าเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อคำนวณหาปริมาณสารพิษกอสชิปอล



ภาพผนวกที่ 10 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายณราวิชญ์ อ่อนใจเอื้อ
 เกิดวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2529
 สถานที่เกิด อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี
 ประวัติการศึกษา วท.บ. (สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร) มหาวิทยาลัยศิลปากร
 วิทยาเขตสารสนเทศ เพชรบุรี

