ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการหมักในกระเพาะรูเมน ผลผลิต
ก๊าซมีเทนและน้ำนม และการย่อยได้ของสารอาหารของแพะนมลูกผสมในเขตร้อนชื้น

นายภานุมาศ คงปันนา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล
คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effects of cassava chip supplementation on ruminal fermentation, methane and milk production, and nutrient digestibility of crossbred lactating goat in the tropical region

Mr. Panumas Kongpanna

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Animal Nutrition
Department of Animal Husbandry
Faculty of Veterinary Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการหมักในกระเพาะรูเมน ผลผลิตก๊าซมีเทนและน้ำนม และการย่อยได้ของสารอาหารของแพะนมลูกผสมในเขตร้อนชื้น
โดย	นายภานุมาศ คงปันนา
สาขาวิชา	อาหารสัตว์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. จักรกริศน์ เนื่องจำนงค์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ สมชาย จันทร์ผ่องแสง

คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสัตวแพทยศาสตร์
(ศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. รุ่งโรจน์ ธนาวงษ์นุเวช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิง ดร. อุตรา จามีกร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. จักรกริศน์ เนื่องจำนงค์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ สมชาย จันทร์ผ่องแสง)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. หทัยรัตน์ พลายมาศ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. สัมพันธ์ ธรรมเจริญ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ประสานพานิช)

ภานุมาศ คงปันนา : ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการหมักในกระเพาะรูเมน ผลผลิตก๊าซมีเทนและน้ำนม และการย่อยได้ของสารอาหารของแพะนมลูกผสมในเขตร้อนชื้น (Effects of cassava chip supplementation on ruminal fermentation, methane and milk production, and nutrient digestibility of crossbred lactating goat in the tropical region) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. น.สพ. ดร. จักรกริศน์ เนื่องจำนงค์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ศ. น.สพ. สมชาย จันทร์ผ่องแสง, 61 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้น ต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร การหมักในกระเพาะรูเมน เมทาโบไลท์ของเลือด ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม และการผลิตก๊าซด้วยวิธี in vitro gas production technique (IVGPT) แพะนมพันธุ์ผสม (ซาเนน x พื้นเมือง) จำนวน 12 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 29 กิโลกรัม ช่วงให้น้ำนมมาแล้ว 35 วัน วางแผนงานวิจัยแบบเปลี่ยนสลับ (crossover design) เวลางานวิจัยช่วงละ 21 วัน โดย 14 วันแรกจะเป็นการปรับตัว และ 7 วันถัดมาจะเข้าสู่ช่วงเก็บข้อมูล อาหารทดสอบ 2 กลุ่ม ได้แก่ อาหารทดสอบ 1 ได้รับหญ้าแพงโกลาเท่านั้น (สัดส่วน in vitro ของ Pangola:Cassava = 100:0) และอาหารทดสอบ 2 ได้รับหญ้าแพงโกลาและเสริมด้วยมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (สัดส่วน in vitro ของ Pangola:Cassava = 79:21) สัตว์ทุกตัวจะได้รับหญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด (*ad libitum*) บันทึกน้ำหนักตัว ปริมาณการกินได้ น้ำนม มูลและปัสสาวะ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพการใช้อาหาร และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างอาหาร น้ำนม มูลและปัสสาวะ เก็บเลือดเพื่อวิเคราะห์หาค่าเมทาโบไลท์ของเลือดและ NEFA เก็บของเหลวในกระเพาะรูเมนเพื่อวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่าย วัดปริมาณก๊าซด้วยวิธี IVGPT และวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง gas chromatography

จากการศึกษาไม่พบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่ม T1 และ T2 ในด้านเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ปริมาณการกินได้ สมดุลไนโตรเจน การย่อยได้ การหมักในกระเพาะรูเมน ระดับโปรตีนรวม ไตรกลีเซอร์ไรด์ BUN และ NEFA ในเลือด ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบของ โปรตีน ไขมัน ของแข็งทั้งหมด ของแข็งที่ไม่รวมไขมันในน้ำนม และ 4%FCM แต่อาหารทดสอบ 2 ส่งผลทำให้ระดับกลูโคสในเลือด และองค์ประกอบแลคโตสในน้ำนมสูงกว่าอาหารทดสอบ 1 ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าอาหารทดสอบ 2 มีปริมาณก๊าซรวมที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ค่า ME NEL และมีองค์ประกอบก๊าซมีเทน ที่สูงกว่าอาหารทดสอบ 1 ($p<0.05$)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต และแหล่งพลังงานสำหรับแพะนมที่ได้รับหญ้าแพงโกลาเป็นอาหารหยาบ โดยไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร และค่าการหมักในกระเพาะรูเมน แต่ไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้เลี้ยงแพะนม ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตควบคู่ไปกับการลดการผลิตก๊าซมีเทน

ภาควิชา สัตวบาล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา อาหารสัตว์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5675315031 : MAJOR ANIMAL NUTRITION
KEYWORDS: CASSAVA CHIP / FEED EFFICIENCY / RUMINAL FERMENTATION / IN VITRO TECHNIQUE / ENERGY BALANCE / METHANE PRODUCTION / DAIRY GOAT

PANUMAS KONGPANNA: Effects of cassava chip supplementation on ruminal fermentation, methane and milk production, and nutrient digestibility of crossbred lactating goat in the tropical region. ADVISOR: ASSOC. PROF. CHACKRIT NUENGJAMNONG, CO-ADVISOR: PROF. SOMCHAI CHANPONGSANG, 61 pp.

The objective of this study was to determine cassava chip supplementation on feed efficiency, ruminal fermentation, blood metabolites, milk production and composition and in vitro gas production technique (IVGPT). Twelve crossbred dairy goats (Saanen x Native) with initial body weight of 29 kg and 35 d in milk were randomly assigned to a 2x2 crossover design. The experiment was 2 periods with the first 14 d for adaptation and the last 7 d for data collection. Two dietary treatments were composed of pangola hay and cassava chip at the ratios of 100:0 and 79:21 for T1 and T2, respectively. The pangola hay was fed *ad libitum* while the cassava chip in T2 was given about 0.5 %body weight (BW). Body weight, feed intake, milk yield, feces and urine were collected for analyze feed efficiency. Samples were determined their chemical compositions. Blood sample was analyzed for blood metabolites and non-esterified fatty acid. Ruminal fluid was collected to analyze volatile fatty acid (VFA) composition and gas production by IVGPT. The methane concentrations from IVGPT were determined by gas chromatography.

Comparing T1 and T2, there were no significant differences in %BW change, feed intake, N balance, digestibility, VFA composition, blood metabolites (protein, triglycerides, blood urea nitrogen (BUN) and NEFA) milk yield and milk composition (protein, fat, total solids (TS), solid not fat (SNF) and 4%fat corrected milk (FCM)). Goats fed with T2 had higher blood glucose and milk lactose than those fed with T1 ($p<0.05$). Nevertheless, T2 had higher gas production at 24 and 48 hours, metabolizable energy, net energy lactation and methane composition than T1 ($p<0.05$).

In conclusion, supplementation of cassava chip can be used as a carbohydrate and energy source for dairy goats fed on pangola hay without adverse effects on feed efficiency and ruminal fermentation. However, it was not suitable for raising dairy goats that aimed to enhance production and reduce methane emission at the same time.

Department:	Animal Husbandry	Student's Signature	.....
Field of Study:	Animal Nutrition	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2015	Co-Advisor's Signature	.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.น.สพ.ดร.จักรกริศน์ เนื่องจำนงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ศ.น.สพ.สมชาย จันทร์ผ่องแสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา ข้อแนะนำ รวมทั้งตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณกรรมการทั้ง 4 ท่าน ได้แก่ รศ.ดร.สมเกียรติ ประสานพานิช กรรมการ (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก) ผศ.สพ.ญ.ดร.อุตรา จามีกร รศ.น.สพ.ดร.สัมพันธ์ ธรรมเจริญ และ อ.ดร.หทัยรัตน์ พลายมาศ สำหรับการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ขอขอบคุณ อ.ศักดิ์ชัย โตภาณุรักษ์ สำหรับคำแนะนำด้านสถิติงานวิจัย และแผนการทดลอง รวมทั้งขอขอบคุณ

1. เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

2. รศ.น.สพ.ดร.สัมพันธ์ ธรรมเจริญ และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และคำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3. คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาสัตวบาล คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย และการดำเนินงานด้านเอกสาร

4. รศ.ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และคำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

5. เจ้าหน้าที่และบุคลากร ศูนย์ฝึกนิสิตคณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน สำหรับการช่วยเหลือด้านสัตว์เลี้ยง งานฟาร์ม และการควบคุมสัตว์ในการเก็บตัวอย่างให้เป็นไปอย่างราบรื่น

สุดท้ายนี้ งานวิจัยจะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้หากขาดการสนับสนุน ความช่วยเหลือ และกำลังใจจากบุคคลในครอบครัว ตลอดจนความช่วยเหลือจากเพื่อน และพี่ทุกท่าน ที่แนะนำช่วยแก้ไขในการทำวิจัยจนทำให้งานวิจัยครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์ไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 แพะนมช่วงให้น้ำนม 3

2.2 การสังเคราะห์น้ำนม 4

2.3 การหมักในกระเพาะรูเมน 5

2.4 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในกระเพาะรูเมน 6

2.5 วิธี in vitro gas production technique 7

2.6 อาหารข้นในสัตว์เคี้ยวเอื้อง 8

2.7 มันสำปะหลัง 9

2.8 สารอาหารที่สำคัญในมันสำปะหลังเส้น 10

2.9 สารพิษของมันสำปะหลังเส้น 10

2.10 ผลการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการเติบโต การกินได้ การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ไนโตรเจน 12

2.11 ผลการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการหมักในกระเพาะรูเมน 13

2.12 ผลการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการผลิตและองค์ประกอบน้ำนม 13

2.13 ผลการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อระดับพลังงานและการเมทาโบไลท์ของเลือด 14

2.14 ผลการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการผลิตก๊าซมีเทน 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 16
3.1 สถานที่ 16
3.2 สัตว์และการจัดการ 16
3.3 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล 17
3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ 22
บทที่ 4 ผลการทดลอง 23
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารงานวิจัย 23
4.2 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว 24
4.3 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง 25
4.4 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณสารอาหารที่กินได้ 26
4.5 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อการย่อยได้ของสารอาหาร 27
4.6 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อสมดุลไนโตรเจน 28
4.7 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อค่า pH และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน 29
4.8 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อองค์ประกอบของเลือด 31
4.9 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม 33
4.10 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณก๊าซด้วยวิธี In vitro gas production technique 34
บทที่ 5 วิจารณ์ และสรุป 35
5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารงานวิจัย 35
5.2 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว 36
5.3 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร 36
5.4 การหมักในกระเพาะรูเมนและเมทาโบไลท์ของเลือด 39
5.5 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม 41

หน้า

5.6 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณก๊าซและพลังงานด้วยวิธี In vitro gas production technique 41
สรุปผลการทดลอง 44
รายการอ้างอิง 45
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 สารตั้งต้นในที่ใช้ในกระบวนการการผลิตก๊าซมีเทน 7

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลังเส้น (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง) 11

ตารางที่ 3 แสดงแบบแผนการทดลอง 17

ตารางที่ 4 สารเคมีสำหรับการเตรียม LM 21

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารงานวิจัย (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง) 23

ตารางที่ 6 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (mean ± S.D.) 24

ตารางที่ 7 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (mean ± S.D.) 25

ตารางที่ 8 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณสารอาหารที่กินได้ (mean ± S.D.) 26

ตารางที่ 9 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการย่อยได้ของสารอาหาร (mean ± S.D.) 27

ตารางที่ 10 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อสมดุลไนโตรเจน (mean ± S.D.) 28

ตารางที่ 11 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อค่า pH และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน (mean ± S.D.) 29

ตารางที่ 12 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อองค์ประกอบของเลือด (mean ± S.D.) 32

ตารางที่ 13 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม (mean ± S.D.) 33

ตารางที่ 14 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการหมักก๊าซด้วยวิธี In vitro gas production technique (mean ± S.D.) 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของ (a) Linamarin และ (b) Lotaustralin 11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ช่วงการให้ผลผลิตของแพะนม (dairy goat) คือช่วงสำคัญที่สัตว์มีความต้องการทั้งพลังงานและสารอาหาร เพื่อนำไปใช้ผลิตน้ำนม ซึ่งถ้าสัตว์ได้รับพลังงานและสารอาหารไม่เพียงพอจะส่งผลต่อผลผลิตน้ำนมที่ลดต่ำลง รวมไปถึงการสูญเสียน้ำหนักตัว โน้มนำไปสู่สภาวะการขาดสมดุลทางพลังงาน (negative energy balance, NEB)

แพะนมเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องที่สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้หลายประเภท โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะทำหน้าที่หมักอาหาร ให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA) ซึ่งกรดไขมันระเหยง่าย เป็นแหล่งพลังงานหลักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยสัตว์สามารถที่จะดูดซึมสารอาหารเหล่านี้ได้ในกระเพาะรูเมน อาหารหยาบที่ใช้เลี้ยงแพะนมมีหลากหลายชนิด เช่น หญ้าสด หญ้าแห้ง และของเหลือใช้จากการเกษตร ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่าอาหารหยาบที่ใช้เลี้ยงแพะนม โดยส่วนใหญ่จะมีคุณค่าทางโภชนะต่ำ จึงมีความจำเป็นที่ผู้เลี้ยงหรือเกษตรกรต้องมีการเสริมอาหารข้นที่มีโภชนะต่อหน่วยบริโภคสูงให้กับแพะนม เพื่อเป็นการเพิ่มระดับพลังงาน และสารอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของแพะนมช่วงให้ผลผลิต

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* (L.) Crantz) เป็นอาหารแหล่งพลังงานลำดับที่ 4 ของพืชอาหารในเขตร้อน รองจากข้าว น้ำตาล และข้าวโพด ตามลำดับ ด้วยความที่มันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ในพื้นที่แห้งแล้ง หรือในพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Wanapat et al., 1995) จากรายงานกำลังการผลิตมันสำปะหลังของโลกพบว่าประเทศไทยมีกำลังการผลิตมันสำปะหลังอยู่ลำดับที่ 3 รองจากประเทศไนจีเรีย และประเทศอินโดนีเซีย ตามลำดับ (FAO, 2012) ราคาการซื้อขายมันสำปะหลังปัจจุบันอยู่ที่ 6.10 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งมีราคาต่ำกว่าในช่วงปี 2011 ที่พบว่าราคามันสำปะหลังอยู่ที่ 7.50 บาทต่อกิโลกรัม (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2559)

จากงานวิจัยหลายงานในสัตว์เคี้ยวเอื้อง พบว่ามีการใช้มันสำปะหลังเส้นที่ระดับสูง 60 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ในอาหารข้น (Khampa et al., 2006; Khampa and Wanapat, 2006; Wanapat and Khampa, 2007; Khampa et al., 2009; Boonnop et al., 2010; Lunsin et al., 2010; Khampa et al., 2011; Wanapat et al., 2011; Lunsin et al., 2012; Tan et al., 2012; Polyorach et al., 2014) โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพสัตว์ในโคขุน (Holzer et al., 1997) และในโคนม (Sommart et al., 2000) นอกจากนี้สามารถเพิ่มระดับมันสำปะหลังเส้นในอาหารข้นได้ถึง 75 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ในโคเนื้อ (Wanapat and Khampa, 2007) มีการใช้มันสำปะหลังเส้นกันอย่างแพร่หลายในงานวิจัย เพราะเป็นอาหารแหล่งพลังงาน และมีคาร์โบไฮเดรตสูง ซึ่งกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็น

คาร์โบไฮเดรตกลุ่มที่ไม่เป็นโครงสร้างของต้นพืช (non-structural carbohydrate, NSC) ซึ่ง NSC เป็นคาร์โบไฮเดรตกลุ่มที่มีอัตราการหมักในกระเพาะรูเมนโดยจุลินทรีย์ได้สูง และมีค่าการย่อยสลาย (nutrient degradability) ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุอยู่ที่ 92.5 และ 93.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับพืชอาหารเขตร้อนชนิดอื่น ๆ เช่น หัวมันฝรั่ง รำข้าว และ ข้าวโพด (Chanjula et al., 2003) นอกจากนี้อัตราการหมักในกระเพาะรูเมน สามารถบอกถึงประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ (Hoover and Stoke, 1991) และสามารถบอกถึงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ microbial protein ได้เช่นกัน (Bach et al., 2004)

จุลินทรีย์กลุ่มที่ทำหน้าที่หมักคาร์โบไฮเดรตกลุ่ม NSC จะได้ผลผลิตจากการหมักคือกรดโพรพิโอนิก ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกรดโพรพิโอนิกในกระเพาะรูเมน จะสามารถลดการผลิตก๊าซมีเทนได้ (Demeyer and Fievez, 2000) เพราะกระบวนการสังเคราะห์กรดโพรพิโอนิก จะต้องใช้ H^+ (hydrogen ion) ซึ่ง H^+ เกิดขึ้นจากกระบวนการ acetogenesis (การเปลี่ยนอินทรียวัตถุให้กลายเป็นกรดอะซิติก) และเกิดขึ้นจากการหมักของโพรโทซัว ทำนองเดียวกันการสังเคราะห์ก๊าซมีเทน โดย methanogenic bacteria จะต้องใช้ H^+ เช่นกัน (Moss et al., 2000) ดังนั้นจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ จึงต้องมีการแข่งขันกันใช้ประโยชน์จาก H^+ ในกระเพาะรูเมน นอกจากนี้พบว่าก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นส่งผลทำให้สัตว์สูญเสียพลังงาน GE (gross energy) ที่ได้รับประมาณ 2 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการลดการผลิตก๊าซมีเทนในกระเพาะรูเมนคือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารด้วยเช่นกัน (Johnson and Johnson, 1995)

ก่อนหน้านี้ไม่พบงานวิจัยเกี่ยวกับการเสริมมันสำปะหลังที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ในแพะนมพันธุ์ผสมช่วงให้ผลผลิตที่ได้รับหญ้าแห้งแพงโกลาเป็นอาหารพื้นฐาน สมมติฐานงานวิจัย คือ การเสริมมันสำปะหลังเส้นที่เป็นแหล่งพลังงาน และคาร์โบไฮเดรตกลุ่ม NSC จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ปรับปรุงการหมักในกระเพาะรูเมนและสมดุลพลังงาน เพิ่มผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม และลดการผลิตก๊าซมีเทนด้วยวิธี In vitro gas production technique (IVGPT)

จุดประสงค์ของงานวิจัยงานนี้คือศึกษาผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร การหมักในกระเพาะรูเมน เมทาโบไลท์ของเลือด ผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม และการผลิตก๊าซมีเทนด้วยวิธี IVGPT

บทที่ 2
เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แพะนมช่วงให้น้ำนม

การเลี้ยงแพะนมให้ได้ผลผลิตสูงสุด มีหลากหลายปัจจัยเกี่ยวข้อง เช่น สายพันธุ์ การจัดการ และอาหาร ซึ่งแพะนมที่อยู่ในช่วงการให้ผลผลิตน้ำนมต้องการการดูแลเป็นอย่างดี เนื่องจากช่วงหลังคลอด แพะนมจะมีการสูญเสียพลังงาน ส่งผลทำให้กระบวนการเผาผลาญอาหารเพิ่มสูงขึ้น และจะมีการนำสารอาหารและพลังงาน ประมาณ 70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (Sormunen-Cristian and Jauhiainen, 2001) มาฟื้นฟูร่างกายหลังจากที่สูญเสียไปในช่วงตั้งท้อง ช่วงคลอด และใช้ในการผลิตน้ำนม เป็นสาเหตุของการเกิดสมดุลทางพลังงานติดลบ (negative energy balance, NEB)

นอกจากการเกิดสมดุลทางพลังงานติดลบแล้ว พบว่าความเครียดที่เกิดขึ้นในช่วงสูญเสียพลังงาน ทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency) และปริมาณการกินได้ (feed intake) ลดต่ำลงด้วยเช่นกัน และปัญหาที่พบบ่อยในช่วงแพะตั้งท้องคือ pregnancy toxaemia เป็นความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นในช่วงตั้งท้อง สาเหตุมาจากการขาดพลังงาน เนื่องจากได้รับสารอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตไม่เพียงพอ สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการเพิ่มระดับคาร์โบไฮเดรตเข้าไปในอาหาร ซึ่งจะเป็นการเสริมกระบวนการ gluconeogenesis และลดการสร้าง ketone body ที่เป็นต้นเหตุของ pregnancy toxanemia (West, 1996) ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียต่อผลผลิตน้ำนม การเจริญเติบโต วงรอบการเป็นสัดที่จะผสมได้ช้าออกไป (Mourtis et al., 2000) การวินิจฉัยสภาพการขาดพลังงานในแพะนม มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว เมทาโบไลท์ของเลือด การเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมน (Bauman and Currie, 1980) หรือการวัดสถานะพลังงาน จากพลังงานที่ได้รับลบด้วยพลังงานที่ต้องการ (energy status = energy intake – energy requirement) (Rukkwamsuk et al., 1999)

Russel และ Wright (1983) รายงานว่าช่วงเวลาการให้ผลผลิตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความต้องการของพลังงาน สอดคล้องกับ Singh และ Ludri (2002) รายงานว่าเมื่อแพะนมผ่านช่วงให้การผลผลิตสูงสุดมาแล้ว (peak of lactation) ความต้องการด้านพลังงานจะลดลงตามระดับผลผลิตที่ลดลง ซึ่งระดับ non-esterified fatty acid (NEFA) ที่เป็นตัวแทนของพลังงานทดแทนเมื่อร่างกายขาดพลังงานจะลดลงประมาณ 3 ถึง 4 เท่าจากช่วงให้ผลผลิตสูงสุด

2.2 การสังเคราะห์น้ำนม

น้ำนมจากแพะนม ได้มาจากการสังเคราะห์สารอาหารที่ลำเลียงผ่านทางเลือด เช่น กลูโคส กรดอะมิโน และ กรดไขมัน โดยอัลวิโอไล (alveoli) เป็นกลุ่มเนื้อเยื่อทำหน้าที่ในการสร้างน้ำนม และเซลล์ที่ทำการสังเคราะห์น้ำนมคือ secretory cell เป็นเนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยเซลล์เพียงชั้นเดียวมีลักษณะคล้ายลูกโป่ง มีช่องว่างอยู่ภายใน เซลล์เหล่านี้ทำหน้าที่ 3 ประการ คือ นำสารอาหารออกจากเลือด เปลี่ยนสารอาหารเหล่านี้ไปเป็นน้ำนม และ เก็บน้ำนมที่ผลิตได้ไว้ในช่องว่าง กลุ่มเนื้อเยื่อสร้างน้ำนมนี้ จะถูกล้อมรอบด้วยเส้นเลือดฝอยที่นำสารอาหารมาให้

น้ำนมประกอบไปด้วยน้ำ ถือเป็นส่วนประกอบหลักที่มีอยู่มากถึง 87 เปอร์เซ็นต์ และส่วนประกอบอื่นที่ละลายได้ในน้ำได้ เช่น น้ำตาลแลคโตส วิตามิน เกลือแร่ และโปรตีน ส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำ คือ ไขมัน ซึ่งปริมาณน้ำนม (milk yield) และองค์ประกอบในน้ำนม (milk composition) จะมีสายพันธุ์เป็นปัจจัยควบคุมส่วนหนึ่ง แต่ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม คืออาหารที่สัตว์ได้รับ ซึ่ง Powell (1938) พบว่าการเสริมอาหารหยาบสามารถเพิ่มการสังเคราะห์องค์ประกอบไขมันในน้ำนมได้ ทำนองเดียวกันเมื่อระดับอาหารหยาบลดลง จะทำให้องค์ประกอบไขมันในน้ำนมลดลงเช่นกัน (Journet and Chilliard 1985) และการลดลงของอาหารหยาบ อาจเป็นการเพิ่มองค์ประกอบโปรตีนในน้ำนมด้วยเช่นกัน (Gordon and Forbes 1971) เพราะองค์ประกอบของโปรตีนในน้ำนมจะเพิ่มขึ้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสัดส่วนของ R:C (roughage:concentrate ratio) ลดลงจาก 40:60 ไปเป็น 10:90 ด้วยการเพิ่มข้าวโพด (ground corn) เข้าไปในสูตรอาหาร (Sutton 1980) ส่วนด้านปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบแลคโตสในน้ำนม พบว่าการเสริมคาร์โบไฮเดรตในอาหาร จะส่งผลทำให้ระดับแลคโตสในน้ำนมสูงขึ้น (Sutton et al., 1985) และส่งผลทำให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน (Bines et al., 1978)

ความสัมพันธ์ของอาหารที่สัตว์ได้รับต่อองค์ประกอบน้ำนมเป็นเพียงสารตั้งต้น เพราะอาหารเหล่านั้นจะถูกหมักในกระเพาะรูเมนโดยจุลินทรีย์ ผลผลิตที่ได้คือกรดไขมันระเหยง่าย และจะถูกดูดซึมผ่านกระเพาะรูเมน ซึ่งการหมักในกระเพาะรูเมนเป็นปัจจัยควบคุมผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม โดยกรดอะซิติกสามารถเพิ่มองค์ประกอบไขมันในน้ำนมได้ (Powell, 1938) เช่นเดียวกับกรดบิวทิริกที่สามารถเพิ่มองค์ประกอบไขมันในน้ำนมได้เช่นกัน ส่วนกรดโพรพิโอนิกมีบทบาทในการเพิ่มผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบแลคโตส (Dijkstra et al., 1994) ส่วนระดับโปรตีนในน้ำนมพบว่าจะมีผลมาจากระดับกรดอะมิโน และโปรตีนไหลผ่าน (by-pass protein) ในอาหาร (Chalupa and Sniffen, 2000)

2.3 การหมักในกระเพาะรูเมน

สัตว์เคี้ยวเอื้อง (ruminant) จะมีกระเพาะรูเมน ทำหน้าที่กักเก็บอาหารเป็นส่วนแรก เพื่อให้อาหารถูกทำการหมักโดยจุลินทรีย์ ผลผลิตหลักที่ได้คือเป็นกรดไขมันระเหยง่าย ประกอบด้วย กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก ซึ่งกรดไขมันระเหยง่ายจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน (rumen wall) เพื่อเมทาโบไลท์ต่อไป ซึ่งภายในกระเพาะรูเมนมีจุลินทรีย์หลากหลายประเภททำหน้าที่แตกต่างกันไป สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลักคือ

1. แบคทีเรีย (bacteria) เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่มีประชากรมากที่สุด โดยพบว่า 30 เปอร์เซ็นต์จะอยู่ในส่วนของเหลวในกระเพาะรูเมน และอีก 70 เปอร์เซ็นต์จะเกาะติดอยู่กับอนุภาคของอาหารในกระเพาะรูเมน อีกทั้งยังมีที่เกาะอยู่ตามผนังกระเพาะรูเมน และที่อยู่อาศัยแบบร่วมกัน (mutualism) กับโพรโทซัว โดยเฉพาะจุลินทรีย์กลุ่ม methanogenic bacteria

2. โพรโทซัว (protozoa) สามารถจำแนกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ flagellated protozoa ที่มีประชากรไม่มาก และ ciliated protozoa ที่มีจำนวนประชากรมากกว่า และทำหน้าที่หมักได้สูงกว่าโพรโทซัวประเภทแรก ซึ่งมีอยู่ 2 กลุ่มด้วยกัน คือกลุ่ม holotrich เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถหมักได้ทั้งอาหารกลุ่มเยื่อใยและแป้ง และกลุ่ม oligotrich เป็นจุลินทรีย์กลุ่มหมักแป้งเป็นหลัก (Hristov et al., 2001)

3. เชื้อรา (fungi) เป็นจุลินทรีย์กลุ่มแรกที่จะเข้าไปจับเกาะติดอยู่กับอนุภาคอาหาร เพื่อช่วยให้แบคทีเรียเข้าไปย่อยได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้เชื้อรามีเอนไซม์ที่ใช้ย่อยเฮมิเซลลูโลสและลิกนินในรูป hemicellulose-lignin-complex ที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนและจุลินทรีย์กลุ่มอื่นไม่สามารถย่อยได้ ทำให้ได้ส่วนของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกมา เอนไซม์จากเชื้อรามีบทบาทในการช่วยย่อยสลายเยื่อใยของพืชที่สำคัญ เช่น เอนไซม์โพลิแซคคาริเดส เอนไซม์ไกลโคซิเดส เอนไซม์เซลลูเลส เอนไซม์เฮมิเซลลูเลส และเอนไซม์เพคตินเนส ซึ่งต่างก็มีบทบาทสำคัญในการเข้าย่อยสลายเนื้อเยื่อของพืช โดยเฉพาะเอนไซม์เซลลูเลสที่ปลดปล่อยจากเชื้อราจะเป็นเอนไซม์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายส่วนของ crystal cellulose ที่พบมากอยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อที่เป็นโครงสร้างของพืช และจะทำให้จุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียสามารถเข้าจับกับอาหารเพื่อทำการหมักได้มากขึ้น

2.4 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในกระเพาะรูเมน

การหมักที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนจากจุลินทรีย์หลากหลายประเภท ซึ่งส่งผลต่อผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่แตกต่างกัน นอกจากจะได้กรดไขมันระเหยง่ายแล้ว พบว่ามีก๊าซเกิดขึ้นจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนเช่นกัน ซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์แบบสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobe fermentation) ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งสัตว์เคี้ยวเอื้องทุกชนิดมีวิธีการขับก๊าซออกมาที่เหมือนกัน โดยก๊าซเหล่านี้จะถูกขับออกผ่านการเรอ (eructation) และการผายลม (fart)

ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์กลุ่ม methanogenic bacteria ที่สามารถใช้ประโยชน์จากไฮโดรเจน ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ ในการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งจะเรียกกระบวนการนี้ว่า methanogenesis การได้มาซึ่ง H^+ เกิดจากการถ่ายโอน H^+ ระหว่าง methanogenic bacteria กับโพรโทซัว โดยพบว่า methanogenic bacteria จะมีความสัมพันธ์กับโพรโทซัวแบบพึ่งพาอาศัย โดยสามารถใช้ประโยชน์จาก H^+ ที่เกิดจากการหมักของโพรโทซัว เพื่อการดำรงชีวิต จึงเรียกความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ 2 กลุ่มนี้ว่า “interspecies hydrogen transfer” และเรียก methanogenic bacteria เป็นจุลินทรีย์กลุ่ม H_2 utilizing bacteria (Moss et al., 2000) ซึ่งโพรโทซัวในกระเพาะรูเมนมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น *Entodinium* spp. *Epidinium* spp. *Isotricha* spp. *Dasytricha* spp. และ *Eudiplodinium* spp. เป็นต้น ซึ่ง Hristov และคณะ (2001) รายงานว่าโพรโทซัวกลุ่ม *Entodinium* spp. มีความสามารถในการหมักสารอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตได้สูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ สอดคล้องกับการรายงานของ Franzolin และ Dehority (1996) ที่พบว่าการเสริมอาหารข้นมีความสัมพันธ์ด้านบวกกับประชากรโพรโทซัวกลุ่ม *Entodinium* spp. และ *Epidinium* spp. ที่เพิ่มสูงขึ้น

นอกจากนี้พบว่ากระบวนการ methanogenesis สามารถนำสารกลุ่ม อะซิเตทและ ฟอร์เมท มาเป็นสารตั้งต้นเพื่อใช้ผลิตเป็นก๊าซมีเทนได้เช่นกัน (Machmuller et al., 2003) ทำนองเดียวกันกับการรายงานของ Wagman และคณะ (1968) ที่พบว่ามีสารตั้งต้นอีกหลายชนิด ที่สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตก๊าซมีเทน แสดงไว้ในตารางที่ 1 นอกจากนี้ยังพบว่าสารประกอบ methyl group ก็สามารถเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการ methanogenesis ได้เช่นกัน (Liu and Whitman 2008)

ตารางที่ 1 สารตั้งต้นในที่ใช้ในกระบวนการการผลิตก๊าซมีเทน

กระบวนการการเกิดก๊าซ CH_4 ในกระเพาะรูเมน	พลังงานที่ใช้ (kcal/mol of reaction)
$4H_2 + HCO_3^- + H^+ \longrightarrow CH_4 + 3H_2O$	-32.7
$4HCO_2^- + 4H^+ \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$	-34.7
$4CH_3OH \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$	-76.4
$CH_3COO^- + H^+ \longrightarrow CH_4 + CO_2$	-8.6

ที่มา : Wagman และคณะ (1968)

2.5 วิธี in vitro gas production technique

วิธี IVGPT เป็นการจำลองระบบนิเวศภายในกระเพาะรูเมน ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถควบคุมปัจจัยภายนอกต่าง ๆ ได้ เช่น ปริมาณอาหารที่ใช้ในการหมัก หรือระยะเวลาการหมัก (Cone et al., 1997) ผลที่ได้จากวิธี IVGPT สามารถวัดได้จากหลายพารามิเตอร์ เช่น วัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และสามารถนำปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมาวิเคราะห์หาค่า ME (metabolizable energy) และค่า NEL (net energy for lactation) ได้เช่นกัน (Menke and Steingass, 1988) หรือวัดอัตราการสลายตัวของสารอาหาร (nutrient disappearance) (Chanjula et al., 2003) นอกจากนี้ยังสามารถวัดอัตราการหมักของจุลินทรีย์ (Getachew et al., 1997) เพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการอธิบายองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร (Cherney, 2000)

ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นตัวชี้วัดที่ดี ในการใช้ประเมินค่าพลังงานในอาหาร และค่าความสามารถในการย่อยได้ของอาหาร ซึ่งพบว่า 2 ปัจจัยข้างต้นนั้นมีความสัมพันธ์กัน สอดคล้องกับการรายงานของ Chompawadee และคณะ (2007) พบว่าอาหารที่มีค่า IVDMD (in vitro dry matter digestibility) และ IVOMD (in vitro organic matter digestibility) ที่สูง ได้แก่ มันสำปะหลังเส้น อยู่ที่ 58.50 และ 65.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรือข้าวโพด อยู่ที่ 66.40 และ 64.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะมีค่าปริมาณก๊าซรวมที่สูงขึ้นเช่นกัน โดยมันสำปะหลังเส้นและข้าวโพดสามารถผลิตก๊าซที่เวลา 24 ชั่วโมงได้ถึง 94.50 และ 60.23 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับอาหารกลุ่มที่มีค่า IVDMD และ IVOMD ที่ต่ำ เช่น เปลือกถั่วอยู่ที่ 5.25 และ 7.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าสามารผลิตก๊าซที่เวลา 24 ชั่วโมงได้เพียง 22.60 มิลลิลิตร ทำนองเดียวกัน Pilajun และ Wanapat (2014) ที่ศึกษาระดับ R:C ในสูตรอาหาร ได้แก่ที่ระดับ 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 พบว่าการที่สูตรอาหารมีระดับของอาหารข้นเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลต่อผลผลิตก๊าซรวมที่สูงขึ้น โดยพบว่าปริมาณก๊าซรวมของอาหารสูตร 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 อยู่ที่ 48.3 57.6 60.2 และ 62.7 มิลลิลิตร ตามลำดับ

2.6 อาหารข้นในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

อาหารข้น (concentrate diet) เป็นอาหารที่มีความสำคัญในสัตว์ช่วงให้ผลผลิต จึงจำเป็นต้องมีระดับโปรตีนและพลังงานที่เพียงพอ ต่อการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตน้ำนม แต่การเสริมอาหารข้นในสัตว์เคี้ยวเอื้อง จำเป็นจะต้องคำนึงถึงระดับที่เสริม เพราะอาจส่งผลเสียต่อระบบทางเดินอาหารให้ทำงานผิดปกติ เช่นสภาวะเป็นกรดในกระเพาะรูเมน (sub acute rumen acidosis; SARA) โดย Keunen และคณะ (2002) ได้รายงานว่า SARA จะมีเปอร์เซ็นต์อุบัติการณ์เกิดขึ้นกับโคช่วงต้นการให้นม (early lactation) ที่ 19 เปอร์เซ็นต์ และเกิดขึ้นกับโคช่วงกลางการให้นม (mid lactation) ที่ 26 เปอร์เซ็นต์ การเกิด SARA พบว่าจะส่งผลกระทบต่อค่าการกินได้ที่ลดลง (depression feed intake) ท้องเสีย (diarrhea) ไข้ลงกีบ (laminitis) เกิดการอักเสบ (inflammatory) และความเสียหายที่สำคัญคือคุณภาพและปริมาณของน้ำนมที่ลดลง (Beauchemin et al., 2003; Kleen et al., 2003; Gozho et al., 2005) ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลักคือการให้อาหารข้นระดับสูง (Yang and Beauchemin, 2006) ซึ่ง Plaizier และคณะ (2008) รายงานว่าการการหมักอาหารข้นของจุลินทรีย์ทำให้เกิดกรด ส่งผลต่อ pH ในกระเพาะรูเมนเป็นกรด และเมื่อมีอาหารข้นที่ได้รับเกินความต้องการจะส่งผลทำให้ pH ในกระเพาะรูเมนเป็นกรดสูง ซึ่งจะส่งผลต่อจุลินทรีย์กลุ่ม amylolytic bacteria กลุ่ม proteolytic bacteria และกลุ่ม cellulolytic bacteria ที่ลดน้อยลง (Wanapat and Khampa, 2007) เพราะระบบนิเวศน์ในกระเพาะรูเมนไม่เหมาะสมต่อการหมักอาหาร แต่จะมีจุลินทรีย์กลุ่ม *Lactobacillus* spp. ที่ผลิตกรดแลคติกได้ในสภาวะเป็นกรดในกระเพาะรูเมน ซึ่งโน้มนำให้เกิด SARA นอกจากนี้พบว่าการเสริมอาหารข้นอาจส่งผลทำให้สัตว์กินอาหารหยาบลดลง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า substitution effect เนื่องจากถ้าสัตว์สามารถเลือกกินอาหารได้อย่างอิสระ สัตว์จะเลือกกินอาหารข้นเป็นอันดับแรก ถ้าไม่มีการจำกัดปริมาณอาหารข้น อาจเป็นสาเหตุของการเกิด SARA ซึ่งจากงานวิจัยของ Phengvichith และ Ledin (2007) ทำการทดลองในแพะช่วงเจริญเติบโต โดยเสริมมันสำปะหลังเส้นประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่าไม่ก่อให้เกิด substitution effect ต่างกับการรายงานของ Chaokaur และคณะ (2012) พบว่าแพะแองโกล นูเบียนช่วงเจริญเติบโต และมีการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวไม่ส่งผลต่อการเกิด substitution effect แต่เมื่อเสริมที่ระดับ 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวจะส่งผลต่อการเกิด substitution effect

2.7 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* (L.) Crantz) เป็นอาหารแหล่งพลังงานลำดับที่ 4 ของพืชอาหารในเขตร้อน รองจากข้าว น้ำตาล และข้าวโพดตามลำดับ และเป็นพืชปีเดียว (annual crop) ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่เขตร้อนชื้น หรือจะเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ จึงเป็นที่นิยมของผู้ผลิตหรือเกษตรกรที่จะใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารแหล่งพลังงานให้กับสัตว์

ต้นมันสำปะหลัง ประกอบไปด้วยส่วนที่เรียกว่า ใบ ลำต้น และราก ซึ่งสามารถนำมาใช้ประกอบสูตรอาหารสัตว์ ส่วนของใบจะถูกเก็บเกี่ยวพร้อมกับราก และผ่านกระบวนการทางอุตสาหกรรมเพื่อไปทำใบมันสำปะหลังแห้ง เป็นการลด condensed tannin และเป็นการเพิ่มระดับโปรตีนในมันสำปะหลังได้ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง (Wanapat, 1995)

ส่วนของราก หรือที่เรียกว่าหัวมันสำปะหลัง จะนำมาผ่านกระบวนการทางอุตสาหกรรมการแปรรูป เพื่อนำมาใช้ประกอบเป็นอาหารสัตว์ ขั้นตอนหลักในการแปรรูปมันสำปะหลังคือการปอกเปลือก การนำไปตากแดด และนำมาบดให้หัวมันสำปะหลังมีขนาดเหมาะสมในการนำมาใช้ประกอบสูตรอาหารสัตว์ จะได้เป็นมันสำปะหลังเส้น

วัตถุประสงค์ของการนำมันสำปะหลังเส้นมาสริมในสูตรอาหาร เพื่อเป็นแหล่งพลังงานคาร์โบไฮเดรต และแหล่งคาร์บอน เพื่อใช้สังเคราะห์ microbial protein ได้ (Wanapat et al., 1999) และกว่า 70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ของมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรตกลุ่มที่ไม่ได้เป็นโครงสร้างของพืช ซึ่ง NSC มีอัตราการหมักในกระเพาะรูเมนได้สูง สอดคล้องกับการรายงานของ Chanjula และคณะ (2003) ที่พบว่ามันสำปะหลังเส้นมีค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุอยู่ที่ 92.5 และ 93.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสูงที่สุดเมื่อเทียบกับพืชอาหารสัตว์เขตร้อนชนิดอื่นๆ ได้แก่ หัวมันฝรั่ง รำข้าว และ ข้าวโพด

องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลังเส้นจากหลาย ๆ งานวิจัย แสดงไว้ในตารางที่ 2 จะพบว่ามันสำปะหลังเส้นมีระดับโปรตีนที่ต่ำ อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของแพะนม อย่างไรก็ดี Antai และ Mbongo (1994) รายงานว่าในมันสำปะหลังเส้นมี NSC ระดับสูง ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและใช้สังเคราะห์ microbial protein ซึ่งในการสังเคราะห์ microbial protein ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง นอกจากการใช้แหล่งไนโตรเจนจาก เพปไทด์ และกรดอะมิโนจาก true protein (TP) ยังสามารถใช้ไนโตรเจนได้จาก ammonia (NH_3) ที่จัดเป็น non-protein nitrogen (NPN) ได้ (Bach et al., 2004)

2.8 สารอาหารที่สำคัญในมันสำปะหลังเส้น

สารอาหารที่สำคัญในมันสำปะหลังเส้นคือ NSC ประกอบไปด้วย น้ำตาล แป้ง เพคทิน ฟรุคแทน และกาแลคแทน (Van soest et al., 1991) ซึ่ง NSC มีอัตราการหมักในกระเพาะรูเมนได้สูง จุลินทรีย์จึงใช้พลังงานต่ำในการหมัก NSC และทำให้มีพลังงานเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Hoover and Stoke, 1991) ส่วนคาร์โบไฮเดรตอีกประเภทเป็นโครงสร้างของพืช ได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส จะพบได้ต่ำมากในมันสำปะหลังเส้น ซึ่ง SC นั้นเป็นคาร์โบไฮเดรตกลุ่มที่ไม่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์ในตัวสัตว์ แต่บางส่วนจะสามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

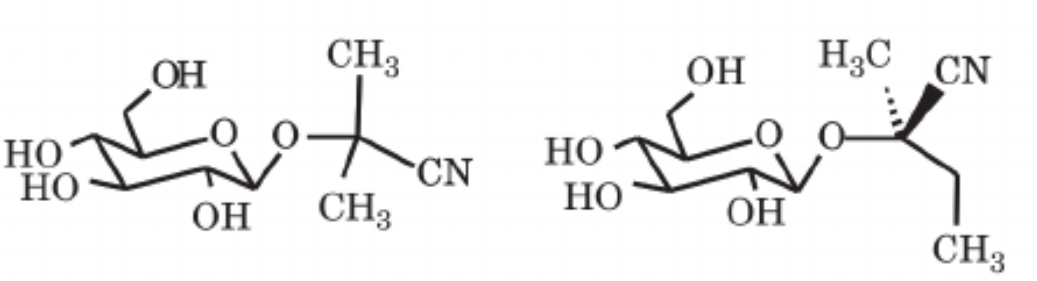
การจำแนกประเภทของคาร์โบไฮเดรต ออกเป็น SC และ NSC เป็นการจำแนกตามวิธีของ The Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) (Russell et al., 1992) เพื่อใช้อธิบายกลไกการทำงานของจุลินทรีย์ 2 ประเภท ได้แก่ amylolytic bacteria และ cellulolytic bacteria ซึ่ง amylolytic bacteria เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่หมักสารอาหารกลุ่ม NSC ซึ่งแป้งในกลุ่มนี้หากมีการเกิด gelatinizing หรือการพองตัวของแป้ง จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ได้ง่ายขึ้น (Horadagoda et al., 2008) กรดไขมันระเหยง่ายที่จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถผลิตได้คือ กรดโพรพิโอนิก และกรดแลกติก ส่วนจุลินทรีย์กลุ่ม cellulolytic bacteria จะหมักอาหารกลุ่ม SC กรดไขมันระเหยง่ายที่จุลินทรีย์กลุ่มนี้ผลิตได้คือ กรดอะซิติก และกรดบิวทิริก

2.9 สารพิษของมันสำปะหลังเส้น

หัวมันสำปะหลัง (cassava root) จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการทางอุตสาหกรรมการแปรรูปเพื่อให้ได้มันสำปะหลังเส้น และนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ ซึ่งขั้นตอนการทำลายสารพิษกรดไฮโดรไซยานิก (hydrocyanic acid, HCN) จะสามารถทำได้โดยการนำมันสำปะหลังเส้นไปตากแดดประมาณ 6 วัน ซึ่งจะสามารถกำจัด HCN ได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ (Wanapat et al., 1999) อย่างไรก็ดี Koch และคณะ (1992) พบว่าสารตั้งต้นของ HCN คือ cyanogenic glycosides (CNG) และถูกสังเคราะห์ขึ้นมาจาก linamarin และ lotaustralin ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งระดับของ CNG ในอาหาร ถูกแบ่งระดับออกเป็น 2 ระดับด้วยกันคือ ระดับที่ต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร และระดับที่สูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ซึ่งจัดเป็น lethal dose (Hahn and Keyser, 1985) ซึ่งพบว่าในหัวมันสำปะหลังจะมี CNG อยู่ที่ 25 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร และในใบมันสำปะหลังพบที่ 50 ถึง 1300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (Cardoso et al., 2005) ซึ่งสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับ CNG ในระดับต่ำหรือประมาณ 50 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร จะเกิดให้เกิด acute toxicity (Teles, 2002) แต่ถ้าได้รับในระดับสูงเกินกว่านี้จะส่งผลต่อระบบประสาท ทางเดินหายใจล้มเหลว และสภาวะ

หัวใจหยุดเต้นได้ (D'Mello, 2000) ซึ่ง Kumar (1991) รายงานว่าระดับของ CNG ที่จัดเป็น lethal dose ในโคและแพะอยู่ที่ 3 ถึง 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ดังนั้นทางสมาคม WHO (world health organize) จึงได้ระบุระดับ CNG ที่ปลอดภัยในอาหารควรอยู่ที่ระดับ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (FAO/WHO, 1991)

(a) (b)



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของ (a) Linamarin และ (b) Lotaustralin
ที่มา Halkier และคณะ (1998)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลังเส้น (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)

	Suksombat และคณะ (2006)	Khampa และ Wanapat (2007)	Phengvichith และ Ledin (2007)	Chumpawadee และคณะ (2007)	Nitipot และคณะ (2009)	Polyorach และคณะ (2012)
วัตถุแห้ง	89.7	90.1	91.7	91.90	86.17	90
อินทรียวัตถุ	94.3	96.2	*	97.03	96.98	97.3
โปรตีน	3.4	2.9	2.8	1.63	2.32	2.4
ไขมัน	2.7	*	*	*	0.22	*
เถ้า	5.7	3.7	3.0	2.97	*	*
NDF	19.2	7.0	5.3	12.30	14.34	10.0
ADF	6.0	6.2	2.6	4.91	7.04	5.0
NSC	66	*	*	*	*	*
ME (Mcal/kg DM)	2.40	*	2.98	*	2.8	*

* ไม่ได้มีการวิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.10 ผลการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการเติบโต การกินได้ การย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ไนโตรเจน

จากงานวิจัยของ Moore และ Cock (1985) พบว่าการเสริมมันสำปะหลังเส้น ที่ระดับ 0.5 กิโลกรัมในลูกโคพันธุ์ซีบู อายุ 5 เดือน ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ค่าประสิทธิภาพการใช้อาหาร และค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ที่ดีขึ้น ($p<0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Holzer และคณะ (1997) ที่ทำการทดลองในโคขุน โดยกลุ่มที่ 1 มีการเสริมมันสำปะหลังกับหญ้าเว็ทช์แห้ง (vetch hay) สัดส่วน 50:50 รวม 2.8 กิโลกรัม เทียบกับกลุ่มที่ 2 การให้หญ้าเว็ทช์แห้ง 100 เปอร์เซ็นต์ 2.2 กิโลกรัม จากผลการทดลองพบว่าอาหารกลุ่มที่ 1 จะส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง ของอินทรียวัตถุ ค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และค่า nitrogen retention ที่เพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับอาหารกลุ่มที่ 2 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Wanapat และ Khampa (2007) ที่ทำการทดลองในโคเนื้อ โดยศึกษาผลการเสริมอาหารข้นที่ระดับ 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว โดยในอาหารข้นนั้นมีส่วนประกอบของมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จะส่งผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน และค่า nitrogen retention ที่เพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$)

ส่วนด้านงานวิจัยในแพะโดย Phengvichith และ Ledin (2007) ที่ศึกษาในแพะช่วงเจริญเติบโต และมีการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่าส่งผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต ค่าปริมาณการกินได้รวม ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน และค่า nitrogen retention เพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) และไม่พบ substitution effect อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ Chaokaur และคณะ(2012) ในแพะพันธุ์แองโกล นูเบียนเพศผู้ อายุ 6-12 เดือน และทำการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ 0 0.5 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่าการเสริมมันสำปะหลังเส้นไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต เพราะเกิดสภาวะ substitution effect ทำให้ปริมาณการกินได้รวม ไม่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p>0.05$)

Tan และคณะ (2002) พบว่าระดับ NSC ที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหาร ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ที่เพิ่มขึ้น เพราะ NSC มีอัตราการหมักและอัตราการไหลผ่านในกระเพาะรูเมนได้สูง ส่งผลทำให้สัตว์กิน NSC ได้ในปริมาณมาก ทำนองเดียวกัน Hoover และ Stoke (1991) รายงานว่าอัตราการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมนจะเป็นตัวบ่งบอกถึงระดับพลังงานที่สามารถใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2.11 ผลการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการหมักในกระเพาะรูเมน

Wanapat และ Khampa (2007) ศึกษาผลการเสริมอาหารข้นในโคเนื้อ ที่ระดับ 0 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว โดยมีมันสำปะหลังเส้นเป็นส่วนประกอบในอาหารข้น 80 เปอร์เซ็นต์ จากผลงานวิจัยพบว่าระดับที่เหมาะสมในการเสริมอาหารข้นอยู่ที่ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เพราะจะส่งผลทำให้ ruminal content มีค่า pH อยู่ที่ช่วง 6.3 ถึง 6.6 ค่า NH_3-N อยู่ที่ช่วง 15.4 ถึง 16.1 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ค่ากรดไขมันระเหยง่ายรวมเพิ่มสูงขึ้น ค่า A:P ratio อยู่ที่ช่วง 2.6 ถึง 3.1 และจำนวนประชากรจุลินทรีย์กลุ่ม amylolytic bacteria และโพรโทซัวเพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้มีการเสริมอาหารข้น

Erdman (1988) รายงานว่าค่า pH ที่ลดต่ำลงกว่า 6.3 ในโคนมจะส่งผลต่อค่าการย่อยได้ของ ADF ที่ลดลง 3.6 เปอร์เซ็นต์ ต่อ pH ที่ลดลง 0.1 หน่วย และจะส่งผลต่อการกินได้ของสัตว์ที่ลดลง ในทำนองเดียวกัน Melaku และคณะ (2004) รายงานว่าระดับของ pH ที่ต่ำกว่า 6.1 จะทำให้การทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม cellulolytic bacteria มีประสิทธิภาพการหมักที่ลดลง ส่วนระดับ NSC ในอาหารที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้จุลินทรีย์ได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการนำ NH_3-N ไปสังเคราะห์ microbial protein (Aregheore and Perera, 2004) ระดับค่า NH_3-N ที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 15 ถึง 30 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร เพราะเป็นการบ่งบอกถึงสภาพนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน การสังเคราะห์ microbial protein การกินได้และการย่อยได้ของสารอาหาร (Wanapat and Pimpa, 1999) ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า NH_3-N และค่า BUN ที่ลดลง มาจากการเสริมระดับของ NSC ในอาหารที่เพิ่มสูงขึ้น และเปอร์เซ็นต์ค่าการย่อยได้ของแป้งเพิ่มสูงขึ้น (MacGregor et al., 1983) เพราะเมื่อจุลินทรีย์ทำการย่อยแป้งจะทำให้ได้พลังงาน และพร้อมที่จะใช้ NH_3-N ไปสังเคราะห์ microbial protein ได้ ส่วนด้านการหมักในกระเพาะรูเมนพบว่าระดับของ NSC ที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ระดับกรดโพรพิโอนิกเพิ่มสูงขึ้น เพราะ NSC เป็นสารอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีความสามารถในการถูกหมักในกระเพาะรูเมนสูง และจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำการหมักจะเป็นกลุ่ม amylolytic bacteria และโพรโทซัว ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Jouaney และ Ushida (1999) ที่พบว่าประชากรของโพรโทซัวใน ruminal fluid จะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับน้ำตาลและแป้งที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน เพราะโพรโทซัวจะหมักอาหารกลุ่มแป้งได้ดี และโพรโทซัวสามารถปรับระดับ pH ให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการเกิดสภาวะ SARA ได้ (McAllister et al., 1994)

2.12 ผลการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการผลิตและองค์ประกอบน้ำนม

มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของมันสำปะหลังเส้นต่อการผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนมอยู่น้อย แต่พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Sommart และคณะ (2000) ที่ศึกษาในโคนม โดยทำการแทนที่

ข้าวโพดด้วยมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ให้เป็นอาหารกลุ่มที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ ผลงานวิจัยพบว่าการเสริมมันเส้นที่ 100 เปอร์เซ็นต์ อาจไม่ใช่ตัวเลือกที่ดีที่สุด เพราะการใช้อาหารกลุ่มที่ 2 และอาหารกลุ่มที่ 3 ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนม ระดับแลคโตส และระดับโปรตีนในน้ำนม ที่สูงกว่าอาหารกลุ่มที่ 4 ($p<0.05$) ส่วนด้านต้นทุนการผลิตพบว่าการใช้อาหารกลุ่มที่ 4 จะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า การแทนที่ของมันสำปะหลังเส้นที่เพิ่มสูงขึ้นจะมีผลต่อต้นทุนราคาอาหารสัตว์ที่ลดต่ำลง อย่างไรก็ดี Kanjanapruthipong และคณะ (2000) ที่ทำการศึกษาในโคนม และมีการให้อาหารงานวิจัยเป็นแบบ TMR (total mixed ration) โดยอาหารกลุ่มที่ 1 ใช้ข้าวโพด 40 เปอร์เซ็นต์ และอาหารกลุ่มที่ 2 ใช้มันสำปะหลังเส้น 40 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสูตร TMR ผลของการศึกษาพบว่าอาหารทั้ง 2 สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในด้านของผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม แต่พบว่าต้นทุนการผลิตของ อาหารกลุ่มที่ 2 ต่ำกว่าอาหารกลุ่มที่ 1 นอกจากนี้ Chanjula และคณะ (2004) ที่ทำงานวิจัยในโคนม โดยศึกษาอาหารข้น 2 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด และมันสำปะหลังเส้น พบว่าอาหารข้นทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่ได้ส่งผลที่แตกต่างกันต่อปริมาณและองค์ประกอบในน้ำนม โดยการเสริมมันสำปะหลังเส้นในอาหารข้นที่ระดับ 55 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากระดับที่เสริมอาจไม่แตกต่างกันมากพอ ที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์

2.13 ผลการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อระดับพลังงานและการเมทาโบไลท์ของเลือด

การตรวจวัดข้อมูลทางโลหิตวิทยาสามารถบอกค่าสถานะพลังงาน ได้แก่ค่ากลูโคส ค่า NEFA ค่าไตรกลีเซอร์ไรด์ และค่า BHBA (beta-hydroxyburyric acid) (Fernandez et al., 2007) การเสริมแหล่งพลังงานเข้าไปในอาหาร จะเป็นการเพิ่มพลังงานที่ได้รับ ซึ่ง Jetana และคณะ (2011) พบว่าค่าพลังงานในอาหารที่เพิ่มสูงขึ้น สามารถช่วยลดระดับ NEFA และ BHBA ในเลือดได้ ($p<0.05$) โดยสารทั้งสองสามารถใช้บ่งชี้ระดับพลังงาน และจะลดลงเมื่อสัตว์อยู่ในสภาวะไม่ขาดพลังงาน เพราะไม่ต้องมีการสลายไขมันที่ถูกกักเก็บ (fat mobilization) มาใช้ในยามขาดแคลน ซึ่ง Rezaeisaber และคณะ (2013) พบว่าค่า BHBA มีความสัมพันธ์กับค่า NEFA ในทางบวก ($r^2=0.68$) การเกิด NEB สามารถป้องกันได้โดยการให้อาหารพลังงาน เพื่อเพิ่มระดับพลังงานที่สัตว์ได้รับ ให้เพียงพอต่อระดับพลังงานที่สัตว์ต้องการ

การใช้มันสำปะหลังเส้นเป็นแหล่งพลังงานและคาร์โบไฮเดรต คาดว่าจะเพิ่มระดับพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการได้ ก่อนหน้านี้งานวิจัยของ Holzer และคณะ (1997) พบว่าการแทนที่อาหารหยาบด้วยมันสำปะหลังที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารโคขุน สามารถลดระดับ BHBA

($p<0.05$) ในเลือดได้ และจากงานศึกษาของ Sadjadian และคณะ (2013) ที่ทำงานวิจัยในแพะนม พบว่าระดับกรดโพรพิโอนิก ที่สูงขึ้นจะสามารถสามารถลดระดับ BHBA ($p<0.05$) ได้ แต่ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ NEFA และไตรกลีเซอร์ไรด์

สารที่สามารถใช้ผลิตกลูโคส ได้มาจากกรดโพรพิโอนิก (50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์) กรดแลคติก (15 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์) กรดอะมิโน (20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์) และกลีเซอร์ไรด์ (2 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์) (Drackley et al., 2001) จากการศึกษาของ Miettinen และ Huhtanen (1996) ในโคนม พบว่าการเสริมกรดโพรพิโอนิก ที่ระดับ 900 กรัมต่อวัน ทำให้ระดับ BHBA ลดลง ($p<0.01$) และระดับกลูโคสเพิ่มขึ้น ($p<0.01$) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Thammacharoen และคณะ (2001) ที่ศึกษาในโคนม รายงานว่าระดับ A:P ratio ที่ลดลงจาก 4.25 ไปเป็น 3.25 จะทำให้ระดับของ glucose uptake สูงขึ้นจาก 1,471 ไปเป็น 2,023 ไมโครโมลต่อนาที ตามลำดับ นอกจากนี้ Cerrilla และ Martinez (2003) พบว่าในช่วงการให้น้ำนมจะมีการใช้ประโยชน์จากกลูโคส โดย mammary gland ประมาณ 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของกลูโคสทั้งหมด อย่างไรก็ตามระดับกลูโคสในเลือดไม่ได้มีผลมาจากตัวอาหารเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีปัจจัยอื่นเกี่ยวข้อง ได้แก่ สภาวะทางสรีรวิทยา (physiological status) และโรค (disease) (Firat and Ozpinar, 1996) ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง รวมไปถึงความสามารถในการดูดซึมอาหารได้ของทางเดินอาหาร (Hove and Halse, 1983)

2.14 ผลการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการผลิตก๊าซมีเทน

มีงานวิจัยจำนวนน้อยที่ศึกษาการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้มันสำปะหลังเส้น แต่มีงานวิจัยหลายงานที่นำสูตร R:C ratio มาใช้เพื่อรายงานสัดส่วนของ อาหารหยาบต่ออาหารข้น ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทน จากงานวิจัยของ Pilajun และ Wanapat (2014) ที่ทำงานวิจัย IVGPT พบว่าสัดส่วนของอาหารข้นที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหารมีผลต่อระดับการผลิตก๊าซมีเทนที่ลดลง เพราะการเพิ่มอาหารข้นเป็นการเพิ่มผลผลิตกรดโพรพิโอนิก ในกระเพาะรูเมน สอดคล้องกับ Moss และคณะ (2000) รายงานถึงความสัมพันธ์ของกรดโพรพิโอนิกต่อผลผลิตก๊าซมีเทน ว่ามีความสัมพันธ์กันในทางลบ ($r^2 = 0.774$) เช่นเดียวกับ Wanapat และ Khampa (2007) ที่พบว่าการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่เป็นแหล่ง NSC จะส่งผลทำให้ระดับกรดโพรพิโอนิกเพิ่มขึ้น ($p<0.01$) เป็นไปได้ว่าการเสริมมันสำปะหลังเส้นจะเป็นการลดก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ทำให้ประชากรกลุ่มโพรโทซัว ($p<0.05$) กลุ่ม amylolytic bacteria และ proteolytic bacteria ($p<0.01$) มีจำนวนเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ประชากรกลุ่ม cellulolytic bacteria มีจำนวนลดลง ($p<0.01$) ทำนองเดียวกัน Martin และคณะ (2010) รายงานว่าการเสริมอาหารข้น เป็นการช่วยลดการผลิตก๊าซมีเทน ได้ดีที่สุด เพราะเป็นการเพิ่มกระบวนการสังเคราะห์กรดโพรพิโอนิก ซึ่งเป็นการแย่งใช้ H^+ กับ methanogenic bacteria

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่

สถานที่เลี้ยงสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล ศูนย์ฝึกนิสิตคณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดนครปฐม

อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนช่วงเช้าอยู่ที่ 24.04 ± 0.62 องศาเซลเซียส ช่วงกลางวันอยู่ที่ 33.48 ± 0.52 องศาเซลเซียส และช่วงเย็นอยู่ที่ 26.42 ± 0.55 องศาเซลเซียส และมีค่า THI (temperature humidity index) อยู่ที่ 75.44 ± 1.10 เปอร์เซ็นต์ ในตอนเช้า และ 84.69 ± 0.79 เปอร์เซ็นต์ ในตอนเย็น

คำนวณค่า THI = (1.8 x dry temperature + 32) - [(0.55 – 0.0055 x relative humidity) x (1.8 x dry temperature – 26.8)] (NRC., 1971)

3.2 สัตว์และการจัดการ

แพะนมพันธุ์ผสมซาเนน ที่ให้นมครั้งแรก ช่วงหลังคลอดเป็นเวลา 35 วัน จำนวน 12 ตัว วางแผนการทดลองแบบเปลี่ยนสลับ (2 x 2 crossover design) แพะแต่ละตัวจะถูกแยกขังอยู่ในกรง (metabolic cage) พร้อมมีน้ำสะอาดและแร่ธาตุก้อนให้ตลอดเวลา แพะจะถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มแบบสุ่มตามอาหารทดสอบ 2 สูตรได้แก่

อาหารทดสอบ 1. ได้รับหญ้าแห้งแพงโกลาเท่านั้น (treatment 1; T1)

อาหารทดสอบ 2. ได้รับหญ้าแห้งแพงโกลา และเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (treatment 2; T2) โดยแบ่งให้ 2 ครั้งในช่วงเช้าและช่วงบ่าย ครั้งละ 0.25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

แพะทั้ง 2 กลุ่มจะได้รับหญ้าแห้งแพงโกลาที่สับด้วยเครื่องสับหญ้า มีความยาวของหญ้าประมาณ 5 ถึง 10 เซนติเมตร แบบไม่จำกัด (ad libitum) ช่วงเวลาการให้อาหารอยู่ที่ 07:00 น. และ 16:00 น.

3.3 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

1. แผนการทดลองและระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาในการทดลองแต่ละช่วง 21 วัน แสดงไว้ในตาราง 3 โดยวันที่ 1 ถึง 14 จะเป็นช่วงให้แพะปรับตัวกับอาหารทดสอบ และวันที่ 15 ถึง 21 เป็นช่วงเก็บข้อมูล เมื่อเสร็จสิ้นการให้อาหารทดสอบแรก จะเริ่มให้อาหารทดสอบชุดถัดไป ด้วยวิธีการเดียวกัน

ตารางที่ 3 แสดงแบบแผนการทดลอง

	ลำดับอาหารทดสอบ	ปรับตัว T1	เก็บผล T1	ปรับตัว T2	เก็บผล T2
วัน (รวม)	T1-T2	21		21	
วัน		14	7	14	7
	ลำดับอาหารทดสอบ	ปรับตัว T2	เก็บผล T2	ปรับตัว T1	เก็บผล T1
วัน (รวม)	T2-T1	21		21	
วัน		14	7	14	7

2. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและการกินได้

ชั่งน้ำหนักตัวแพะก่อนให้อาหารเช้าในวันที่ 1 15 และวันที่ 21 เพื่อนำมาคำนวณปริมาณการให้มันสำปะหลังที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และคำนวณการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว และอัตราการเติบโตต่อวัน

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย (กก)} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น (กก)}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (กก)}} \times 100$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย (กก)} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น (กก)}}{\text{จำนวนวัน (วัน)}}$$

บันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้และอาหารที่เหลือทุกวัน ทำการสุ่มตัวอย่างอาหาร มาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาค่าวัตถุแห้ง และนำมาคำนวณปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง เก็บตัวอย่างอาหารที่สุ่มมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะโดยประมาณ (proximate analysis) เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ เถ้า ไขมัน โปรตีน

(AOAC., 2000) ค่าเยื่อใยที่สกัดด้วยสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) และค่าเยื่อใยที่สกัดด้วยสารละลายที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) (Van Soest et al., 1991)

3. มูลและปัสสาวะ

มูลและปัสสาวะจะถูกเก็บในวันที่ 15 ถึงวันที่ 21 พร้อมบันทึกน้ำหนักในแต่ละวัน มูลจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเก็บปริมาณ 100 กรัม และนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาค่าวัตถุแห้ง

ส่วนที่ 2 เก็บมูลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักมูลทั้งหมดในแต่ละวัน สะสมไว้จนครบ 7 วัน นำมาสุ่มอีกครั้งให้ได้ตัวอย่างมูลแห้งโดยประมาณ 300 กรัม แล้วนำไปอบที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัวอย่างที่อบแห้งแล้วจะนำมาบดละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และนำมาคำนวณค่าการย่อยได้ของโภชนะแบบปรากฏ

$$\text{การย่อยได้ของโภชนะแบบปรากฏ (\%)} = \frac{\text{โภชนะที่กิน (กรัม/วัน)} - \text{โภชนะที่ขับออกทางมูล (กรัม/วัน)}}{\text{โภชนะที่กิน (กรัม/วัน)}} \times 100$$

ปัสสาวะจะถูกเก็บโดยใช้ถังพลาสติกที่มีการเติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (13 มิลลิลิตรของกรดซัลฟิวริกต่อ 100 มิลลิลิตรของปัสสาวะ) เพื่อให้ปัสสาวะมีสภาพเป็นกรด (pH ต่ำกว่า 3) ป้องกันการสูญเสียไนโตรเจน แล้วทำการสุ่มปัสสาวะประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของปัสสาวะในแต่ละวัน เก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสหลังจากนั้นนำปัสสาวะมารวมกันแล้วทำการสุ่มอีกครั้งประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณปัสสาวะทั้งหมด กรองด้วยผ้าขาวบาง และใส่ขวดเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ด้วยวิธี micro-kjeldhal method (AOAC, 2000)

4. ของเหลวในกระเพาะรูเมน

เก็บ ruminal fluid (RF) ในวันที่ 21 ช่วงหลังให้อาหารเช้า ที่เวลา 0 2 และ 4 ชั่วโมง (Yang and Varga, 1989) โดยใช้วิธีสอดท่อสายยางเข้าทางปาก (oral stomach tube, OST) แล้วนำไซริงค์ดูดของเหลวในกระเพาะรูเมนออกมา กรอง RF ด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น และนำมาวัดค่า pH ทันทีพร้อมบันทึกผล หลังจากนั้นเติม 10 มิลลิลิตร ของ 24 เปอร์เซ็นต์ กรดเมทาฟอสโฟริก ต่อ 50 มิลลิลิตร ของ RF (10:50) และนำไปเก็บไว้ที่ตู้เย็นอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

RF ที่เก็บไว้จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะถูกนำมาปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเก็บส่วนที่ลอยอยู่ (supernatant) มาวิเคราะห์หาค่ากรดไขมันระเหยง่าย

ด้วยเครื่อง gas chromatography (Agilent 7000 series, Triple quad GC/MS, Agilent Technologies, United Kingdom) และ RF ส่วนที่สองจะถูกนำมาวิเคราะห์หา NH_3-N ด้วยวิธี micro-kjeldhal method (AOAC, 2000)

5. น้ำนม

ทำการรีดนมวันละ 2 ครั้ง ด้วยวิธีการรีดมือ หลังให้อาหารที่เวลา 07:00 น. และ 16:00 น. หลังให้อาหาร บันทึกปริมาณน้ำนม และสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนม และนำไปแช่ตู้เย็นอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และนำมาวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบในน้ำนม ได้แก่ ไขมัน โปรตีน แลคโตส ของแข็งทั้งหมด (total solids, TS) และของแข็งในน้ำนมที่ไม่รวมไขมัน (solid not fat, SNF) ด้วยเครื่อง Milkoscan FT6000 (Foss Eletric, Hillerod, Denmark) และคำนวณหาค่า 4% fat corrected milk (4% FCM) โดยใช้สูตร (Mavrogenis and Papachristoforou 1988)

4% FCM = M(0.411+0.147f)

เมื่อ M คือปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม)

f คือองค์ประกอบไขมันในน้ำนม (เปอร์เซ็นต์)

6. เลือด

ตัวอย่างเลือดจะถูกเก็บในวันที่ 15 และวันที่ 20 จาก jugular vein หลังให้อาหารเช้าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที (Sano et al., 1999) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใส่ในหลอด lithium heparin หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเก็บพลาสมาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาค่ายูเรียไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen; BUN) กลูโคส (glucose) ไตรกลีเซอร์ไรด์ (triglyceride) และค่าโปรตีน (total protein) ด้วยเครื่อง ILAB 650® ส่วนที่สองจะถูกเก็บใส่หลอด tube หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเก็บซีรั่มไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ NEFA ด้วย NEFA testkit (Abcam plc, catalog number ab65341) (intra assay และ inter assay อยู่ที่ 3.41 และ 2.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

7. ก๊าซ

7.1 การวัดปริมาณก๊าซ ด้วยวิธี IVGPT ตามวิธีการของ Menke และคณะ (1979) โดยทำการเตรียมตัวอย่างอาหาร และ liquid media (LM) (Menke and Steingass, 1988) ดังวิธีการต่อไปนี้

วิธีการ IVGPT

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างอาหาร

1.ชั่งอาหาร 200 mg DM พร้อมบรรจุใส่ขวด 100 ซีซี โดยแบ่งอาหารทดสอบเป็น 2 สูตร

T1 = แพงโกลา:มันสำปะหลัง มีสัดส่วน 100:0

T2 = แพงโกลา:มันสำปะหลัง มีสัดส่วน 79:21

2.สัดส่วนของ T2 อ้างจากการกินได้ของแพะที่ได้รับอาหารทดสอบ 2

ขั้นตอนการเตรียม LM

1.สารละลาย LM มีส่วนประกอบของสารเคมี แสดงไว้ในตาราง 4

2.เตรียม LM โดยใช้

1. 474 mL Distilled water
2. 237 mL Macro-mineral solution
3. 237 mL Buffer solution
4. 0.12 mL Micro-mineral solution
5. 1.22 mL Resazurin solution

ขั้นตอนและวิธีการ

1. เตรียมเก็บ RF จากแพะที่ได้รับต้นข้าวโพดหมัก ช่วงหลังให้อาหารเช้า 2 ชั่วโมง ด้วยวิธี OST หลังจากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น และเก็บไว้ในกระติกควบคุมอุณหภูมิที่ 39 องศาเซลเซียส

2.เตรียม LM ใส่ conical flask บน hot plate stirrer ที่ควบคุมอุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส พร้อมปั่นด้วยแท่งแม่เหล็ก และไล่อากาศออกด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดเวลา

3.เติม reducing solution ใน LM เพื่อทดสอบว่าระบบมีออกซิเจนอยู่หรือไม่ ถ้าไม่มีสารละลาย LM จะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีชมพู และสามารถเติม RF ได้

4.เติม RF ผสมกับ LM จะได้เป็น rumen liquid media (RLM) สัดส่วน 1:2

5.นำ RLM เติมใส่ขวด 100 ซีซี ที่มีตัวอย่างอาหารอยู่ภายใน ปริมาณ 30 มิลลิลิตร พร้อมปิดฝาจุกยาง และซีลปิดฝาด้วยด้วยแผ่นอลูมิเนียม

6.นำขวดตัวอย่างไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 39 องศาเซลเซียส พร้อมบันทึกเวลา

ตารางที่ 4 สารเคมีสำหรับการเตรียม LM

Macromineral solution	Micromineral solution	Buffer solution	Resazurin solution	Reducing solution
5.7 g Na_2HPO_4	13.2 g $CaCl_2$ $2H_2O$	35 g $NaHCO_3$	100 mg Resazurin	2 mL 1N NaOH
6.2 g KH_2PO_4	10 g $MnCl_2$ $4H_2O$	4 g $(NH_4)_4$ HCO_3	100 mL Distilled water	285 mg Na_2S $7H_2O$
0.6 g $MgSO_4$ $7H_2O$	1 g $CoCl_2$ $6H_2O$	1 L distilled water		47.5 mL Distilled water
1 L Distilled water	0.8 g $FeCl_2$ $6H_2O$			
	100 mL Distilled water			

* g (กรัม), mg (มิลลิกรัม) , L (ลิตร) และ mL (มิลลิลิตร)

บันทึกปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น ที่เวลา 0 2 4 6 8 12 16 20 24 32 40 48 56 64 และ 72 ชั่วโมง โดยการใช้ไซริงค์วัดปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้น และนำค่าปริมาณก๊าซรวมไปคำนวณหาพลังงาน ME และ NEL (Blummel and Orskov, 1993) จากสูตร

ME (MJ/kg DM) = $2.20 + 0.136GP + 0.0057CP + 0.00029EE^2$

NEL (MJ/kg DM) = $0.1149GP + 0.0054CP + 0.0139EE - 0.0054Ash - 0.36$

เมื่อ GP คือ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น (มิลลิลิตร) ที่เวลา 24 ชั่วโมง

CP คือ โปรตีน (กรัม/กิโลกรัม วัตถุแห้ง)

EE คือ ไขมัน (กรัม/กิโลกรัม วัตถุแห้ง)

Ash คือ เถ้า (กรัม/กิโลกรัม วัตถุแห้ง)

7.2 การวัดองค์ประกอบก๊าซมีเทน ใช้วิธีการเก็บก๊าซเช่นเดียวกับ 7.1 แต่จะทำการเก็บก๊าซที่เวลา 24 ชั่วโมงเพียงครั้งเดียว และเตรียมภาชนะขวดใหม่ที่ทำการไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจนและทำให้เป็นสูญญากาศ หลังจากนั้นถ่ายโอนก๊าซที่เกิดขึ้นไปยังขวดแก้วอีกขวด เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของมีเทนด้วยเครื่อง gas chromatography (Agilent 7890A, Agilent Technologies, United Kingdom)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำเสนอแบบ mean ± S.D. รูปแบบการทดลอง 2x2 crossover design 3 ปัจจัย ได้แก่

1.ปัจจัยลำดับอาหารทดสอบ (sequence) 2 ระดับ คือ T1-T2 และ T2-T1

2.ปัจจัยช่วงเวลา (period) 2 ระดับ คือ ช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 2

3.ปัจจัยอาหารทดสอบ (treatment) 2 ระดับ คือ อาหารทดสอบ 1 และอาหารทดสอบ 2

เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างอาหารทดสอบ โดยวิธี t-test ที่ระดับนัยสาคัญ $p<0.05$ โดยใช้โปรแกรม SAS (Statistical. Analysis System 9.0, 2002)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารงานวิจัย

องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าแห้งแพงโกลาและมันสำปะหลังเส้น แสดงไว้ในตางรางที่ 5 หญ้าแพงโกลามีค่าวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ เถ้า โปรตีน ไขมัน NSC NDF และ ADF เท่ากับ 86.4 92.3 7.6 3.9 1.0 12.3 75.1 และ 43.3 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ตามลำดับ และมันสำปะหลังเส้นมีค่าเท่ากับ 89 91.9 8.1 3.2 0.4 68.0 20.4 และ 6.4 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารงานวิจัย (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)

	หญ้าแห้งแพงโกลา	มันสำปะหลังเส้น
วัตถุแห้ง	86.4	89.0
อินทรีย์วัตถุ	92.3	91.9
เถ้า	7.6	8.1
โปรตีน	3.9	3.2
ไขมัน	1.0	0.4
NSC[1/]	12.3	68.0
NDF	75.1	20.4
ADF	43.3	6.4
ME (Mcal/kg) [2/]	1.5	2.8

[1/] NSC = 100 – (โปรตีน+NDF+ไขมัน+เถ้า) (Van soest et al., 1991)

[2/] Nitipot และคณะ (2009)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

ผลด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว แสดงไว้ในตารางที่ 6 พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของกลุ่ม T1 และ T2 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ที่ -80 ถึง -40 กรัมต่อวัน ตามลำดับ หรือประมาณ -2.05 ถึง -0.75 เปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลง ตามลำดับ

นอกจากนี้ไม่พบอิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบและช่วงเวลาที่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโต

ตารางที่ 6 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (mean ± S.D.)

	T1	T2	p-value		
			Seq	Per	Trt
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	29.3 ± 4.4	30.0 ± 4.7			
น้ำหนักสุดท้าย (กิโลกรัม)	28.8 ± 4.6	29.79 ± 4.1			
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	-80 ± 0.1	-40 ± 0.2	0.48	0.50	0.25
การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (%น้ำหนักตัว)	-2.05 ± 4	-0.75 ± 5	0.57	0.52	0.29

T1 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด

T2 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด และเสริมด้วยมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

Seq (Sequence) = อิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบ

Per (Period) = อิทธิพลจากช่วงเวลา

Trt (Treatment) = อิทธิพลจากอาหารทดสอบ

4.3 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง

ผลด้านปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง แสดงไว้ในตารางที่ 7 พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของกลุ่ม T1 และ T2 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกลุ่ม T1 สามารถกินวัตถุแห้งรวมได้ 536 กรัมต่อวัน หรือประมาณ 1.84 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และ T2 สามารถกินวัตถุแห้งรวมได้ 615 กรัมต่อวัน หรือประมาณ 2.04 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

กลุ่ม T1 สามารถกินวัตถุแห้งของหญ้าได้ 536 กรัมต่อวัน หรือประมาณ 1.84 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และ T2 สามารถกินวัตถุแห้งของหญ้าได้ 481 กรัมต่อวัน หรือประมาณ 1.60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

อย่างไรก็ดีพบอิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบและช่วงเวลาที่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งรวม และวัตถุแห้งของหญ้า

ตารางที่ 7 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (mean ± S.D.)

	T1	T2	p-value		
			Seq	Per	Trt
วัตถุแห้งรวม (กรัม/วัน)	536 ± 140	615 ± 161	0.05	0.38	0.34
วัตถุแห้งรวม (%น้ำหนักตัว)	1.84 ± 0.35	2.05 ± 0.40	0.85	0.16	0.91
วัตถุแห้งของหญ้า (กรัม/วัน)	536 ± 140	482 ± 149	0.06	0.81	0.33
วัตถุแห้งของหญ้า (%น้ำหนักตัว)	1.84 ± 0.35	1.60 ± 0.41	0.86	0.37	0.88
วัตถุแห้งมันสำปะหลังเส้น (กรัม/วัน)	0.00 ± 0.00	133 ± 21	0.66	0.66	<0.01
วัตถุแห้งมันสำปะหลังเส้น (%น้ำหนักตัว)	0.00 ± 0.00	0.45 ± 0.01	0.22	0.22	<0.01

T1 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด

T2 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด และเสริมด้วยมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

Seq (Sequence) = อิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบ

Per (Period) = อิทธิพลจากช่วงเวลา

Trt (Treatment) = อิทธิพลจากอาหารทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณสารอาหารที่กินได้

ผลด้านปริมาณการกินได้ของสารอาหาร แสดงไว้ในตารางที่ 8 พบว่าสารอาหารที่กินได้ของกลุ่ม T1 และ T2 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มค่าการกินได้ของอินทรียวัตถุในกลุ่ม T2 มากกว่ากับกลุ่ม T1 อยู่ที่ 568 เทียบกับ 495 กรัมต่อวัน ($p<0.10$) ตามลำดับ

กลุ่ม T1 มีปริมาณการกินได้ของอินทรียวัตถุ โปรตีน NDF และ ADF อยู่ที่ 495 20.7 402 และ 2.2 กรัมต่อวัน หรือคิดเป็น 1.70 0.07 1.38 และ 0.80 ของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ตามลำดับ และ T2 อยู่ที่ 568 22.9 389 และ 217 กรัมต่อวัน หรือเทียบเป็น 1.89 0.08 1.29 และ 0.72 ของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ตามลำดับ

นอกจากนี้พบว่ามีแนวโน้มว่าอิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบมีผลต่อปริมาณการกินได้ (กรัมต่อวัน) ของอินทรียวัตถุ โปรตีน NDF และ ADF ($p<0.10$) แต่ไม่พบอิทธิพลจากช่วงเวลาต่อปริมาณการกินได้ของสารอาหาร

ตารางที่ 8 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณสารอาหารที่กินได้ (mean ± S.D.)

	T1	T2	p-value		
			Seq	Per	Trt
อินทรียวัตถุ (กรัม/วัน)	495 ± 129	568 ± 149	0.05	0.38	0.07
อินทรียวัตถุ (%น้ำหนักตัว)	1.70 ± 0.33	1.89 ± 0.37	0.85	0.16	0.18
โปรตีน (กรัม/วัน)	20.7 ± 5.4	22.9 ± 6.1	0.05	0.43	0.17
โปรตีน (%น้ำหนักตัว)	0.07 ± 0.01	0.08 ± 0.02	0.85	0.18	0.41
NDF (กรัม/วัน)	402 ± 105	389 ± 114	0.05	0.67	0.57
NDF (%น้ำหนักตัว)	1.38 ± 0.26	1.29 ± 0.31	0.83	0.30	0.25
ADF (กรัม/วัน)	232 ± 60	217 ± 65	0.05	0.73	0.32
ADF (%น้ำหนักตัว)	0.80 ± 0.15	0.72 ± 0.18	0.83	0.33	0.12

T1 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด

T2 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด และเสริมด้วยมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

Seq (Sequence) = อิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบ

Per (Period) = อิทธิพลจากช่วงเวลา

Trt (Treatment) = อิทธิพลจากอาหารทดสอบ

4.5 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อการย่อยได้ของสารอาหาร

ผลด้านการย่อยได้ของสารอาหาร แสดงไว้ในตารางที่ 9 พบว่าการย่อยได้ของสารอาหารในกลุ่ม T1 และ T2 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มของค่าการย่อยได้ของ ADF ในกลุ่ม T2 แตกต่างกับกลุ่ม T1 อยู่ที่ 42.3 เทียบกับ 49.1 เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ที่ปรากฏ ($p<0.10$) ตามลำดับ

กลุ่ม T1 มีค่าการย่อยได้ของ วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน NDF และ ADF อยู่ที่ 59.0 60.1 43.7 58.3 และ 49.1 เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ที่ปรากฏ ตามลำดับ และ T2 อยู่ที่ 61.9 62.9 36.7 54.8 และ 42.3 เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ที่ปรากฏ ตามลำดับ

อย่างไรก็ดีพบว่ามีแนวโน้มว่าอิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบมีผลต่อค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ ($p<0.10$) แต่ไม่พบอิทธิพลจากช่วงเวลาต่อค่าการย่อยได้ของสารอาหาร

ตารางที่ 9 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการย่อยได้ของสารอาหาร (mean ± S.D.)

%การย่อยได้ที่ปรากฏ	T1	T2	p-value		
			Seq	Per	Trt
วัตถุแห้ง	59.0 ± 14.8	61.9 ± 9.5	0.75	0.20	0.40
อินทรียวัตถุ	60.1 ± 14.6	62.9 ± 9.4	0.06	0.19	0.43
โปรตีน	43.7 ± 9.4	36.7 ± 7.7	0.10	0.73	0.20
NDF	58.3 ± 15.1	54.8 ± 12.4	0.88	0.21	0.16
ADF	49.1 ± 18.4	42.3 ± 16.4	0.82	0.26	0.07

T1 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด

T2 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด และเสริมด้วยมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

Seq (Sequence) = อิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบ

Per (Period) = อิทธิพลจากช่วงเวลา

Trt (Treatment) = อิทธิพลจากอาหารทดสอบ

4.6 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อสมดุลไนโตรเจน

ผลด้านสมดุลไนโตรเจน แสดงไว้ในตารางที่ 10 พบว่าสมดุลในโตรเจนในกลุ่ม T1 และ T2 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มของระดับไนโตรเจนในมูล ของกลุ่ม T2 แตกต่างกับกลุ่ม T1 อยู่ที่ 2.63 เทียบกับ 2.30 กรัมต่อวัน ($p<0.10$) ตามลำดับ

กลุ่ม T1 มีระดับไนโตรเจนในอาหาร ในมูล ถูกดูดซึม ในปัสสาวะ ในน้ำนม และสมดุล อยู่ที่ 3.31 2.30 1.01 0.53 1.07 และ -0.59 กรัมต่อวัน ตามลำดับ และกลุ่ม T2 อยู่ที่ 3.67 2.63 1.04 0.45 1.10 และ -0.52 กรัมต่อวัน ตามลำดับ

นอกจากนี้พบว่าอิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบส่งผลต่อค่าไนโตรเจนในมูล และปัสสาวะ ($p<0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลจากช่วงเวลาต่อสมดุลไนโตรเจน

ตารางที่ 10 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อสมดุลไนโตรเจน (mean ± S.D.)

กรัม/วัน	T1	T2	p-value		
			Seq	Per	Trt
ไนโตรเจน ในอาหาร	3.31 ± 0.86	3.67 ± 0.99	0.05	0.43	0.17
ไนโตรเจน ในมูล	2.30 ± 0.60	2.63 ± 0.73	<0.05	0.31	0.08
ไนโตรเจน ที่ถูกดูดซึม	1.01 ± 0.92	1.04 ± 0.66	0.60	0.95	0.91
ไนโตรเจน ในปัสสาวะ	0.53 ± 0.30	0.45 ± 0.21	<0.05	0.58	0.22
ไนโตรเจน ในน้ำนม	1.07 ± 0.61	1.10 ± 0.68	0.24	0.49	0.44
สมดุลไนโตรเจน	-0.59 ± 0.82	-0.52 ± 1.08	0.10	0.42	0.76

T1 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด

T2 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด และเสริมด้วยมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

Seq (Sequence) = อิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบ

Per (Period) = อิทธิพลจากช่วงเวลา

Trt (Treatment) = อิทธิพลจากอาหารทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.7 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อค่า pH และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน

ผลด้าน pH และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน แสดงไว้ในตารางที่ 11 พบว่าค่า pH NH_3-N กรดไขมันระเหยง่ายรวม กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก และ A:P ratio ในกลุ่ม T1 และ T2 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มความแตกต่างระหว่างกลุ่ม T1 และ T2 ของกรดอะซิติกที่ 4 ชั่วโมง และ A:P ratio ที่ 2 และ 4 ชั่วโมง ($p<0.10$)

อย่างไรก็ดีพบว่าอิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบส่งผลต่อค่ากรดไขมันระเหยง่ายรวม ที่เวลา 0 ($p<0.01$) 2 4 ชั่วโมง ($p<0.05$) และกรดไขมันระเหยง่ายรวมเฉลี่ย ($p<0.01$) และไม่พบอิทธิพลจากช่วงเวลาต่อค่า pH และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน

ตารางที่ 11 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อค่า pH และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะรูเมน (mean ± S.D.)

	(ชั่วโมง) หลังให้อาหาร	T1	T2	p-value		
				Seq	Per	Trt
pH	0	7.06 ± 0.25	7.22 ± 0.23	0.97	0.60	0.12
	2	6.96 ± 0.28	7.05 ± 0.28	0.33	0.35	0.23
	4	7.21 ± 0.91	7.01 ± 0.25	0.40	0.31	0.51
pH เฉลี่ย		7.08 ± 0.38	7.09 ± 0.23	0.38	0.36	0.74
NH_3-N (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	0	6.44 ± 1.45	6.24 ± 1.64	0.83	0.76	0.50
	2	6.65 ± 1.79	7.01 ± 1.92	0.50	0.27	0.52
	4	6.42 ± 1.40	6.86 ± 1.77	0.19	0.91	0.22
NH_3-N เฉลี่ย		6.50 ± 1.49	6.70 ± 1.71	0.45	0.70	0.56
กรดไขมันระเหยง่ายรวม	0	9.66 ± 2.25	9.71 ± 2.14	<0.01	0.41	0.78
(มิลลิโมล/ลิตร)	2	10.35 ± 3.04	10.22 ± 2.01	<0.05	0.28	0.70
	4	10.47 ± 2.63	10.21 ± 2.24	<0.05	0.55	0.70
กรดไขมันระเหยง่ายรวม เฉลี่ย		10.16 ± 2.57	10.04 ± 2.00	<0.01	0.92	0.80
กรดอะซิติก (โมล/100 โมล)	0	66.19 ± 5.20	65.62 ± 4.15	0.90	0.20	0.75
	2	65.97 ± 4.85	63.43 ± 2.87	0.50	0.36	0.10
	4	66.52 ± 5.75	63.93 ± 3.84	0.27	0.10	0.06
กรดอะซิติก เฉลี่ย		66.23 ± 5.01	64.33 ± 3.41	0.47	0.15	0.13

กรดโพรพิโอนิก (โมล/100 โมล)	0	25.95 ± 4.21	25.77 ± 4.00	0.28	0.76	0.72
	2	26.40 ± 3.98	27.56 ± 3.01	0.16	0.91	0.16
	4	26.05 ± 4.91	27.04 ± 3.25	0.17	0.67	0.41
กรดโพรพิโอนิก เฉลี่ย		26.14 ± 4.15	26.79 ± 3.29	0.15	0.74	0.43
กรดบิวทิริก (โมล/100 โมล)	0	7.85 ± 1.83	8.61 ± 2.90	0.43	0.24	0.55
	2	7.62 ± 1.72	9.01 ± 2.93	0.75	0.22	0.23
	4	7.43 ± 1.84	9.04 ± 2.86	0.73	0.18	0.10
กรดบิวทิริก เฉลี่ย		7.64 ± 1.09	8.88 ± 1.94	0.70	0.14	0.15
A:P ratio	0	2.65 ± 0.68	2.62 ± 0.55	0.55	0.45	0.89
	2	2.58 ± 0.60	2.33 ± 0.33	0.25	0.57	0.07
	4	2.68 ± 0.72	2.41 ± 0.44	0.18	0.28	0.09
A:P ratio เฉลี่ย		2.64 ± 0.64	2.45 ± 0.42	0.22	0.34	0.13

T1 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด

T2 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด และเสริมด้วยมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

Seq (Sequence) = อิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบ

Per (Period) = อิทธิพลจากช่วงเวลา

Trt (Treatment) = อิทธิพลจากอาหารทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.8 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อองค์ประกอบของเลือด

องค์ประกอบของเลือด แสดงไว้ในตารางที่ 12 พบว่าระดับกลูโคสในเลือดของกลุ่ม T2 แตกต่างกับ T1 ทั้งในวันที่ 15 อยู่ที่ 56.6 และ 52.9 ($p<0.05$) และวันที่ 20 อยู่ที่ 58.9 และ 55.0 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ($p<0.05$) ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยระดับกลูโคสของ T2 แตกต่างกับ T1 อยู่ที่ 53.9 และ 57.7 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ($p<0.05$) ตามลำดับ

อย่างไรก็ดีพบว่าอิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบส่งผลต่อระดับกลูโคสเฉลี่ย ($p<0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลจากช่วงเวลาต่อค่าเมทาโบไลท์ของเลือด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อองค์ประกอบของเลือด (mean ± S.D.)

	T1	T2	p-value		
			Seq	Per	Trt
กลูโคส (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)					
วันที่ 15	52.9 ± 3.9	56.6 ± 2.7	0.30	0.68	<0.05
วันที่ 20	55.0 ± 4.5	58.9 ± 4.4	0.13	0.52	<0.05
เฉลี่ย	53.9 ± 3.32	57.7 ± 3.07	<0.05	0.34	<0.05
BUN (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)					
วันที่ 15	1.55 ± 0.38	1.66 ± 0.27	0.60	.074	0.95
วันที่ 20	2.21 ± 0.63	2.56 ± 2.33	0.30	0.24	0.52
เฉลี่ย	2.00 ± 0.59	2.13 ± 1.13	0.25	0.31	0.68
ไตรกลีเซอไรด์ (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)					
วันที่ 15	10.5 ± 3.72	10.5 ± 7.54	0.37	0.91	0.99
วันที่ 20	9.7 ± 5.42	7.9 ± 4.20	0.24	0.32	0.42
เฉลี่ย	10.3 ± 4.01	9.2 ± 4.75	0.12	0.37	0.66
โปรตีนรวม (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)					
วันที่ 15	6.43 ± 1.15	6.09 ± 0.98	0.30	0.94	0.42
วันที่ 20	6.89 ± 0.69	6.52 ± 0.70	0.57	0.26	0.27
เฉลี่ย	6.55 ± 0.94	6.28 ± 0.75	0.81	0.97	0.53
NEFA (มิลลิโมล/ลิตร)					
วันที่ 15	0.11 ± 0.07	0.09 ± 0.07	0.89	0.31	0.47
วันที่ 20	0.13 ± 0.09	0.09 ± 0.08	0.80	0.19	0.13
เฉลี่ย	0.12 ± 0.05	0.09 ± 0.07	0.98	0.88	0.25

T1 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด

T2 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด และเสริมด้วยมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

Seq (Sequence) = อิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบ

Per (Period) = อิทธิพลจากช่วงเวลา

Trt (Treatment) = อิทธิพลจากอาหารทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.9 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม

ผลด้านผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม แสดงไว้ในตารางที่ 13 พบว่ากลุ่ม T2 มีองค์ประกอบแลคโตสในน้ำนมแตกต่างกับกลุ่ม T1 อยู่ที่ 4.6 และ 4.5 ($p<0.05$) เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

นอกจากนี้ไม่พบอิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบส่งผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม แต่พบอิทธิพลจากช่วงเวลาส่งผลต่อปริมาณน้ำนม ($p<0.05$)

ตารางที่ 13 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม (mean ± S.D.)

	T1	T2	p-value		
			Seq	Per	Trt
ปริมาณน้ำนม (กรัม/วัน)	210 ± 144	238 ± 138	0.69	<0.05	0.25
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (กรัม น้ำนม/กรัม วัตถุแห้งที่กิน)	0.38 ± 0.25	0.42 ± 0.27	0.36	0.05	0.42
ไขมัน (%)	5.3 ± 1.1	5.3 ± 1.0	0.29	0.66	0.77
ไขมัน (กรัม/วัน)	11.6 ± 6.3	11.7 ± 8.3	0.52	0.14	0.94
โปรตีน (%)	2.96 ± 0.31	3.21 ± 0.52	0.58	0.50	0.75
โปรตีน (กรัม/วัน)	6.7 ± 3.8	6.9 ± 4.2	0.51	0.12	0.75
แลคโตส (%)	4.5 ± 0.1	4.6 ± 0.1	0.67	0.98	<0.05
แลคโตส (กรัม/วัน)	10.1 ± 5.9	10.2 ± 5.8	0.16	0.17	0.32
SNF (%)	8.1 ± 0.4	8.5 ± 0.5	0.27	0.05	0.09
SNF (กรัม/วัน)	18.4 ± 10.6	18.7 ± 11.0	0.19	0.27	0.37
TS (%)	13.1 ± 1.6	13.7 ± 1.4	0.28	0.24	0.55
TS (กรัม/วัน)	29.5 ± 17.0	30.2 ± 19.0	0.23	0.34	0.41
4% FCM (กิโลกรัม/วัน)	0.25 ± 0.15	0.26 ± 0.18	0.21	0.48	0.59

T1 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด

T2 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด และเสริมด้วยมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

Seq (Sequence) = อิทธิพลจากลำดับอาหารทดสอบ

Per (Period) = อิทธิพลจากช่วงเวลา

Trt (Treatment) = อิทธิพลจากอาหารทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.10 ผลของมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณก๊าซด้วยวิธี In vitro gas production technique

ผลต่อการหมักก๊าซและพลังงานด้วยวิธี IVGPT แสดงไว้ในตารางที่ 14 พบว่ากลุ่ม T2 มีปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นรวมแตกต่างกับกลุ่ม T1 ทั้งที่เวลา 24 ชั่วโมง อยู่ที่ 31.6 เทียบกับ 26.8 ($p<0.01$) และที่เวลา 48 ชั่วโมง อยู่ที่ 42.8 เทียบกับ 38.2 มิลลิลิตร ($p<0.05$) ตามลำดับ และมีระดับ ME อยู่ที่ 1.55 เทียบกับ 1.4 ($p<0.05$) และ NEL อยู่ที่ 0.78 เทียบกับ 0.65 Mcal/kg DM ($p<0.01$) ตามลำดับ มีระดับก๊าซมีเทนอยู่ที่ 5757 เทียบกับ 2520 ppm ($p<0.01$) และ 119 และ 45 กรัมต่อวัน ($p<0.01$) ตามลำดับ

ตารางที่ 14 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการหมักก๊าซด้วยวิธี In vitro gas production technique (mean ± S.D.)

	T1	T2	p-value
			Trt
ปริมาณก๊าซรวม (มิลลิลิตร)			
24 ชั่วโมง	26.8 ± 1.1	31.6 ± 2.3	<0.01
48 ชั่วโมง	38.2 ± 2.2	42.8 ± 2.6	<0.05
72 ชั่วโมง	44.1 ± 3.5	49.7 ± 2.9	0.05
ME (Mcal/Kg DM)	1.42 ± 0.04	1.56 ± 0.03	<0.05
NEL (Mcal/Kg DM)	0.64 ± 0.08	0.77 ± 0.06	<0.01
ก๊าซมีเทน (ppm)	2520 ± 717	5757 ± 1060	<0.01
ก๊าซมีเทนคำนวณ (มิลลิกรัม/วัน)[1/]	0.04 ± 0.01	0.12 ± 0.02	<0.01

T1 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด

T2 = หญ้าแพงโกลาแบบไม่จำกัด และเสริมด้วยมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

Trt (Treatment) = อิทธิพลจากอาหารทดสอบ

[1/] ก๊าซมีเทนคำนวณ = ปริมาณก๊าซ (mL) x ความเข้มข้นก๊าซมีเทน (ppm) x ค่าความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ (0.656g/L)

บทที่ 5
วิจารณ์ และสรุป

5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารงานวิจัย

แหล่งของอาหารหยาบในงานวิจัยคือหญ้าแพงโกลา ที่มีระยะเก็บเกี่ยว 90 วัน พบว่ามีโปรตีนระดับต่ำอยู่ที่ 3.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานสินค้าเกษตร (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2554) ที่รายงานว่าหญ้าแพงโกลาควรมีระดับโปรตีนที่สูงกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุมาจากปัจจัยด้านเวลาการเก็บเกี่ยว เข้ามามีผลทำให้หญ้าแพงโกลามีระดับโปรตีนต่ำกว่าที่คาดการณ์ ซึ่งมีงานวิจัยเกี่ยวกับระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (cutting age) ต่อองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าแพงโกลา โดยพบว่าการเก็บเกี่ยวหญ้าแพงโกลาที่ 70 วัน จะทำให้มีโปรตีนอยู่ที่ระดับ 3.0 เปอร์เซ็นต์ (Lee et al., 2000) ที่ 84 วัน มีโปรตีนอยู่ที่ระดับ 4.3 เปอร์เซ็นต์ (Kaewkunya et al., 2013) และมีการรายงานข้อมูลที่สามารถยืนยันได้ว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวส่งผลต่อระดับโปรตีนในหญ้าแพงโกลา แต่ไม่พบว่าส่งผลต่อระดับ NDF โดยการเก็บเกี่ยวหญ้าแพงโกลาที่ 45 วัน จะมีค่าโปรตีนอยู่ที่ 9.5 เปอร์เซ็นต์ (Suzuki et al., 2008) 7.9 เปอร์เซ็นต์ (Tikam et al., 2010) และ 7.0 เปอร์เซ็นต์ (Chobtang et al., 2012)

Archimede และคณะ (2000) รายงานว่าระดับโปรตีนในหญ้าแพงโกลาจะลดลง ตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยว และระดับโปรตีนอาจลดลงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ถ้าทำการเก็บเกี่ยวในวันที่ 56 หรือ 8 สัปดาห์ เป็นต้นไป นอกจากปัจจัยด้านเวลาการเก็บเกี่ยวแล้ว ปัจจัยด้านคุณภาพของดิน และปุ๋ยที่นำมาใช้ อาจจะมีส่วนต่อระดับโปรตีนในหญ้าแพงโกลาเช่นกัน

มันสำปะหลังเส้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีโปรตีน และ NDF อยู่ที่ 3.2 และ 20.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่ามีระดับใกล้เคียงกับงานวิจัยงานอื่น ที่มีระดับโปรตีนในมันสำปะหลังเส้นอยู่ที่ประมาณ 1.6 ถึง 3.4 เปอร์เซ็นต์ และ NDF อยู่ที่ 5.3 ถึง 19.2 เปอร์เซ็นต์ (Suksombat et al., 2006; Khampa and Wanapat 2007; Phengvichith and Ledin 2007; Chumpawadee et al., 2007; Nitipot et al., 2009; Polyorach et al., 2012) และมันสำปะหลังเส้นจากงานวิจัยนี้มีระดับ NSC อยู่ที่ 68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าต่ำกว่าการรายงานของ Polyorach และคณะ (2013) ที่พบว่าระดับ NSC ในมันสำปะหลังเส้นควรอยู่ที่ 75 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นเพราะระดับ NDF ในมันสำปะหลังเส้นของงานวิจัยงานนี้สูงกว่างานวิจัยอื่น จึงส่งผลต่อระดับ NSC ของมันสำปะหลังเส้นที่ลดลง

5.2 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

แพะกลุ่ม T1 เทียบกับ T2 มีการสูญเสียน้ำหนักตัวอยู่ที่ 80 เทียบกับ 40 กรัมต่อวัน หรือประมาณ 2.05 เทียบกับ 0.75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การสูญเสียน้ำหนักตัวเป็นเพราะอาหารงานวิจัยในกลุ่ม T1 และ T2 มีระดับ ME ต่ำเพียง 1.42 และ 1.56 Mcal/kg DM ตามลำดับ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของแพะนมช่วงให้ผลผลิต แพะนมช่วงให้ผลผลิตต้องการระดับ ME อยู่ที่ 2.39 Mcal/kg DM (Gil et al., 2010) การที่แพะนมได้รับพลังงานไม่เพียงพอ ทำให้เกิด NEB จึงมีการสูญเสียน้ำหนักตัว รวมไปถึงผลผลิตน้ำนมลดลง โดยพบว่าแพะทั้งกลุ่ม T1 และ T2 สามารถให้ผลผลิตน้ำนมได้เพียงประมาณ 209 และ 237 กรัมต่อวัน ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับแพะช่วงให้ผลผลิตน้ำนม

5.3 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร

จากข้อมูลด้านประสิทธิภาพการใช้อาหารในแพะกลุ่ม T1 และ T2 พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และไม่พบ substitution effect เช่นกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaokaur และคณะ (2012) ที่ศึกษาในแพะพันธุ์แองโกล นูเบียน ช่วงเจริญเติบโต พบว่าการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ไม่ก่อให้เกิด substitution effect การเสริมมันสำปะหลังเส้นที่เหมาะสม คือระดับที่ไม่ก่อให้เกิด substitution effect ซึ่งจะทำให้สัตว์กินอาหารหยาบลดต่ำลง (cummins et al., 2009) ทำให้ระบบนิเวศในกระเพาะรูเมนมีความเสี่ยงต่อการเกิด SARA งานวิจัยนี้จึงมีการจำกัดระดับมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว นอกจากนี้พบว่าปัจจัยด้านองค์ประกอบทางเคมีของอาหารหยาบ ส่งผลต่อการกินได้เช่นกัน เพราะหญ้าแห้งแพงโกลาจากงานวิจัยนี้มีระดับโปรตีนที่ต่ำ (3.9 เปอร์เซ็นต์) และเยื่อใยที่สูง (75.1 เปอร์เซ็นต์) จึงมีปริมาณการกินได้เพียง 536 กรัม/วัน หรือประมาณ 1.84 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เป็นไปตามการรายงานของ Wanapat และคณะ (1985) ที่พบว่าการใช้พืชอาหารสัตว์กลุ่มหญ้า (hay) หรือฟาง (straw) เป็นแหล่งอาหารหยาบ ที่มีโปรตีนต่ำ (2 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์) เยื่อใยสูง (NDF มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์) จะส่งผลต่อค่าปริมาณการกินได้ที่ลดต่ำลง เพราะอาหารดังกล่าวจะมีความน่ากินต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Saipin และคณะ (2013) ในแพะนมพันธุ์ผสมซาเนน ช่วงไม่ตั้งท้อง น้ำหนักประมาณ 40 กิโลกรัม พบว่าแพะนมจะกินหญ้าแพงโกลา (ระดับโปรตีน และ NDF อยู่ที่ 3.29 และ 71.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ปริมาณ 760 กรัมต่อวัน หรือประมาณ 1.9 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เช่นเดียวกับ Khan และคณะ (2012) ที่ศึกษาในแกะ ที่ได้รับหญ้าซอกัม (ระดับโปรตีน 4.7 เปอร์เซ็นต์) พบว่าแกะจะกินหญ้าซอกัมได้เพียง 491 กรัมต่อวัน หรือประมาณ 1.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว หรือจะเป็นการใช้หญ้าช้าง (elephant grass) (ระดับโปรตีน และ NDF อยู่ที่ 10.64 และ

64.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ในแพะพันธุ์ผสมแองโกลนูเบียน อายุ 8 เดือน น้ำหนัก 19 กิโลกรัม พบว่าแพะจะสามารถกินหญ้าได้เพียง 332 กรัมต่อวัน หรือประมาณ 1.52 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (Chanjula et al., 2007)

ค่าการย่อยได้ที่ปรากฏของกลุ่ม T1 และ T2 ไม่แตกต่างกัน เป็นเพราะการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ไม่เพียงพอต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการหมัก แต่ถ้าทำการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่าส่งผลต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีนที่เพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) (Phengvichith and Ledin 2007) เนื่องจากการเสริมมันสำปะหลังเส้น ที่เป็นแหล่งพลังงาน จะส่งผลทำให้จุลินทรีย์สามารถหมักอาหารได้มากขึ้น และด้วยระดับ NSC ที่สูงในมันสำปะหลังเส้นจึงทำให้มีอัตราการหมักเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

Tikam และคณะ (2010) ทำการศึกษาในแกะพันธุ์เมอริโน ที่ได้รับหญ้าแพงโกลาเพียงอย่างเดียว พบว่ามีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน NDF และ ADF อยู่ที่ 71.83 62.15 50.19 54.27 และ 53.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นอกจากนี้งานวิจัยของ Nitipon และคณะ (2009) ศึกษาการย่อยได้ในโคพื้นเมืองที่ได้รับหญ้าแพงโกลา มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน NDF และ ADF อยู่ที่ 48.83 54.91 56.33 54.17 และ 55.75 เปอร์เซ็นต์ของการย่อยได้ ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นจะพบค่าการย่อยได้ของโปรตีนในหญ้าแพงโกลาจะอยู่ที่ประมาณ 50 ถึง 56 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างจากงานวิจัยนี้ที่พบว่าค่าการย่อยได้ของโปรตีน ของ T1 และ T2 อยู่ที่ 43.7 และ 36.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เป็นเพราะอาหารงานวิจัยนี้ กลุ่ม T1 และ T2 ได้รับอาหารมีระดับพลังงานต่ำเพียง 1.42 และ 1.56 Mcal/kg DM ตามลำดับ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ ที่จะใช้ในการย่อยโปรตีน นอกจากนี้ยังพบว่าระดับของโปรตีนในอาหาร เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าการย่อยได้ของโปรตีน เพราะ Lee และคณะ (2000) ทำการศึกษาในแพะนม ที่ให้หญ้าแพงโกลาที่มีโปรตีนเพียง 3.0 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลทำให้แพะนมสามารถย่อยโปรตีนได้เพียง 34 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปตามรายงานของ Sahlu และคณะ (1992) ในแพะ ได้ทำการจำแนกระดับโปรตีนในอาหารออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ระดับสูง กลาง และต่ำ (20.3 13.9 และ 8.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) จะส่งผลต่อค่าการย่อยได้ของโปรตีนอยู่ที่ 74.3 63.7 และ 45.8 ตามลำดับ นั้นแสดงว่าระดับโปรตีนในอาหารส่งผลต่อค่าการย่อยได้ของโปรตีน

ระดับสมดุลไนโตรเจนจากงานวิจัย จะพบว่ากลุ่ม T1 และ T2 มีค่าสมดุลไนโตรเจนเป็นลบอยู่ที่ -0.59 และ -0.52 กรัมต่อวัน ตามลำดับ เพราะในอาหารงานวิจัยมีโปรตีนต่ำ จึงทำให้สัตว์ได้รับไนโตรเจนโดยประมาณเพียง 3.31 และ 3.67 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งตรงกับการรายงานของ Almeida และคณะ (2015) ที่พบว่าในแพะนมซาเนนที่ได้รับ ไนโตรเจนต่ำกว่าที่ระดับ 11.6 กรัมต่อวัน จะส่งผลทำให้เกิด NNB (negative nitrogen balance) หรือสถานะไนโตรเจนติดลบ แต่ถ้าเพิ่ม

ระดับไนโตรเจนที่ได้รับเป็น 18.1 กรัมต่อวัน พบว่าจะเพียงพอต่อความต้องการของแพะนมและไม่ก่อให้เกิดสภาวะ NNB

จากงานวิจัยนี้ แพะนมทั้ง 2 กลุ่มมีการขับไนโตรเจนออกทางมูล ปัสสาวะ และน้ำนม ไม่แตกต่างกัน หรือประมาณ 70 30 และ 30 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ จึงทำให้ระดับสมดุลไนโตรเจนเป็น -30 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ อย่างไรก็ดี Ferreira และ Thornton (2004) ที่ศึกษาในแพะพันธุ์ซาเนนที่มีการได้รับไนโตรเจนที่ระดับ 50 กรัมต่อวัน พบว่ามีการขับไนโตรเจนออกทางมูล ปัสสาวะ และน้ำนม ประมาณ 24 34 และ 25 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ ทำให้ระดับสมดุลไนโตรเจน +17 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Hassanat และคณะ (2014) ในโคพันธุ์โอสไตน์ ฟรีเชียน จะมีการขับไนโตรเจนออกทางมูล ปัสสาวะ และน้ำนม ประมาณ 32 31 และ 30 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ ทำให้ระดับสมดุลไนโตรเจน +7 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ

การพบไนโตรเจนในมูลที่ถูกขับออกมากว่า 70 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ เป็นเพราะการย่อยได้ของโปรตีนในแพะนมจากงานวิจัยงานนี้ ทั้งในกลุ่ม T1 และ T2 ต่ำมากเพียง 43.7 และ 36.7 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากระดับพลังงานในอาหารที่ต่ำ ไม่เพียงพอต่อการเพิ่มระดับพลังงานให้กับจุลินทรีย์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ microbial protein ทำให้ไนโตรเจนในอาหารไม่ถูกจุลินทรีย์ใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงมีไนโตรเจนในมูลระดับสูง ซึ่ง Phengvichith และ Ledin (2007) พบว่าถ้าทำการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จะมีการขับไนโตรเจนออกทางมูลและปัสสาวะ อยู่ที่ 20 และ 13 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ ต่างจากกลุ่มควบคุม อยู่ที่ 33 และ 25 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ ($p<0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Paengkoum และคณะ (2006) พบว่าการให้อาหารพลังงานต่ำ (3.47 Mcal/kg) จะมีการขับไนโตรเจนออกทางมูลและปัสสาวะ ประมาณ 43 และ 60 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ เทียบกับการให้อาหารพลังงานสูง (3.67 Mcal/kg) จะมีการขับไนโตรเจนออกทางมูลและปัสสาวะ ประมาณ 27 และ 41 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ นอกจากนี้พบว่าระดับโปรตีนในอาหาร ก็มีปัจจัยที่ส่งผลต่อการขับออกของไนโตรเจนเช่นกัน โดย Sahlu และคณะ (1992) ที่ศึกษาในแพะ และจำแนกระดับโปรตีนในอาหารออกเป็น 20.3 13.9 และ 8.5 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร ทำให้แพะได้รับไนโตรเจนที่ระดับ 48.9 33.4 และ 20.4 กรัมต่อวัน ตามลำดับ จะมีค่าการขับไนโตรเจนออกทางมูลที่ 25.7 36.2 และ 53.9 เปอร์เซ็นต์จากที่ได้รับ ($p<0.05$) ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการได้รับโปรตีนในอาหารระดับต่ำ ทำให้จุลินทรีย์มีไนโตรเจนที่สามารใช้ประโยชน์ได้ลดน้อยลง ร่วมกับปัจจัยที่ได้รับอาหารพลังงานต่ำ จึงเป็นสาเหตุทำให้การย่อยได้ของโปรตีนต่ำ และการขับไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิด NNB ในแพะกลุ่ม T1 และ T2

5.4 การหมักในกระเพาะรูเมนและเมทาโบไลท์ของเลือด

ผลด้านการหมักในกระเพาะรูเมนระหว่างกลุ่ม T1 และ T2 ไม่มีค่าความแตกต่างทางสถิติ ทั้งค่า pH NH_3-N กรดไขมันระเหยง่ายรวม กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก และ A:P ratio เป็นเพราะการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ไม่เพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงการหมักในกระเพาะรูเมน

งานวิจัยของ Watson และ Norton (1982) ในแพะแองโกรา ที่ได้รับหญ้าแพงโกลาเพียงอย่างเดียว จะมีค่ากรดอะซิติก อยู่ที่ 65.1 เปอร์เซ็นต์ หรือถ้าเป็นในแกะที่ได้รับหญ้า Lucerne hay เพียงอย่างเดียวจะมีค่าอยู่ที่ 65 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าสัตว์ที่ได้รับอาหารหยาบเพียงอย่างเดียว จะมีค่ากรดอะซิติกที่สูง อยู่ที่ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับงานวิจัยงานนี้ในกลุ่ม T1 ที่มีระดับกรดอะซิติกอยู่ที่ 66.2 โมล/100โมล เพราะจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำการหมักอาหารหยาบ จะเป็นกลุ่ม cellulolytic bacteria จึงทำให้มีระดับกรดอะซิติกในกระเพาะรูเมนระดับสูง ทำนองเดียวกันการหมักอาหารกลุ่มเยื่อใย จะทำให้ระบบนิเวศในกระเพาะรูเมนมีค่า pH อยู่ที่ 6.5 ถึง 7.0 (Wanapat, 2003) เนื่องจากน้ำลายของสัตว์ที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง และมีสารประกอบกลุ่มคาร์บอเนตเพื่อเป็น buffer ให้กับ cellulolytic bacteria ทำการหมักอาหารกลุ่มเยื่อใย

ระดับกรดไขมันระเหยง่ายรวมจากงานวิจัย จะพบว่ามีระดับต่ำมากเพียง 10.04 ถึง 10.16 มิลลิโมล/ลิตร ซึ่งพบว่าแตกต่างจากงานวิจัยอื่น โดยระดับกรดไขมันระเหยง่ายควรมีระดับประมาณ 66 มิลลิโมล/ลิตร ในแพะแองโกรา (Watson and Norton 1982) 57.2 ถึง 77.2 มิลลิโมล/ลิตร ในแพะกรานาดินา (Ramos et al., 2011) 100 ถึง 109 มิลลิโมล/ลิตร ในแพะซาเนน และแอลไพน์ (Serment et al., 2011) 95 ถึง 114 มิลลิโมล/ลิตร ในแพะซาเนน (Li et al., 2014) เป็นเพราะในงานวิจัยนี้สัตว์ได้รับอาหารระดับพลังงานต่ำ ซึ่งควรอยู่ที่ระดับ 2.39 Mcal/kg DM รวมไปถึงปริมาณการกินได้ต่ำ ซึ่งควรอยู่ที่ระดับ 2.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 900 กรัม/วัน ของวัตถุแห้ง (Watson and Norton 1982; Ramos et al., 2011; Serment et al., 2011; Li et al., 2014) และการย่อยได้ของอาหารต่ำ จึงส่งผลทำให้ระดับกรดไขมันระเหยง่ายรวมต่ำกว่างานวิจัยข้างต้น

Saini และคณะ (2012) ทำการศึกษาในแพะ พบว่าการใช้อาหารข้นระดับสูง ในอาหาร R:C สูตร 30:70 เทียบกับ 70:30 จะส่งผลต่อระดับกรดโพรพิโอนิกที่เพิ่มสูงขึ้น และทำให้ระดับกรดอะซิติกลดต่ำลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Serment และคณะ (2011) ในแพะนมพันธุ์แอลไพน์ พบว่าการใช้อาหารข้นระดับสูง ในอาหาร R:C สูตร 30:70 เทียบกับ 65:35 จะส่งผลต่อระดับกรดโพรพิโอนิกที่เพิ่มสูงขึ้น และทำให้ระดับกรดอะซิติกลดต่ำลงเช่นกัน แต่จากงานวิจัยงานนี้พบว่ากลุ่ม T1 และ T2 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านสัดส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้น เป็นเพราะกลุ่ม T2 มีระดับ NSC ไม่มากพอที่จุลินทรีย์จะนำไปสังเคราะห์กรดโพรพิโอนิกให้มากกว่ากลุ่ม T1 ได้ รวมถึง

ความสามารถในการหมักของจุลินทรีย์ที่ต่ำ สำรวจได้จากค่ากรดไขมันระเหยง่ายรวมที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับงานวิจัยงานอื่น จึงส่งผลทำให้ค่ากรดโพรพิโอนิกของกลุ่ม T2 ไม่แตกต่างกับ T1

ผลด้าน NH_3-N พบว่ากลุ่ม T2 มีระดับ NH_3-N ไม่แตกต่างกับ T1 อยู่ที่ 6.70 เทียบกับ 6.50 มิลลิกรัม/เดซิลิตร และค่า BUN อยู่ที่ 2.13 เทียบกับ 2.00 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเป็นระดับที่เพียงพอต่อการสังเคราะห์ microbial protein เพราะจากรายงานของ Satter และ Slyter (1974) ทำการศึกษาระดับ NH_3-N ด้วยวิธี in vitro และพบว่าจุลินทรีย์มีความต้องการ NH_3-N ขั้นต่ำอยู่ที่ 4 ถึง 5 มิลลิกรัม/เดซิลิตร เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ microbial protein ทำนองเดียวกัน Wanapat และ Pimpa (1990) รายงานว่าระดับของ NH_3-N ในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสม ควรอยู่ที่ 7.1 ถึง 13.6 มิลลิกรัม/เดซิลิตร เพราะพบว่าจะส่งผลต่อค่าปริมาณการกินได้ ค่าการย่อยได้ ประชากรแบคทีเรีย และโพรโทซัวที่เพิ่มสูงขึ้น ($p<0.01$) แต่การที่ระดับ NH_3-N สูงเกินไปกว่า 17.6 ถึง 34.4 มิลลิกรัม/เดซิลิตร จะทำให้ค่าปริมาณการกินได้ ค่าการย่อยได้ และจำนวนโพรโทซัวลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อประชากรแบคทีเรีย

ผลด้านเมทาโบไลท์ของเลือด พบว่ากลุ่ม T2 มีระดับกลูโคสสูงกว่ากลุ่ม T1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพราะการมันสำปะหลังเส้นที่เป็นแหล่งพลังงานและ NSC ซึ่งมีอัตราการหมักโดยจุลินทรีย์กลุ่ม amylolytic bacteria ได้สูง และผลผลิตกรดโพรพิโอนิก และถูกดูดซึมภายในกระเพาะรูเมน ซึ่งตับจะทำหน้าที่กักเก็บในรูปกลูโคสเพื่อใช้เป็นพลังงานให้กับสัตว์ ส่วนผลด้าน NEFA พบว่าทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน โดย T1 และ T2 มีระดับ NEFA อยู่ที่ 0.09 ถึง 0.12 mmol/l อย่างไรก็ดีงานวิจัยของ Jetana และคณะ (2011) รายงานว่าการเสริมอาหารพลังงานในอาหารจะช่วยลดระดับ NEFA ได้ แต่จากงานวิจัยนี้พบว่ากลุ่ม T2 ที่มีระดับพลังงาน ME สูงกว่า T1 อยู่ที่ 1.5 เทียบกับ 1.4 Mcal/kg DM อาจไม่เพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับ NEFA ในเลือด เนื่องจากแพะในงานวิจัยผ่านช่วงการให้น้ำนมสูงสุดไปแล้ว (peak lactation) ซึ่งแพะจะสามารถฟื้นฟูพลังงานที่สูญเสียไปในช่วงตั้งท้อง ช่วงคลอด และช่วงให้ผลผลิต สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sadjadian และคณะ (2013) ที่พบว่าแพะในช่วงกลางการให้น้ำนม (mid lactation) จะมีระดับ NEFA อยู่ที่ประมาณ 0.24 mmol/l หรือ 0.14 mmol/l ในแพะพันธุ์ผสมซาเนน (Singh and Ludri, 2002) ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำเมื่อเทียบกับช่วงต้นการให้น้ำนม ผลด้านโปรตีนรวมในเลือด พบว่าระหว่างกลุ่ม T1 และ T2 ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับของโปรตีนรวมในเลือดจะเกิดขึ้นในช่วงตั้งท้อง (Diogenes et al., 2010) เพราะโปรตีนจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็นนมน้ำเหลือง (colostrum) แต่จากงานวิจัยนี้เป็นแพะช่วงกลางการให้นม รวมทั้งปริมาณการกินได้ของโปรตีนในแพะทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน จึงไม่ส่งผลทำให้ระดับโปรตีนรวมในเลือดแตกต่างกัน ทำนองเดียวกันการที่ปริมาณการกินได้ของโปรตีนในแพะทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันจึงไม่ส่งผลต่อระดับ BUN ที่แตกต่างกันในแพะทั้ง 2 กลุ่มเช่นกัน (Sahlu et al., 1992)

5.5 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม

จากงานวิจัยพบว่ากลุ่ม T1 และ T2 ไม่มีค่าความแตกต่างกันของค่าประสิทธิภาพการใช้อาหาร ปริมาณน้ำนม ไขมันน้ำนม โปรตีนน้ำนม ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน ของแข็งทั้งหมด และ 4% FCM แต่พบว่าค่าองค์ประกอบแลคโตสในน้ำนม ในกลุ่ม T2 สูงกว่ากลุ่ม T1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อยู่ที่ 4.6 เทียบกับ 4.5 เปอร์เซ็นต์ เพราะเสริมมันสำปะหลังเส้น ที่เป็นแหล่งพลังงาน และ NSC จะถูกหมักโดยจุลินทรีย์ได้เป็นกรดโพรพิโอนิก และกรดโพรพิโอนิกเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลูโคส และใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์แลคโตสในน้ำนม เพราะกระบวนการ galactopoiesis โดย mammary gland ต้องอาศัยกลูโคส ที่ถูกสังเคราะห์มาจากกรดโพรพิโอนิก เป็นส่วนใหญ่ มีเพียงบางส่วนที่ถูกสร้างมาจากกรดบิวทิริก ซึ่งกลูโคสเป็นสารสำคัญและจำเป็นสำหรับสังเคราะห์น้ำนม ไม่สามารถใช้น้ำตาลชนิดอื่นแทนได้ (Bruce, 1995)

Suranindyah และ Astuti (2012) รายงานว่าการเสริมมันสำปะหลังเส้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบน้ำนม มากกว่าการเปลี่ยนแปลงด้านผลผลิตน้ำนม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutton และคณะ (1985) ที่พบว่าการเพิ่มระดับคาร์โบไฮเดรตในสูตรอาหารส่งผลทำให้องค์ประกอบแลคโตสในน้ำนมสูงขึ้น และส่งผลทำให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (Bines et al., 1978) เพราะการเพิ่มผลผลิตน้ำนม สัตว์จะต้องการพลังงานในอาหารที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในการศึกษาของ Souza และคณะ (2014) ศึกษาในแพะนมพันธุ์ซาเนน พบว่าระดับพลังงานในอาหารส่งผลต่อค่าปริมาณน้ำนม โดยอาหารที่มีระดับพลังงาน 2.9 Mcal ME/kg DM จะมีระดับผลผลิตนมที่สูงกว่าอาหารที่มีระดับพลังงาน 2.6 Mcal ME/kg DM อยู่ที่ 3.63 กิโลกรัม/วัน เทียบกับ 2.64 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ แต่จากงานวิจัยนี้แพะกลุ่ม T1 และ T2 ได้รับพลังงานจากอาหารเพียง 1.42 และ 1.56 Mcal ME/kg DM ตามลำดับ จึงทำให้สามารถผลิตน้ำนมได้เพียง 210 และ 238 กรัม/วัน ตามลำดับ

5.6 ผลของการเสริมมันสำปะหลังเส้นต่อปริมาณก๊าซและพลังงานด้วยวิธี In vitro gas production technique

ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น พบว่าที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ปริมาณก๊าซของกลุ่ม T2 สูงกว่ากลุ่ม T1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pilajun และ Wanapat (2014) ที่ทำการศึกษา IVGPT พบว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีผลมาจากระดับอาหารข้นที่เพิ่มสูงขึ้น โดยอาหารสูตร 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 จะมีผลผลิตก๊าซรวม ที่เวลา 24 ชั่วโมงอยู่ที่ 48.3 57.6 60.2 และ 62.7 มิลลิลิตร ตามลำดับ เพราะการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่เป็นแหล่งพลังงานและคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอาหารข้น และมีอัตราการหมักโดยจุลินทรีย์ได้สูง จึงทำให้มีผลผลิตก๊าซเพิ่มสูงขึ้น ทำนองเดียวกันกับ

งานวิจัยของ Chumpawadee และคณะ (2007) รายงานว่าการหมักแบบ IVGPT ที่เวลา 24 ชั่วโมง ในอาหารที่มีระดับ NDF ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ ข้าวเปลือก ข้าวโพด รำข้าว และมันสำปะหลังเส้น โดยมี NDF อยู่ที่ระดับ 29 21 13 และ 12 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จะมีปริมาณก๊าซรวมสูงกว่าในอาหารที่มีระดับ NDF สูง เช่น มะเขือเทศแห้ง (tomato pomace) และเปลือกถั่วเหลือง (soybean hull) ($p<0.01$) มี NDF อยู่ที่ 50 และ 49 ตามลำดับ (ปริมาณก๊าซรวมของข้าวเปลือก ข้าวโพด รำข้าว มันสำปะหลังเส้น มะเขือเทศแห้ง และเปลือกถั่วเหลือง อยู่ที่ 70.05 60.23 69.13 94.50 24.60 และ 54.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ) นอกจากนี้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมัก มีความสัมพันธ์กับค่าการย่อยได้แบบ in vitro DM digestibility และ in vitro OM digestibility เช่นกัน (Sommart et al., 2000; Nitipot and Sommart, 2003) และการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น ณ เวลา 24 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เหมาะสมต่อการบอกคุณสมบัติของอาหาร ซึ่งสัมพันธ์กับระดับพลังงานในอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร (Menke et al., 1979)

ผลด้านปริมาณก๊าซรวมของกลุ่ม T1 ที่เวลา 24 และ 48 อยู่ที่ 26.88 และ 38.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่างานวิจัยของ Tikam และคณะ (2014) ที่พบว่าการหมักแบบ IVGPT ของหญ้าแพงโกลาที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง จะมีปริมาณก๊าซรวมอยู่ที่ 37.6 และ 47.6 มิลลิลิตร ตามลำดับ เป็นเพราะอาหารงานวิจัยนี้ของกลุ่ม T1 มีระดับพลังงาน ME อยู่ที่ 1.42 Mcal/kg DM ซึ่งต่ำกว่างานวิจัยของ Tikam และคณะ (2014) ที่มีระดับพลังงาน ME อยู่ที่ 1.86 Mcal/kg DM

ผลด้านพลังงาน ME และ NEL ของอาหารทั้ง 2 สูตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย T2 มีค่า ME สูงกว่า T1 อยู่ที่ 1.56 และ 1.42 Mcal/kg DM ตามลำดับ และ T2 มีค่า NEL สูงกว่า T1 เช่นกันอยู่ที่ 0.77 และ 0.64 Mcal/kg DM ตามลำดับ เป็นเพราะการเสริมมันสำปะหลังเส้นเป็นการเสริมแหล่งพลังงาน ซึ่งมันสำปะหลังเส้นมีพลังงาน ME ระดับสูงอยู่ที่ 1.77 Mcal/kg DM (Chumpawadee et al., 2007) จึงทำให้ค่าพลังงาน ME ของกลุ่ม T2 เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับ T1

หญ้าแพงโกลาที่นำมาเป็นแหล่งอาหารหยาบในงานวิจัยนี้ มีระดับพลังงาน ME ที่ต่ำเพียง 1.42 Mcal/kg DM ซึ่งพบว่าต่ำกว่าฟางข้าว ในงานวิจัยของ Sallam และคณะ (2007) ที่มี ME อยู่ที่ 1.46 Mcal/kg DM จึงทำให้สรุปได้ว่าสัตว์ในกลุ่ม T1 ได้รับหญ้าแพงโกลาที่มีพลังงานต่ำกว่าฟางข้าว จึงส่งผลต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของสารอาหาร สมดุลไนโตรเจน และกรดไขมันระเหยง่ายรวมที่ต่ำลงด้วย

ด้านปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นพบว่ากลุ่ม T2 มีก๊าซมีเทนสูงกว่ากลุ่ม T1 อยู่ที่ 5757 เทียบกับ 2520 ppm ($p<0.01$) หรือประมาณ 0.12 เทียบกับ 0.04 มิลลิกรัม/วัน ($p<0.01$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Polyorach และคณะ (2014) ศึกษาอาหารสูตร R:C ด้วยวิธี IVGPT ได้แก่ที่ระดับ 80:20 60:40 40:60 20:80 และ 0:100 พบว่าระดับอาหารข้นเพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหารทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตเพิ่มสูงขึ้น อยู่ที่ 21.0 21.0 22.3 23.9 และ 24.3 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ จากผลข้างต้น

เป็นไปได้ว่าการเสริมอาหารข้น อาจไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่สามารถควบคุมการผลิตก๊าซมีเทน เพราะยังมีโพรโทซัวกลุ่ม oligotrich ที่สามารถใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตได้เช่นกัน ซึ่งจากงานวิจัยของ Wanapat และ Khampa (2007) พบว่าการเสริมอาหารข้นที่ระดับ 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จะส่งผลทำให้ประชากรโพรโทซัวที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และเป็นไปตามที่ Franzolin และ Dehority (1996) รายงานว่าระดับของอาหารข้นที่เพิ่มสูงขึ้นมีความสัมพันธ์กับประชากรโพรโทซัวกลุ่ม *Entodinium* spp. และ *Epidinium spp.* ที่เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramos และคณะ (2011) และ Saini และคณะ (2012) ที่พบว่าการใช้อาหารสูตร R:C สัดส่วน 30:70 จะส่งผลทำให้ประชากรโพรโทซัวกลุ่ม *Entodinium* spp. และ *Epidinium spp.* เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับอาหารสูตร 70:30

ผลงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้อาหาร T2 ไม่สามารถปรับปรุงการหมักในกระเพาะรูเมนได้ เพราะจากผลการหมักในกระเพาะรูเมนพบว่ากรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริกของ T2 ไม่แตกต่างกับ T1 นั้นแสดงว่ากระบวนการสังเคราะห์กรดโพรพิโอนิกที่จะทำหน้าที่แย่งจับ H^+ ไม่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกัน T2 ที่มีส่วนประกอบของมันสำปะหลังเส้น จะทำให้ประชากรโพรโทซัวเพิ่มมากขึ้น และเป็นที่ทราบกันว่า methanogenic bacteria สามารถใช้ H^+ ที่เป็นผลผลิตจากโพรโทซัวมาใช้สังเคราะห์มีเทนได้ และเมื่อจุลินทรีย์ไม่สามารถสามารถสังเคราะห์กรดโพรพิโอนิกเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ methanogenic bacteria สามารถใช้ H^+ สังเคราะห์มีเทนเพิ่มมากขึ้น เป็นไปตามการรายงานของ Hegarty (1999) ที่พบว่าโพรโทซัวจะเป็นจุลินทรีย์กลุ่มหมักอินทรีย์สาร ผลผลิตที่ได้นอกจะกรดไขมันระเหยง่ายแล้ว ยังพบว่ามี H^+ ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ Van Kessel และ Russell (1996) ได้รายงานว่าระดับ pH ในรูเมนที่เป็นระดับ 7.0 ที่มีสถานะเป็นกลางจะทำให้ methanogenic bacteria สังเคราะห์มีเทนได้ดีที่สุด ซึ่งงานวิจัยงานนี้มีค่า pH ในกระเพาะรูเมนของกลุ่ม T1 และ T2 อยู่ที่ 7.08 และ 7.09 ตามลำดับ แสดงว่าเป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับ methanogenic bacteria ที่จะสังเคราะห์มีเทน จึงทำให้ผลผลิตก๊าซมีเทนในกลุ่ม T2 สูงกว่า T1

สรุปผลการทดลอง

การเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 133 กรัมต่อวันบนพื้นฐานอาหารหยาบเป็นหญ้าแพงโกลา ส่งผลทำให้ระดับกลูโคสในเลือด และองค์ประกอบแลคโตสในน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลทำให้มีปริมาณก๊าซรวมที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง รวมไปถึงปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แต่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร การหมักในกระเพาะรูเมน และผลผลิตน้ำนม

สรุปได้ว่าการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต และแหล่งพลังงาน โดยไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร และค่าการหมักในกระเพาะรูเมน แต่ไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้เลี้ยงแพะนม ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตควบคู่ไปกับการลดการผลิตก๊าซมีเทน

งานวิจัยในอนาคตจึงควรมีการเสริมมันสำปะหลังเส้นที่ระดับสูงขึ้น ได้แก่ที่ระดับ 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้อาหาร การหมักในกระเพาะรูเมนและวิเคราะห์หาจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย. 2559. ราคามันสำปะหลัง. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.tapiocaonline.com. เข้าถึงเมื่อ 3 กรกฎาคม 2559.

มาตรฐานสินค้าเกษตร 2554. หญ้าแพงโกลาสด (fresh pangola grass). สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 129:12(ง).

Abecia L Toral P Martín-García A Martínez G Tomkins N Molina-Alcaide E Newbold C and Yáñez-Ruiz D 2012. Effect of bromochloromethane on methane emission, rumen fermentation pattern, milk yield, and fatty acid profile in lactating dairy goats. J Dairy Sci. 95(4): 2027-2036.

Almeida AK Resende KT Silva SPD Soares DDC Fernandes MHM and Teixeira MDA 2015. Protein requirements for growth in male and female Saanen goats. Rev Bras Zootec. 44(11): 397-404.

Angthong W Noiuthai S Chaichaum W and Chomchai N 2006. Nutritive values of different growth pangola hay (Digitaria eriantha). Annual Report Year. 0514-0218.

Antai SP and Mbongo PN 1994. Utilization of cassava peels as substrate for crude protein formation. Plant Foods Hum Nutr. 46: 345-351.

Association of Official Analytical Chemists 2000. Official Methods of Analysis. In: Association of Official Analytical Chemists Inc, Washington D.C., the United States.

Archimède H Boval M Alexandre G Xandé A Aumont G and Poncet C 2000. Effect of regrowth age on intake and digestion of Digitaria decumbens consumed by Black-belly sheep. Anim Feed Sci Technol. 87(3): 153-162.

Aregheore EM and Perera D 2004. Effects of Erythrinavariegata, Gliricidiasepium and Leucaenaleucocephala on dry matter intake and nutrient digestibility of maizest over before and after spraying with molasses. Anim Feed Sci Technol. 111: 191-201.

Bach A Calsamiglia S and Stern M 2004. Nitrogen metabolism in the rumen. J Dairy Sci. 88: E9-E21.

Chulalongkorn University

Bauman DE and Currie WB 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. J Dairy Sci. 63(9): 1514-1529.

Beauchemin KA Yang WZ and Rode LM 2003. Effects of particle size of alfalfa based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation, and milk production. J Dairy Sci. 86: 630–643.

Blummel M and Orskov ER 1993. Comparison of in vitro gas produciton and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. Anim Feed Sci Technol. 40: 109-119.

Bines J Brumby P Storry J Fulford RJ and Braithwaite G 1978. The effect of protected lipids on nutrient intakes, blood and rumen metabolites and milk secretion in dairy cows during early lactation. J Agr Sci. 91(01): 135-150.

Boonnop K Wanapat M and Navanukraw C 2010. Replacement of soybean meal by yeast fermented-cassava chip protein (YEFECAP) in concentrate diets fed on rumen fermentation, microbial population and nutrient digestibilities in ruminants. J Anim Vet Adv. 9: 1727-1734.

Bruce WC 1995. Structure and function of domestic animals. CRC Press, New York.

Cardoso AP Mirione E Ernesto M Massaza F Cliff J Haque MR and Bradbury JH 2005. Processingof cassava roots to remove cyanogens. J Food Comp Anal. 18(4): 51–60.

Cerrilla MEO and Martínez GM 2003. Starch digestion and glucose metabolism in the ruminant: A review. Caracas: Asociacion Interciencia. 28(7): 380-386.

Chalupa W and Sniffen CJ 2000. Balancing rations for milk components. Adv Dairy Technol. 12: 27-42.

Chanjula P Ngampongsai W and Wanapat M 2007. Effecf of levels of urea and cassava chip on feed intake, rumen fermentation, blood metabolites and microbial populations in growing goats. Songklanakarin J Sci Technol. 29(1) : 37-48.

Chanjula P Wanapat M Wachirapakorn C and Rowlinson P 2004. Effect of synchronizing starch sources and protein (NPN) in the rumen on feed intake, rumen microbial fermentation, nutrient utilization and performance of lactating dairy cows. Asian-Aust J Anim Sci. 17: 1400-1410.

Chulalongkorn University

Chanjula P Wanapat M Wachirapakorn C Uriyapongson S and Rowlinson P 2003. Ruminal degradability of tropical feeds and their potential use in ruminant diets. Asian-Aust J Anim Sci. 16(2): 211-216.

Chaokaur A Poathong S Srisuk S Maiklang S Wiangsanthiah S and Santhong C 2012. Protein requirement for the maintenance and gain of growing goats fed leucaena leucocephalade roughage-based diets in thailand. Proceedings of the 1st Asia Dairy Goat Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 9-12 April 2012.

Chavez J Bernal G RodrÃguez A Mark K DÃaz E Aguilera A de Souza TR Betancourt C and CÃ M 2009. Influence of pregnancy and lactation on glucose metabolism of nubian goats. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 11(1): 225-232.

Cherney D Givens D Owen E Axford R and Omed H 2000. Characterization of forages by chemical analysis. Forage evaluation in ruminant nutrition. pp. 281-300.

Chobtang J Angthong W Khotprom N Phojun S and Namsilee R 2012. Effect of quality of Digitaria eriantha hay on intake, digestibility and methane emission by beef cattle. Khon Kaen Agric J. 40: 166-169.

Chumpawadee S Chantiratikul A and Chantiratikul P 2007. Chemical compositions and nutritional evaluation of energy feeds for ruminant using in vitro gas production technique. Pak J Nutr. 6(6): 607-612.

Cone JW Gelder AH and Driehuis F 1997. Description of gas production profiles with a three-phasic model. Anim Feed Sci Technol. 66(1): 31-45.

Cummins B Kiely PO Keane MG and Kenny DA 2009. Feed intake pattern, behaviour, rumen characteristics and blood metabolites of finishing beef steers offered total mixed rations constituted at feeding or ensiling. Irish J Agr Food Res. 57-73.

D'Mello JPF 2000. Anti-nutritional factors and mycotoxins. In: Farm animal metabolism and nutrition. CAB International Wallingford, UK. pp. 383-403.

Demeyer D and Fievez V 2000. Ruminants et environnement: la méthanogenèse.Ann Zootech. 95-112.

Dijkstra T Barkema H Vanbuuren R Vanspanje J and Jorritsma H 1994. Excretion of intra-uterine applied oxytetracycline and lugol in cows milk. Tijdschrift voor Diergeneeskunde. 119(21): 634.

Diogenes PVA Suassuna ACD Ahid SMM and Soto-Blanco B 2010. Serum protein electrophoretie profile of goats infected with H aemonch uscontortus. J Anim Vet Adv. 9(11):1603-1606.

Drackley JK Overton TR and Douglas GN 2001. Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. J Dairy Sci. 84: E100-E112.

Erdman R 1988. Forage pH effects on intake in early lactation dairy cows. J Dairy Sci. 71(5): 1198-1203.

FAO/WHO 1991. Joint FAO/WHO food standards programme. In: Codex Alimentarius CommissionXII (Suppl. 4). Rome: FAO.

FAO 2012. FAOSTAT [Online]. Available: http://faostat.fao.org/, Accessed July 3, 2016.

Fernandez JR Ramos E De La Torre G Hermoso R Gil EF and Sanz SMR 2007. Blood metabolites as indicators of energy status in goats. In: Priolo A. (ed.), Bion di L. (ed.), Ben Salem H. (ed.), Morand-Fehr P. (ed.). Advanced nutrition and feeding strategies to improve sheep and goat. Zaragoza:CIHEAM. pp. 451-455.

Ferreira A and Thornton J 2004. Feed intake and growth of Saanen kids weaned at 42 and 70 days of age. S Afr J Anim Sci. 34(5).

Firat A and Ozpinar A 1996. The study of changes in some blood parameters (glucose, urea, bilirubin, AST) during and after pregnancy in association with nutritional conditions and litter size in ewes. Turk J Vet Anim Sci. 20(5): 387-393.

Franzolin R and Dehority B 1996. Effect of prolonged high-concentrate feeding on ruminal protozoa concentrations. J Anim Sci. 74(11): 2803-2809.

Getachew G Blümmel M Makkar H and Becker K 1998. In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. Anim Feed Sci Technol. 72(3): 261-281.

Gordon F and Forbes T 1971. Effect of fibre level in the diet of the dairy cow on milk yield and composition. J Dairy Res. 38(03): 381-391.

Gozho GN Plaizier JC Krause DO Kennedy AD and Wittenberg KM 2005. Subacuteruminal acidosis induces ruminal lipopolysaccharide endotoxin release and triggers an inflammatory response. J Dairy Sci. 88: 1399–1403.

Hahn S and Keyser J 1985. Cassava: A basic food of Africa. Outlook on Agriculture. 14(2): 95-99.

Halkier A Helgaker T Jørgensen P Klopper W Koch H Olsen J and Wilson AK 1998. Basis-set convergence in correlated calculations on Ne, N2, and H2O. Chem Phys Lett. 286(3): 243-252.

Hassanat F Gervais R Massé D Petit H and Benchaar C 2014. Methane production, nutrient digestion, ruminal fermentation, N balance, and milk production of cows fed timothy silage-or alfalfa silage-based diets. J Dairy Sci. 97(10): 6463-6474.

Hegarty R 1999. Reducing rumen methane emissions through elimination of rumen protozoa. Crop Pasture Sci. 50(8): 1321-1328.

Holzer Z Aharoni Y Lubimov V and Brosh A 1997. The feasibility of replacement of grain by tapioca in diets for growing-fattening cattle. Anim Feed Sci Technol. 64: 133-141.

Hoover WH and Stokes SR 1991. Balancing carbohydrate and proteins for optimum rumen microbial yield. J Dairy Sci. 74: 3640-3644.

Horadagoda A Fulkerson WJ Barchia I Dobos RC and Nandra KS 2008. The effect of grain species, processing and time of feeding on the efficiency of feed utilization and microbial protein synthesis in sheep. Livest Sci. 114: 117-126.

Hove K and Halse K 1983. Energy metabolism in ruminants with special reference on ketosis and fertility. Proc. 5th Int. onf. Prod. Dis. Farm Anim. Uppsata, Sweden. pp. 115-123.

Hristov AN Ivan M Rode LM and McAllister TA 2001. Fermentation characteristics and ruminal ciliate protozoal populations in cattle fed medium or high concentrate barley based diets. J Anim Sci. 79: 515-524.

Jetana T Vongpipatana C Usawang S and Thongruay S 2011. The use of tropical protein-rich leaves as supplements to Thai swamp buffalo receiving a basal diet of rice straw and treated leucaena (Leucaena leucocephala). Trop Anim Health Pro. 43(1): 57-67.

Johnson KA and Johnson DE 1995. Methane emissions from cattle. J Anim Sci. 73(8): 2483-2492.

Jouany JP and Ushida K 1999. The role of protozoa in feed digestion. Asian-Aust J Anim Sci. 12: 113-128.

Journet M and Chilliard Y 1985. Influence de l'alimentation sur la composition du lait. 1. Taux butyreux: facteurs generaux. Bulletin Technique Centre de Recherches Zootechniques et Veterinaires Theix.

Kaewkunya C Meenongyai W Vaduancai D and Puttaisong W 2013. The use of lablab bean as high quality roughage on sheep productive performance. Khon Kaen Agric J. 41: 369-375.

Kanjanapruthipong J Bautoug N Kanto U Juttupornpong S and Chaw-Uthai W 2000. Cassava chips and ground corn as sources of total non-fiber carbohydrate in total mixed ration for dairy cows. Asian-Aust J Anim Sci. 14: 206-210.

Keunen JE Plaizier JC Kyriazakis L Duffield TF and Widowski TM 2002. Effects of a subacuteruminal acidosis model on the diet selection of dairy cows. J Dairy Sci. 85: 3304–3313.

Khampa S Chaowarat P Singhalert R Pilajun R and Wanapat M 2009. Supplementation of yeastfermented cassava chip as a replacement concentrate on rumen fermentation efficiency and digestibility of nutrients in heifer. J Anim Vet Adv. 8: 1091-1095.

Khampa S Ittharat S and Koatdoke U 2011. Enrichment value of yeast-malate fermented cassava pulp and cassava hay as protein source replace soybean meal in concentrate on rumen ecology in crossbred native cattle. Pak J Nutr. 10(12): 1126-1131.

Khampa S and Wanapat M 2006. Influences of energy sources and levels supplementation on ruminal fermentation and microbial protein synthesis in dairy steers. Pak J Nutr. 5(4): 294-300.

Khampa S Wanapat M Wachirapakorn C Nontaso N and Wattiaux M 2006. Effect of levels of sodium dl-malate supplementation on ruminal fermentation efficiency in concentrates containing high levels of cassava chip in dairy steers. Asian-Aust J Anim Sci. 19: 368-375.

Khan NA and Habib G 2012. Assessment of Grewia oppositifolia leaves as crude protein supplement to low-quality forage diets of sheep. Trop Anim Health Pro. 44(7): 1375-1381.

Kleen JL Hooijer GA Rehage J and Noordhuizen JP 2003. Subacuteruminal acidosis (SARA): a review. J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med. 50: 406–414.

Koch B Nielsen VS Halkier BA Olsen CE and Moller BL 1992. The biosynthesis of cyano genicglucosides in seedlings of cassava (ManihotesculentaCrantz). Arch Biochem Biophys. 292(1): 141-150

Kumar R 1991. Antinutritional factors the potential risks of toxicity and methods to alleviate them. In: Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock. Proceedings of the FAO Expert Consultation held at the Malaysian Agricultural Research and Development Institute (MARDI) in Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 145–160.

Lee MJ Hwang SY and Chiou PW 2000. Metabolizable energy of roughage in Taiwan. Small Rumin Res. 36(3): 251-259.

Leng R 1970. Formation and production of volatile fatty acids in the rumen. Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant. 406-421.

Lima A Resende K Teixeira I Bompadre T Frighetto R and Fernandes M 2013. Methane emission and digestibility of goats subjected to feed restriction. In: Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production. ed. Springer. 119-120.

Liu Y and Whitman WB 2008. Metabolic, phylogenetic, and ecological diversity of the methanogenic archaea. Ann N Y Acad Sci. 1125(1): 171-189.

Lunsin R Wanapat M and Rowlinson P 2012. Effect of cassava hay and rice bran oil supplementation on rumen fermentation, milk yield and milk composition in lactating dairy cows. Asian-Aust J Anim Sci. 25(10): 1364-1373.

Lunsin R Wanapat M Wachirapakorn C and Navanukraw C 2010. Effect of pelleted cassava chip and raw banana (cass-bann) on rumen fermentation and utilization in lactating dairy cows. J Anim Vet Adv. 9(17): 2239-2245.

MacGregor CA Stokes MR Hoover WH Leonard HA Junkins LL Sniffen CJ and Mailman RW 1983. Effect of dietary concentration of total nonstructural carbohydrate

on energy and nitrogen metabolism and milk production of dairy cows. J Dairy Sci. 66: 39-55.

Machmuller A Soliva CR and Kreuzer M 2003. Effect of coconut oil and defaunation treatment on methanogenesis in sheep. Reprod Nutr Dev. 43: 41–55.

Martin C Morgavi DP and Doreau M 2010. Methane mitigation in ruminants: From microbe to the farm scale. Animal. 4(3): 351–365.

Mavrogenis A and Papachristoforou C 1988. Estimation of the energy value of milk and prediction of fat-corrected milk yield in sheep and goats. Small Rumin Res. 1(3): 229-236.

McAllister T Bae H Jones G and Cheng K 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. J Anim Sci. 72(11): 3004-3018.

Melaku S Peters KJ and Tegegne A 2004. Microbial nitrogen supply nitrogen retention and rumen function in Menz sheep supplemented with dried leaves of multipurpose trees theirmixtures or wheat bran. Small Rumin Res. 52: 25-36.

Menke KH Raab L Salewski A Steingass H Fritz D and Schneider W 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding-stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. J Agri Sci. (Camb.) 93: 217-222.

Menke KH and Steingass H 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. Anim Res Dev. 28: 7-55.

Miettinen H and Huhtanent P 1996. Effects of the ratio of ruminal propionate to butyrate on milk yield and blood metabolites in dairy cows. J Dairy Sci. 79: 851-861.

Moore CP and Cock JH 1985. Cassava forage silage as a feed source for zebu calves in the tropics. (International Mineral and Chemical Corporation, Terre Haute, Indiana (USA)).

Moss AR Jouany JP and Newbold J 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. Ann Zootech. 231-253.

Mourits M Galligan D Dijkhuizen A and Huirne R 2000. Optimization of dairy heifer management decisions based on production conditions of Pennsylvania. J Dairy Sci. 83(9): 1989-1997.

National Research Council 1971. A Guide to Environmental Research on Animals. In: National Academy Press, National Academy Press.

Nitipot P Nishida T Chaithiang R Pattarajinda V and Sommart K 2009. Metabolizable energy evaluation of pangola grass hay, cassava chip, cassava pulp and brewery waste in Thai native cattle. Proceedings of the Annual Seminar on Agricultural Tea. 55-57.

Nitipot P and Sommart K 2003. Evaluation of ruminant nutritive value of cassava starch industry by products, energy feed sources and roughages using in vitro gas production technique. Proceeding of Annual Agricultural Seminar for year. 27-28.

Owens F and Zinn R 1988. Protein metabolism of ruminant animals. The ruminant animal: digestive physiology and nutrition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 227-249.

Paengkoum P Liang J Jelan Z and Basery M 2006. Utilization of steam-treated oil palm fronds in growing saanen goats: II. Supplementation with Energy and Urea. Asian-Aust J Anim Sci. 19(11): 1623.

Phengvichith V and Ledin I 2007. Effects of supplementing gamba grass (Andropogongayanus) with cassava (ManihotesculentaCrantz) hay and cassava root chips on feed intake digestibility and growth in goats. Asian-Aust J Anim Sci. 20(5): 725-732.

Pilajun R and Wanapat M 2014. Effect of Roughage to Concentrate Ratio and Plant Oil Supplementation on In vitro Fermentation End-Products. Pak J Nutr. 13(9): 492.

Pitaksinsuk C Krotpom N Panichpol V and Angthong W 2007. Nutritive value evaluation of pangola hay. Annual Report Year. 0214-0109.

Plaizier JC Krause DO Gozho GN and McBride BW 2008. Sub-acute ruminal in dairy cows: the physiological causes, incidence and consequences. Vet J. 176: 21–31.

Polyorach S Wanapat M and Cherdthong A 2014. Influence of yeast fermented cassava chip protein (YEFECAP) and roughage to concentrate ratio on ruminal

fermentation and microorganisms using in vitro gas production technique. Asian-Aust J Anim Sci. 1: 36-45.

Polyorach S Wanapat M and Wanapat S 2012. Increasing protein content of cassava (Manihot esculenta, Crantz) using yeast in fermentation. Khon Kaen Agr J. 40(suppl 2): 178-182.

Polyorach S Wanapat M and Wanapat S 2013. Enrichment of protein content in cassava (Manihot esculenta Crantz) by supplementing with yeast for use as animal feed. Emir J Food Agric. 25(2): 142.

Powell E 1938. One cause of fat variation in milk. Proceedings of the American Society of Animal Nutrition. 1938(1): 40-47.

Ramos S Molina-Alcaide E Cantalapiedra-Hijar G Yáñez-Ruíz DR Tejido ML and Carro M 2011. Digestibility and ruminal fermentation of diets differing in forage type and forage to concentrate ratio in sheep and goats. Centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes. 99: 41-46.

Rezaeisaber A Daryoush A Farzad N Javad K Hossein D and Farzin A 2013. BHBA NEFA and LDH have changed in fatty liver syndrome: An Abattoir-based study. Eur J Exp Biol. 3(1): 572-575.

Rukkwamsuk T Kruip T and Wensing T 1999. Relationship between overfeeding and overconditioning in the dry period and the problems of high producing dairy cows during the postparturient period. Vet Quart. 21(3): 71-77.

Russel A and Wright I 1983. The use of blood metabolites in the determination of energy status in beef cows. Anim Pro. 37(03): 335-343.

Russell JB O'Connor JD Fox DG Van Soest PJ and Sniffen CJ 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. J Anim Sci. 70: 3551-3561.

Sadjadian R Seifi HA Mohri M Naserian AA and Farzaneh N 2013. Effects of monensin on metabolism and pruduciton in dairy saanen goats in periparturient period. Asian-Aust J Anim Sci. 26: 82–89.

Sahlu T Hart S and Fernandez J 1992. Nitrogen metabolism and blood metabolites in three goat breeds fed increasing amounts of protein. Small Rumin Res. 10(4): 281-292.

Saini J Hundal J Wadhwa M and Bakshi M 2012. Effect of roughage to concentrate ratio in the diet on the rumen environment and nutrient utilization in goat and sheep. Indian J Anim Nutr. 4: 333-338.

Saipin N Chanpongsang S and Chaiyabutr N 2013. Milk production and mammary extraction of nutrients by late lactating crossbred saanen goats supplemented with betaine in diet. Thai J Vet Med. 2013. 43(4): 563-571.

Sallam SMA Nasser MEA Waziry AM Bueno ICS and Abdalla AL 2007. Use of an in vitro rumen gas production technique to evaluate some ruminant feedstuffs. J Appl Sci Res. 3(1): 34-41.

Sano H Takebayashi A Kodama Y Nakamura K Ito H Arino Y Fujita T Takahashi H and Ambo K 1999. Effects of feed restriction and cold exposure on glucose metabolism in response to feeding and insulin in sheep. J Anim Sci. 77(9): 2564-2573.

Satter L and Slyter L 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. Br J Nutr. 32(02): 199-208.

Serment A Schmidely P Giger-Reverdin S Chapoutot P and Sauvant D 2011. Effects of the percentage of concentrate on rumen fermentation, nutrient digestibility, plasma metabolites, and milk composition in mid-lactation goats. J Dairy Sci. 94(8): 3960-3972.

Singh M and Ludri R 2002. Milk production, blood metabolites and circulatory levels of hormones in crossbred goats. Asian-Aust J Anim Sci. 15(7): 963-967.

Sommart K Wanapat M Parker DS and Rowlinson P 2000. Cassava chip as an energy source for lactating dairy cows fed rice straw. Asian-Aust J Anim Sci. 13: 1094-1101.

Sormunen-Cristian R and Jauhiainen L 2001. Comparison of hay and silage for pregnant and lactating Finnish Landrace ewes. Small Rumin Res. 39(1): 47-57.

Souza R Alcalde C Oliveira CA Molina BS Macedo F Gomes LC Hygino B and Possamai APS 2014. Lactation curves and economic results of Saanen goats fed increasing dietary energy levels obtained by the addition of calcium salts of fatty acids. Rev Bras Zootec. 43(2): 73-79.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Suksombat W Lounglawan P and Noosen P 2006. Energy and protein evaluation of five feedstuffs used in diet in which cassava pulp as main energy source for lactating dairy cows. Suranaree J Sci Technol. 14(1): 99-107.

Suranindyah Y and Astuti A 2012. The effects of feeding dried fermented cassava peel on milk production and composition of Etawah crossed bred goat. World Acad Sci Eng Technol. 70: 10-21.

Sutton J 1980. Digestion and end-product formation in the rumen from production rations. In: Digestive physiology and metabolism in ruminants. ed. Springer. 271-290.

Sutton J Broster W Napper D and Siviter J 1985. Feeding frequency for lactating cows: effects on digestion, milk production and energy utilization. Br J Nutr. 53(1): 117-130.

Suzuki T Phaowphaisal I Pholsen P Narmsilee R Indramanee S Nitipot P Chaokaur A Sommart K Khotprom N and Panichpol V 2008. In vivo nutritive value of pangola grass (Digitaria eriantha) hay by a novel indirect calorimeter with a ventilated hood in Thailand. Jpn Agric Res Q. 42(2): 123-129.

Tan ND Wanapat M Uriyapongson S Cherdthong A and Pilajun R 2012. Enhancing mulberry leaf meal with urea by pelleting to improve rumen fermentation in cattle. Asian-Aust J Anim Sci. 4: 452–461.

Tan Z Lu D Hu M Niu W Han C Ren X Na R and Lin S 2002. Effect of dietary structural to nonstructural carbohydrate ratio on rumen degradability and digestibility of fiber fractions of wheat straw in sheep. Asian-Australas J Anim Sci. 15: 1591-1598.

Teles FF. 2002. Chronic poisoning by hydrogen cyanide in cassava and its prevention in Africa and Latin America. Food Nutr Bull. 23: 407–12.

Thammacharoen S Chanpongsang S and Chaiyabutr N 2001. Effects of monensin administration on mammary function in late lactating crossbred Holstein cattle. Asian-Aust J Anim Sci. 14(12): 1712–1718.

Tikam K Mikled C Vearasilp T Phatsara C and Sudekum KH 2010. Digestibility of nutrient and evaluation of energy of pangola grass in sheep compared with napier grass. Conference on International Research on Food Security. ETH ZUrich. 14-16 September 2010.

Tikam K Phatsara C Mikled C Vearasilp T Phunphiphat W Chobtang J Cherdthong A and Südekum KH 2013. Pangola grass as forage for ruminant animals: a review. SpringerPlus. 2(1): 1.

Tikam K Phatsara C Sorachakula C Vearasilp T Samiprem S Cherdthong A Gerlach K and Südekum KH 2014. In vitro gas production, in vivo nutrient digestibilities, and metabolisable energy concentrations for sheep of fresh and conserved pangola grass. Small Rumin Res. 128: 34-40.

Van Niekerk W and Casey N 1988. The Boer goat. II. Growth, nutrient requirements, carcass and meat quality. Small Rumin Res. 1(4): 355-368.

Van Kessel JAS and Russell JB 1996. The effect of pH on ruminal methanogenesis. FEMS Microbiol Ecol. 20(4): 205-210.

Van Soest PJ Robertson JB and Lewis BA 1991. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J Dairy Sci. 74: 3583-3597.

Wagman DD Evans WH Parker VB Schumm RH Halow I Bailey SM Churney KL and Nuttall RL 1968. The NBS Tables of Chemical Thermodynamic Properties-Selected Values for Inorganic and C1 and C2 Organic Substances in SI Units. J Phys Chem. 11(2).

Wanapat M 2003. Manipulation of cassava cultivation and utilization to improve protein to energy biomass for livestock feeding in the tropics. Asian-Aust J Anim Sci. 16(3): 463-472.

Wanapat M 1995. The use of local feed resources for livestock production in Thailand. Proceedings of the International Conference on Increasing Animal Production with Local Resources (Editor: Guo Tingshuang). China Forestry Publishing House, Ministry of Agriculture, China.

Wanapat M Boonnop K Promkot C and Cherdthong A 2011. Effects of alternative protein sources on rumen microbes and productivity of dairy cows. Maejo Int J Sci Technol. 5(1): 13-23.

Wanapat M and Khampa S 2007. Effect of levels of supplementation of concentrate containing high levels of cassava chip on rumen ecology, microbial N supply and digestibility of nutrients in beef cattle. Asian-Aust J Anim Sci. 20: 75-81.

Wanapat M and Pimpa O 1999. Effect of ruminal NH_3-N levels on ruminal fermentaion purine derivatives digestibility and rice straw intake in swamp buffaloes. Asian-Aust J Anim Sci. 12: 904-907.

Wanapat M Pimpa O Sripuek W Puramongkul T Petlum A Boontao U Wachirapakorn C Sommart K and Brooker JD 1999. Cassava hay: an important on farm feed for ruminants. In: Tannis in livestock and human nutrition. Proceedings. Adeleaide: CABI International. pp. 71-74.

Watson C and Norton B 1982. The utilization of pangola grass hay by sheep and angora goats. Proc Aust Soc Anim Prod. 467-470.

West HJ 1996. Maternal undernutrition during late pregnancy in sheep. Its relationship to maternal condition, gestation length, hepatic physiology and glucose metabolism.Br J Nutr. 75(04): 593-605.

Williams A and Coleman G 1992. The Rumen Protozoa, Brock. Springer Series in Contemporary Bioscience, Springer-Verlag, New York.

Williams B 2000. Cumulative gas-production techniques for forage evaluation. Forage Evaluation in Ruminant Nutrition. 189-213.

Yang CM and Varga G 1989. Effect of three concentrate feeding frequencies on rumen protozoa, rumen digesta kinetics, and milk yield in dairy cows. J Dairy Sci. 72(4): 950-957.

Yang W and Beauchemin K 2006. Physically effective fiber: Method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. J Dairy Sci. 89(7): 2618-2633.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภานุมาศ คงปันนา เกิดเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2533 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสุราษฎร์ธานี และเข้าศึกษาต่อในระดับมหาวิทยาลัย โดยสำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา (วิทยาศาสตร์บัณฑิต) จากภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2555 และได้ทำการศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตศึกษา ที่ภาควิชาสัตวบาล คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University