ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ สัตวบาล

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง การใช้ใบมันสำปะหลังทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารโคขุน

Utilization of Cassava Leaf as a Replacement for Soybean Meal in Diets of Fattening Beef

นามผู้วิจัย นายพิชิตพล อังธีระนุวงศ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลอชาติ บุญเอก, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุริยะ สะวานนท์, Ph.D.)

.....

(อาจารย์สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้ใบมันสำปะหลังทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารโคขุน

Utilization of Cassava Leaf as a Replacement for Soybean Meal in Diets of Fattening Beef

โดย

นายพิชิตพล อังธีระนุวงศ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

พ.ศ. 2552

พิชิตพล อังธีระนุวงศ์ 2552: การใช้ใบมันสำปะหลังทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารโคขุน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลอชาติ บุญเอก, Ph.D. 96 หน้า

การทดลองที่ 1 เพื่อประเมินคุณภาพของใบมันสำปะหลังจากวิธีการและระยะเวลาการหมักที่ต่างกัน กลุ่มการทดลองประกอบด้วยวิธีการหมักใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว หรือ หมักร่วมกับกากมันสำปะหลัง เป็นเวลา 0, 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน พบว่า ใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นเวลา 60 วัน มีค่าวัตถุแห้ง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) pH และกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) ต่ำสุด และมีกรดไขมันระเหยได้ง่ายสูงสุด ($p<0.01$) ขณะที่วิธีหมักใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลังมี NH_3-N pH และ HCN ต่ำกว่า และมีกรดไขมันระเหยได้ง่าย แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก กรดแลคติก คาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ และวัตถุแห้ง สูงกว่าวิธีหมักด้วยใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว ($p<0.01$) การทดลองนี้สรุปได้ว่าใบมันสำปะหลังที่หมักร่วมกับกากมันสำปะหลังเป็นระยะเวลา 60 วันเป็นอาหารหมักสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์กระเพาะรวมที่มีคุณภาพดีที่สุด

การทดลองที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของใบมันสำปะหลังแห้งที่เก็บไว้ในเวลาที่ต่างกัน โดยนำใบมันสำปะหลังสด (ระดับ HCN คือ 863.58 มก./กก.วัตถุแห้ง) มาตากแห้งแล้วเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 1, 3, 5, 7 และ 11 วัน พบว่า มีระดับ HCN ลดลงเหลือ 204.47, 167.57, 112.58, 90.47, 63.13 และ 61.25 มก./กก.วัตถุแห้ง ตามลำดับ การทดลองนี้สรุปได้ว่าใบมันสำปะหลังที่ตากแห้งเป็นเวลา 7 และ 11 วันมีระดับ HCN ต่ำสุด และการตากแห้งเป็นวิธีลดระดับ HCN ในใบมันสำปะหลังที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการหมัก (61.25 ต่อ 229.78 มก./กก.วัตถุแห้ง)

การทดลองที่ 3 เพื่อศึกษาผลการเลี้ยงโคเนื้อลูกผสม (ไทยพื้นเมือง x บราห์มัน) เพศผู้ ด้วยหญ้าขนเป็นอาหารหยาบพื้นฐานและอาหารข้นที่มีแหล่งโปรตีนหลักต่างกัน คือ กากถั่วเหลือง (สูตร1) ใบมันสำปะหลังแห้ง (สูตร2) หรือใบมันสำปะหลังหมัก (สูตร3) ผลการทดลองพบว่า ค่า pH ในกระเพาะหมักและความเข้มข้นกลูโคสในเลือดของโคทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โคที่กินอาหารข้นสูตร 1 มีความเข้มข้น NH_3-N ในกระเพาะหมักและยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดสูงสุด คือ 9.97 มก.เปอร์เซ็นต์ และ 14.63 มก.เปอร์เซ็นต์ ($p<0.01$) ตามลำดับ โคที่กินอาหารข้นสูตร 2 มีปริมาณการกินได้คิดเป็นวัตถุแห้ง ($p<0.05$) ระดับกรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดโพรพิโอนิกต่ำสุด ($p<0.01$) คือ 7.97 กก./วัน 54.20, 18.05 และ 7.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามโคที่ได้กินอาหารทดลองสูตร 1, 2 และ 3 มีการเจริญเติบโตต่อวัน และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) มีผลให้ผลกำไรเท่ากับ 4.50, 21.58 และ 7.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ใบมันสำปะหลังทั้งในรูปหมักและตากแห้งมีประสิทธิภาพทดแทนกากถั่วเหลืองได้ดีในอาหารข้นของโคขุน แต่การใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารให้ผลตอบแทนจากการเลี้ยงสูงสุด

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Pichitpol Angteeranuwong 2009: Utilization of Cassava Leaf as a Replacement for Soybean Meal in Diets of Fattening Beef. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Lerchat Boonek, Ph.D. 96 pages.

Experiment 1: To evaluate quality of ensiled cassava leaf from various methods. Treatments were ensiled by spontaneous fermentation without additive and with cassava pulp as additive for 0, 7, 14, 21, 28 and 60 days. The result showed that silage on day 60 had the significant ($p<0.01$) lowest dry matter (DM), ammonia-N (NH_3-N), pH and hydrogen cyanide (HCN) and highest volatile fatty acid (VFA) while silage with cassava pulp added had a significant ($p<0.01$) lower NH_3-N, pH and HCN and higher lactic acid bacteria, lactic acid, VFA, water soluble carbohydrate and DM than without additives. It is concluded that cassava leaves ensiled with cassava pulp on day 60 had a greatest silage quality for utilization as ruminant feed.

Experiment 2: To compare quality of dry cassava leaf with different times of storage. The result showed that HCN levels of fresh cassava leaves (863.58 mg./kg. DM) were reduced after sun-drying and stored at room temperature for 0, 1, 3, 5, 7 and 11 days by 204.47, 167.57, 112.58, 90.47, 63.13 and 61.25 mg./kg. DM, respectively. The results indicated that sun-drying for 7 and 11 days had the lowest HCN concentration and more effective method than ensiling for reducing HCN in cassava leaves (61.25 vs. 229.78 mg./kg. DM).

Experiment 3: To investigate the effect of feeding crossbred bulls (Thai native x Brahman) with Panicum grass as basal roughage supplemented with concentrates contained different supplemental protein sources as followings: soybean meal (Diet1); dried cassava leaves (Diet2) or ensiled cassava leaves (Diet3). The results showed that the rumen pH and blood glucose (BG) were similar in all experimental groups ($p>0.05$). Ruminal NH_3-N concentration and blood urea nitrogen (BUN) were highest in diet1 ($p<0.01$) with mean values of 99.74 mg./l. and 14.63 mg.%, respectively. Total dry matter intake ($p<0.05$), acetic acid, butyric acid and propionic acid ($p<0.01$) were lowest in diet2 with mean values of 7.97 kg./d., 54.20, 18.05 and 7.63%, respectively. However, average daily growth (ADG) and feed conversion ratio (FCR) were similar in all experimental groups ($p>0.05$). The profit of feeding 3 experimental protein sources were 4.50, 21.58 and 7.89 % respectively. These results indicated that both dried and ensiled cassava leaves were effective for replacement of soybean meal in concentrate of fattening beef but dried cassava leaves gave the highest return.

_____ _____ ___ / ___ /

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอชาติ บุญเอก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุริยะ สะวานนท์ และ อาจารย์สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ แพงคำ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ความกรุณาและคำแนะนำในการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาสัตวบาลทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณ อาจารย์ปรีชา อินนุรักษ์ หัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตกระบือและโค มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำงานวิจัยและสัตว์ทดลอง ขอขอบคุณศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ และสถานีวิจัยกำแพงแสน สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับผสมอาหารสัตว์และหญ้าขน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ที่ให้คำแนะนำและความสะดวกในการทดลอง และขอขอบพระคุณมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ได้กรุณามอบทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง และขอขอบคุณโคทดลองทั้งหมดที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้

พิชิตพล อังธีระนุวงศ์

ตุลาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	21
ผลและวิจารณ์	34
สรุปและข้อเสนอแนะ	68
สรุป	68
ข้อเสนอแนะ	69
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	70
ภาคผนวก	81

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	มาตรฐานและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์มันเส้นและมันอัดเม็ดในประเทศไทย	7
2	ผลของระยะเวลาการตากมันสำปะหลังต่อระดับไซยาไนด์ในมันเส้น	8
3	ผลของระยะเวลาการเก็บต่อระดับไซยาไนด์ในมันเส้น	8
4	คุณค่าทางโภชนะของใบมันสำปะหลังและกากถั่วเหลืองในรูปเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง	9
5	กรดอะมิโนที่จำเป็นของใบมันสำปะหลังแห้งและกากถั่วเหลืองในรูปเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง	10
6	ส่วนประกอบสูตรอาหารทดลอง (ระดับโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์)	29
7	ระดับไซยาไนด์และแทนนินในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการต่างกัน	35
8	ระดับไซยาไนด์และแทนนินในใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลาต่างกัน	36
9	ค่าความเป็นกรด-ด่าง กรดแลคติก แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการต่างกัน	37
10	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริกในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)	37
11	ค่าความเป็นกรด-ด่าง กรดแลคติก แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ในใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลาต่างกัน	39
12	ระดับไซยาไนด์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง กรดแลคติก แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการและระยะเวลาต่างกัน	40
13	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริกในใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลาต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)	41
14	ระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการและระยะเวลาต่างกัน	42
15	ระดับกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิกริกในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการและระยะเวลาต่างกัน	43
16	องค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)	45

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	องค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลาต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)	46
18	ปริมาณไซยาไนด์และแทนนินในใบมันสำปะหลังสด ใบมันสำปะหลังแห้ง และใบมันสำปะหลังแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่างกัน	48
19	องค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังคิดเป็นเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง	49
20	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง	51
21	สภาพแวดล้อมในกระเพาะหมักของโคก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารทดลอง 3 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง	53
22	ปริมาณไขมันระเหยได้ง่ายภายในกระเพาะหมักก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารทดลอง 3 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง (เปอร์เซ็นต์)	55
23	ค่าทางชีววิทยาในเลือดของโคก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารทดลอง 3 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง	60
24	ผลการเลี้ยงโคขุนด้วยอาหารทดลอง 3 สูตรเป็นระยะเวลา 3 เดือนต่อปริมาณการกินอาหารข้น ปริมาณการกินอาหารหยาบ และปริมาณการกินได้ทั้งหมดในรูปวัตถุแห้ง	62
25	ผลการเลี้ยงโคขุนด้วยอาหารทดลอง 3 สูตรเป็นระยะเวลา 3 เดือนต่อน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร	65
26	ราคาต้นทุนของอาหารทดลอง 3 สูตร (บาท/กก.น้ำหนักสด)	66
27	ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการเลี้ยงโคเป็นเวลา 120 วันด้วยอาหารทดลอง 3 สูตร (บาท/ตัว)	67

ตารางผนวกที่

1	ปริมาณสารที่ใช้ในการทำ KCN standard solution ระดับความเข้มข้นต่างๆ	83
2	ปริมาณสารที่ใช้ในการทำ catechin standard solution ระดับความเข้มข้นต่างๆ	85

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กลไกการสร้างกรดไฮโดรไซยานิกในใบมันสำปะหลัง	13
2	กลไกการลดความเป็นพิษของไซยาไนด์ในร่างกายสัตว์	14
3	กลไกการยับยั้งการทำงานไซโทโครม ซี ออกซิเดส ของไซยาไนด์	14
4	การสลายตัวของวัตถุดิบอาหารหยาบชนิดต่างๆ ในกระเพาะหมักที่ช่วงเวลาต่างๆ ในรูปเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง	18

ภาพผนวกที่

1	กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ KCN standard solution ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร	84
2	กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ catechin standard solution ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร	86
3	ขั้นตอนการเจือจางตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	88
4	กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ D-glucose standard solution ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร	93

การใช้ใบมันสำปะหลังทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารโคขุน

Utilization of Cassava Leaf as a Replacement for Soybean Meal in Diets of Fattening Beef

คำนำ

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังประสบวิกฤติปัญหาอาหารราคาแพง เนื่องจากความต้องการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์มากขึ้น อาทิ แหล่งโปรตีนคุณภาพดี เช่น กากถั่วเหลือง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสัตว์เพิ่มขึ้นไปด้วย ใบมันสำปะหลัง (*Manihot Esculenta* Crantz.) เป็นผลพลอยได้จากการปลูกมันสำปะหลังที่มีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีความต้องการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ วัตถุดิบพลังงานทดแทน วัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมอื่นๆอีกมาก โดยในปี 2551 ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลังประมาณ 7.8 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) เมื่อคิดตามเกณฑ์ของเจริญศักดิ์ และคณะ (2531) ซึ่งรายงานน้ำหนักแห้งหลังเก็บเกี่ยวของใบมันสำปะหลังประมาณ 300-900 กก./ไร่/ปี ได้เป็นผลผลิตใบมันสำปะหลัง 2 ถึง 7 ล้านตันน้ำหนักแห้งต่อปี ใบมันสำปะหลังจึงเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกและสามารถหาได้ทั่วไปในแหล่งปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย

การใช้ใบมันสำปะหลังในสัตว์กระเพาะรวมมีความเหมาะสม เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพดี มีคุณสมบัติเป็นแหล่งโปรตีนไหลผ่าน (By-pass protein) ช่วยให้สัตว์ได้รับโปรตีนเพียงพอตามความต้องการ และเป็นแหล่งเยื่อใยที่มีความสามารถในการสลายตัวในกระเพาะหมักได้ดี สามารถใช้เป็นวัตถุดิบเสริมคุณภาพอาหารหยาบในฤดูฝนและทดแทนการใช้อาหารหยาบซึ่งมักขาดแคลนในฤดูแล้ง (เมธา, 2545) แต่ใบมันสำปะหลังสดมีระดับไซยาไนด์อยู่สูง ควรนำไปผ่านกระบวนการตากแห้งหรือการหมักเพื่อลดปริมาณไซยาไนด์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยก่อนนำมาเลี้ยงสัตว์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนหลักเปรียบเทียบกับโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารต่อประสิทธิภาพการหมักย่อยในกระเพาะหมักและสมรรถภาพการผลิตของโคขุน เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการใช้ใบมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเกษตรเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนและเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตสัตว์กระเพาะรวม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการหมักใบมันสำปะหลังร่วมกับกากแป้งมันสำปะหลังต่อปริมาณไซยาไนด์และคุณภาพของอาหารหมัก

2. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการตากแห้งใบมันสำปะหลังต่อปริมาณไซยาไนด์และองค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลัง

3. เพื่อศึกษาผลของการใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งทดแทนการใช้กากถั่วเหลืองในสูตรอาหารโคเนื้อ ต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมักและสมรรถภาพการผลิต

4. เพื่อศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเมื่อใช้ใบมันสำปะหลังทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารโคเนื้อ

การตรวจเอกสาร

มันสำปะหลัง (Cassava)

มันสำปะหลัง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot Esculenta* Crantz. จัดอยู่ในวงศ์ EUPHORBIACEAE มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกา เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยในปี 2551 ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลังประมาณ 7.8 ล้านไร่ ผลิตได้มากเป็นอันดับ 3 ของโลก คิดเป็นปริมาณหัวมันสำปะหลังสดประมาณ 25.16 ล้านตัน และส่งออกมันสำปะหลังได้มากเป็นอันดับ 1 ของโลก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ เจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงเป็นพืชที่เกษตรกรนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2531)

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2531; ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง, 2537)

ลำต้น มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มขนาดเล็กสูงประมาณ 1-5 ม. ลำต้นมีสีแตกต่างกันไปตามพันธุ์ เช่น สีเขียวเงิน สีเหลืองและสีน้ำตาล เป็นต้น เปลือกมีลักษณะบางหุ้มลำต้นสามารถลอกออกได้ง่าย เมื่อลอกออกจะเห็นเนื้อเยื่อสีเขียวภายใน ลำต้นของมันสำปะหลังจัดเป็นไม้เนื้ออ่อน ลักษณะภายในเหมือนพืชใบเลี้ยงคู่ทั่วไป มีน้ำยางสีขาวขุ่น และบริเวณเหนือรอยแผลมีตาที่สามารถเจริญเป็นต้นใหม่ได้

ใบ เป็นใบเดี่ยวออกสลับ มีรูปร่างแบบ palmately โดยแผ่นใบเว้าเป็นแฉก (lobe) มีรูปร่างและจำนวนแฉกแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ตามปกติมี 3-9 แฉก ยาวประมาณ 4-20 ซม. กว้างประมาณ 1-6 ซม. มีรูปทรงหลายประเภท เช่น เรียวยาว ป้อมสั้น และป้อมบางส่วน ก้านใบยาวประมาณ 5-20 ซม. สีของก้านใบและใบอ่อนแตกต่างกันไปตามพันธุ์ เช่น สีม่วงอ่อน สีเขียวอ่อน และสีเขียวเข้ม เป็นต้น

ดอก มันสำปะหลังเป็นพืชแบบ monoecious คือ มีทั้งดอกเพศผู้ (staminate flower) และดอกเพศเมีย (pistilate flower) อยู่ในช่อดอกเดียวกัน แต่ดอกเพศเมียจะบานและพร้อมผสมเกสรก่อนดอกตัวผู้ที่อยู่บนช่อเดียวกัน 7-10 วัน การผสมเกสรของมันสำปะหลังจัดเป็นการผสมข้ามต้น มีระยะการผสมเกสร 3 เดือน และช่อดอกเป็นแบบ panicle เกิดที่จุดแตกกิ่ง ธรรมชาติการผสมเกสร (pollination) ของมันสำปะหลังมักเกิดจากแมลงและลมเป็นตัวพาละอองเกสรไปตกบนยอด

เกสร (stigma) ของดอกเพศเมีย และเกิดการผสมพันธุ์ (fertilization) หลังจากผสมเกสรประมาณ 8-19 ชั่วโมง

ผล เป็นผลแบบ capsule ลักษณะของผลอาจเรียบหรือขรุขระ ผลเจริญเต็มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-1.5 ซม. เมื่อผลแก่เปลือกของผลจะแยกจากกันตามความยาวของผล และดีดเมล็ดกระจายออกไปภายใน 2-3 วัน

เมล็ด มีสีน้ำตาล คล้ายเมล็ดละหุ่งแต่มีขนาดเล็กกว่า มีระยะพักตัวประมาณ 2 เดือน เมื่อนำไปปลูกจะได้ต้นมันสำปะหลังที่มีระบบรากแก้ว ต่างกับการปลูกโดยใช้ท่อนพันธุ์ซึ่งต้นที่ได้จะมีระบบรากแขนง การปลูกด้วยเมล็ดทำให้เกิดความแปรผันทางพันธุกรรมสูง จึงนิยมขยายพันธุ์โดยใช้ท่อนพันธุ์ และใช้เมล็ดสำหรับการปรับปรุงพันธุ์เท่านั้น

ราก ระบบรากของมันสำปะหลังมี 2 ชนิด คือ รากจริง (true root) และรากพิเศษแบบสะสมอาหาร (storage root) โดยรากจริงทำหน้าที่ของรากปกติ คือเจริญเติบโตลงไปในดินมากกว่าด้านข้าง มีหน้าที่ดูดน้ำและอาหารเลี้ยงลำต้ น ส่วนรากพิเศษทำหน้าที่สะสมอาหารเรียกว่า หัว มีส่วนประกอบของแป้ง ประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 60-80 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปมันสำปะหลังต้นหนึ่งมีรากสะสมอาหารประมาณ 5-20 หัวต่อต้น ขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตของรากในช่วง 2 เดือนแรก หลังจากนั้นจำนวนรากจะคงที่และไม่เพิ่มขึ้นตลอดชั่วอายุการเก็บเกี่ยว (ดนัย, 2537) รูปร่าง ขนาด สี น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์แป้ง และปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกในหัวมันสำปะหลังแตกต่างกันไปตามพันธุ์ หากผ่าหัวมันสำปะหลังตามขวางสามารถแยกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของเปลือกชั้นนอก (periderm) เป็นเยื่อบางๆ โดยเป็นส่วนของชั้นคอร์ก (cork layer) และชั้นของเซลล์เยื่อบุชั้นนอก (epidermal cells)

2. ส่วนของเปลือกชั้นใน (cortical region) มีความหนาประมาณ 1-3 มม. อาจมีสีขาว สีน้ำตาล สีม่วง หรือ สีชมพู แตกต่างกันไปตามพันธุ์ เปลือกชั้นในเป็นส่วนของชั้น cortex ประกอบไปด้วยเซลล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ sclerenchyma, cortical-parenchyma และท่อลำเลียงอาหาร (phloem) ส่วนของเปลือกชั้นในและเปลือกชั้นนอกเรียกรวมกันว่า เปลือก ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้กับหัวมันสำปะหลังและมีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกประมาณ 150 - 1,110 มก./กก.น้ำหนักสด

3. ส่วนของเนื้อหัวหรือส่วนแกนกลาง (large central pith) เป็นส่วนที่สะสมแป้ง ประกอบไปด้วยเซลล์ชนิดต่างๆ คือ cambium, parenchyma และท่อลำเลียงน้ำ (xylem) เนื้อมันสำปะหลังมีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกประมาณ 5-490 มก./กก. น้ำหนักสด

2. พันธุ์มันสำปะหลัง (วิจารณ์, 2527)

มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม

1. พันธุ์ไม้ประดับ นิยมปลูกเพื่อความสวยงาม ใบมีแถบสีขาวและสีเหลืองกระจายไปตามความยาวของใบ

2. พันธุ์ชนิดหวาน ใช้หัวเพื่อเป็นอาหารมนุษย์ ไม่มีรสขม เนื่องจากมีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกต่ำ ได้แก่ พันธุ์ห้านาที พันธุ์มันสวน และระยอง 2 เป็นต้น

3. พันธุ์ชนิดขม ใช้ผลิตมันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมัน มีรสขม เนื่องจากมีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกสูง และใบมีโปรตีนสูง เช่น พันธุ์ระยอง 3 ระยอง 5 เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 60 เป็นต้น

3. การปลูก (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2531)

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชวันสั้น ต้องการแสงไม่เกิน 12 ชั่วโมง เป็นพืชเขตร้อน ต้องการอุณหภูมิในการเจริญเติบโตโดยเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 20ºC ปลูกในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 2,000 ม. สามารถปลูกได้โดยไม่ถูกจำกัดด้วยฤดูกาล เนื่องจากเป็นพืชที่มีความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศและทนแล้ง สามารถทนการขาดน้ำได้นานเป็นระยะเวลาติดต่อกัน 3-4 เดือน อย่างไรก็ตามมันสำปะหลังต้องการปริมาณน้ำฝน 1,000-3,000 มม./ปี และต้องการน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตโดยเฉพาะการเจริญเติบโตในระยะแรกและการสะสมแป้งในหัว มันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้แม้ในดินที่มีสภาพความอุดมสมบูรณ์ต่ำและมีความเป็นกรดสูง แต่เจริญเติบโตได้ไม่ดีในดินที่มีความเป็นด่าง ดินที่เหมาะสำหรับปลูกมันสำปะหลังควรเป็นดินร่วนปนทรายและน้ำไม่ท่วมขัง มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงและมีการสร้างแป้งต่อหน่วยพื้นที่ปลูกสูง ทำให้ดินที่ปลูกมันสำปะหลังมีความอุดมสมบรูณ์ลดลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยบำรุงดินอย่างถูกต้องนอกจากช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน

แล้วยังช่วยเพิ่มผลผลิตให้แก่มันสำปะหลังอีกด้วย การปลูกมันสำปะหลังเพื่อการค้ามักใช้ส่วนของท่อนพันธุ์ปักลงในดินโดยตาที่อยู่ด้านข้างจะเจริญเติบโตเป็นลำต้นและหลังจากปลูกประมาณ 2 เดือน รากสะสมแป้งจะค่อยๆ สะสมแป้งทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า หัว

4. การเก็บเกี่ยว

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชยืนต้น มีอายุหลายปี แต่เกษตรกรมักเก็บเกี่ยวตั้งแต่อายุ 8-14 เดือน โดยมีการเก็บเกี่ยวกระจายตลอดทั้งปีขึ้นอยู่กับสภาวะราคาและแรงงาน การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่ออายุมากมีผลให้มันสำปะหลังมีผลผลิตเพิ่มขึ้นแต่มีปริมาณแป้งลดลง เนื่องจากธรรมชาติของพืชมักมีการเปลี่ยนแป้งให้เป็นเยื่อใยเมื่อมีอายุมากขึ้น (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2531) หัวมันสำปะหลังสดที่ถูกตัดออกจากส่วนของลำต้นหรือเหง้าแล้ว นำมาร่อนให้ดินทรายที่ติดมาร่วงหลุดไปก่อนนำมาสับและผึ่งแดด เพื่อทำเป็นมันเส้นหรือนำเข้าสู่กระบวนการผลิตของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง (อุทัย และ สุกัญญา, 2547)

5. การใช้ประโยชน์

หัวมันสำปะหลังที่ผลิตได้ ถูกนำไปใช้ประโยชน์สำหรับเป็นอาหารของมนุษย์โดยตรง โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาที่อดอยากหิวโหยในเอเชีย แอฟริกา อเมริกาใต้ และตะวันออกกลาง โดยนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง เป็นส่วนประกอบการทำซ็อสลูกกวาด ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ไส้ขนมพาย แป้งพุดดิ้ง ผงชูรส และอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ กาว ภาชนะใส่อาหาร และไบโอเอทานอล (bioethanol) รวมทั้งการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดสำหรับเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เนื่องจากหัวมันสำปะหลังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรทอยู่สูงและมีราคาถูก การใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์ นอกจากช่วยลดต้นทุนการผลิตแล้วยังช่วยปรับปรุงสุขภาพและภูมิต้านทานของสัตว์ ตลอดจนปรับปรุงสภาพแวดล้อมการเลี้ยงสัตว์ให้ดีขึ้นด้วย (อุทัย และ สุกัญญา, 2545)

ประเทศไทยมีการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด 2 ชนิด สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ คือ ชนิดปกติ (regular quality cassava chip) และชนิดคุณภาพดี (prime quality cassava chip) หรือมันเส้นสะอาด คุณค่าทางอาหารของมันเส้นและมันอัดเม็ดเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ขึ้นอยู่กับปริมาณเยื่อใยและเถ้าในมันเส้น ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากคุณภาพของหัวมันสดและเทคนิคการผลิตมันเส้น โดยมีมาตรฐานองค์ประกอบทางเคมีแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐานและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์มันเส้นและมันอัดเม็ดในประเทศไทย

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)		มันเส้น		มันอัดเม็ด	
		ดี/สะอาด	ปกติ	ดี/สะอาด	ปกติ
ความชื้น	ไม่มากกว่า	13	13	13	13
โปรตีน	ไม่น้อยกว่า	2	2	2	2
เยื่อใย	ไม่มากกว่า	4	5	4	5
เถ้า/ทราย	ไม่มากกว่า	4/1-2	6/3	4/1-2	6/3
แป้ง	ไม่น้อยกว่า	70	65	70	65

ที่มา: อุทัย และ สุกัญญา (2547)

6. สารพิษและการลดสารพิษในมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังสดมีสารพิษ คือ ไซยาไนด์อยู่สูง การสับและการผึ่งแดดหัวมันสำปะหลังมีผลให้ไซยาไนด์ระเหยไปในบรรยากาศในรูปของกรดไฮโดรไซยานิก ทำให้ระดับไซยาไนด์ในชิ้นมันสำปะหลังลดต่ำลงจนไม่เป็นอันตรายต่อตัวสัตว์ หรือมีระดับไม่เกิน 30 มก./กก.ในอาหารสัตว์ นอกจากนี้กระบวนการแปรรูปหัวมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง เช่น มันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมัน มีผลให้ไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังสดซึ่งมีประมาณ 100-500 มก./กก. เกิดการสลายตัวและระเหยออกสู่บรรยากาศ เหลืออยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ (อุทัย และ สุกัญญา, 2547) Khajarern *et al.* (1982) พบว่า การตากชิ้นมันเส้น 6 วันสามารถลดระดับไซยาไนด์จาก 111.63 มก./กก. เหลือเพียง 22.97 มก./กก. ดังแสดงในตารางที่ 2 และการเก็บชิ้นมันเส้นไว้ 5 วัน สามารถลดระดับไซยาไนด์จาก 87.14 มก./กก. เหลือเพียง 29.52 มก./กก. ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลของระยะเวลาการตากมันสำปะหลังต่อระดับไซยาไนด์ในมันเส้น

จำนวนวันที่ตาก	ระดับไซยาไนด์ (มก./กก.)
0	111.83
1	111.96
2	110.96
3	109.96
4	90.72
5	52.22
6	22.97

ที่มา: Khajarern *et al.* (1982)

ตารางที่ 3 ผลของระยะเวลาการเก็บต่อระดับไซยาไนด์ในมันเส้น

จำนวนวันที่เก็บ	ระดับไซยาไนด์ (มก./กก.)
0	87.14
1	56.76
2	40.11
3	36.25
4	31.46
5	29.52

ที่มา: Khajarern *et al.* (1982)

ใบมันสำปะหลัง (Cassava Leaf)

ใบมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลัง ใบมันสำปะหลังสดมีความชื้นประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์และมีระดับไซยาไนด์อยู่สูง จึงไม่ควรนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ อย่างไรก็ตามใบมันสำปะหลังแห้งที่ผ่านการผึ่งแดด 2-3 แดด หรืออบแห้งให้มีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารได้ โดยอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนะ เป็นแหล่งของสารแซนโทฟิลล์ แหล่งเยื่อใย และแหล่งโปรตีนคุณภาพดี (อุทัย และ สุกัญญา, 2547) เนื่องจากมีระดับกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential Amino Acid) ใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง มีเพียงเมทไธโอนีน อาร์จีนีน และเฟนิลอลานีนซึ่งมีปริมาณต่ำกว่า ดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 สอดคล้องกับ Ross and Enriquez (1969) รายงานว่า เมไธโอนีนมักเป็นตัวจำกัดแรก (first limiting factor) และระดับพลังงานเป็นตัวจำกัดรอง (second limiting factor) ในอาหารผสมที่มีใบมันสำปะหลังในระดับสูง และ เจริญศักดิ์ และคณะ (2531) รายงานระดับโปรตีนในใบมันสำปะหลังจำนวน 13 พันธุ์ จากสถานีวิจัยศรีราชา พบว่า ใบมันสำปะหลังเหล่านั้นมีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ 21.6-25.4 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักแห้งหลังเก็บเกี่ยวประมาณ 300-900 กก./ไร่/ปี อย่างไรก็ตามโภชนะในใบมันสำปะหลังมีความผันแปรโดยมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อายุ พันธุ์ สภาพภูมิอากาศ ระยะการปลูก ความถี่ของการเก็บเกี่ยว วิธีการปลูก และการใส่ปุ๋ย (เมธา, 2545)

ตารางที่ 4 คุณค่าทางโภชนะของใบมันสำปะหลังและกากถั่วเหลืองในรูปเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง

องค์ประกอบทางเคมี	ใบมันสำปะหลัง[1]	กากถั่วเหลือง[2]
ความชื้น	9.28	10.00
โปรตีนหยาบ	23.10	44.00
เยื่อใย	21.11	7.00
ไขมัน	7.24	1.00
เถ้า	5.72	6.00
คาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้	33.53	32.00
แคลเซี่ยม	0.99	0.25
ฟอสฟอรัส	0.73	0.20
กรดไฮโดรไซยานิก (มก./กก.)	30.50	-

ตารางที่ 4 (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	ใบมันสำปะหลัง[3]	กากถั่วเหลือง[3]
*ค่าการย่อยสลายในกระเพาะหมัก	43.00	72.00
*ค่าการย่อยได้	56.00	86.00
*พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (kcal./kg.)	2,030.00	3,390.00

* หมายถึงค่าที่ได้จากการทดลองในโคเนื้อ

ที่มา: [1] นรินทร์ (2520)

[2] กรมปศุสัตว์ (2552 ก)

[3] เมธา และ ฉลอง (2533)

ตารางที่ 5 กรดอะมิโนที่จำเป็นของใบมันสำปะหลังแห้งและกากถั่วเหลืองในรูปเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง

กรดอะมิโน	กากถั่วเหลือง[1]	ใบมันสำปะหลัง[2]
ไลซีน	2.73	1.56
เมทไธโอนีน	1.26	0.39
อาร์จีนีน	3.18	1.13
ฮิสติดีน	1.10	0.55
ไอโซลูซีน	2.17	1.13
ลูซีน	3.39	2.04
เฟนิลอลานีน	3.82	1.30
ทรีโอนีน	1.72	1.11
ทริปโตเฟน	0.59	0.41
เวลีน	2.20	1.30

ที่มา: [1] อุทัย (2529)

[2] Rogers and Milner (1963)

1. การเก็บเกี่ยว

การเตรียมใบมันสำปะหลังเพื่อนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ควรใช้ใบที่แผ่กว้างและเจริญเต็มที่ โดยการเก็บเกี่ยวใบมันสำปะหลังจะมีส่วนของใบเป็นน้ำหนักแห้งประมาณ 300–900 กก./ไร่/ปีในสภาพแปลงทดลอง (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2531) และควรเก็บเกี่ยวใบมันสำปะหลังช่วงที่ต้นมันสำปะหลังอายุไม่มากเกินไป เนื่องจากโปรตีนในใบมันสำปะหลังมีระดับลดลงเมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุมากกว่า 10 เดือน (Toledo, 1969) ใบมันสำปะหลังสดมีไซยาไนด์ แทนนิน และเยื่อใยอยู่สูง เป็นข้อจำกัดการใช้ใบมันสำปะหลังในสัตว์กระเพาะรวม โดยมีผลให้สัตว์มีปริมาณการกินได้และการเจริญเติบโตลดลงเมื่อได้รับในปริมาณมากเกินไป อย่างไรก็ตามใบมันสำปะหลังที่ผ่านการตากแห้งหรืออบแห้งให้มีความชื้นไม่เกิน10 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้เป็นวัตถุดิบที่ดีในสูตรอาหารสัตว์ (อุทัย และ สุกัญญา, 2547)

2. แทนนินในใบมันสำปะหลัง

แทนนินเป็นสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) ในกลุ่มสารประกอบ polyphenol มีโครงสร้างซับซ้อน น้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 500-20,000 ก./โมล เป็นสารมีรสฝาดและมีสถานะเป็นกรดอ่อน ในธรรมชาติพบการสะสมมากบริเวณที่มักถูกแบคทีเรียทำลายได้ง่ายของพืช เช่น เปลือกต้น แก่นไม้ เปลือกผล เมล็ด และใบ เป็นต้น โดยพบในใบแก่มากกว่าใบอ่อน แทนนินสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2544)

1. condensed tannins เป็นแทนนินที่มีโมเลกุลรวมตัวกันแน่น มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 1,000 ขึ้นไป ประกอบด้วย polyhydric phenols เชื่อมกันด้วยพันธะ C-C เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ไม่ถูกไฮโดรไลส์ได้ง่าย มีคุณสมบัติจับโปรตีนตกตะกอนได้ดีและมีความคงตัวที่ค่า pH 3-7

2. hydrolyzed tannins เป็นแทนนินที่มีโมเลกุลรวมตัวกันอย่างหลวมๆ เชื่อมกันด้วยพันธะเอสเทอร์ระหว่างน้ำตาลกับ polyphenoliccarboxylic ซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงต่ำ มีคุณสมบัติสลายตัวในน้ำและถูกไฮโดรไลส์ได้ง่าย

แทนนินจับกับโปรตีนในใบมันสำปะหลังกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (tannin-protein complex) ทำให้โปรตีนมีคุณสมบัติเป็นโปรตีนไหลผ่านไม่ถูกย่อยสลายหรือเปลี่ยนแปลงในกระเพาะหมัก (rumen) เนื่องจากแทนนินมีความคงตัวในสภาวะที่ค่า pH 3-7 แต่ในกระเพาะแท้ซึ่งมี

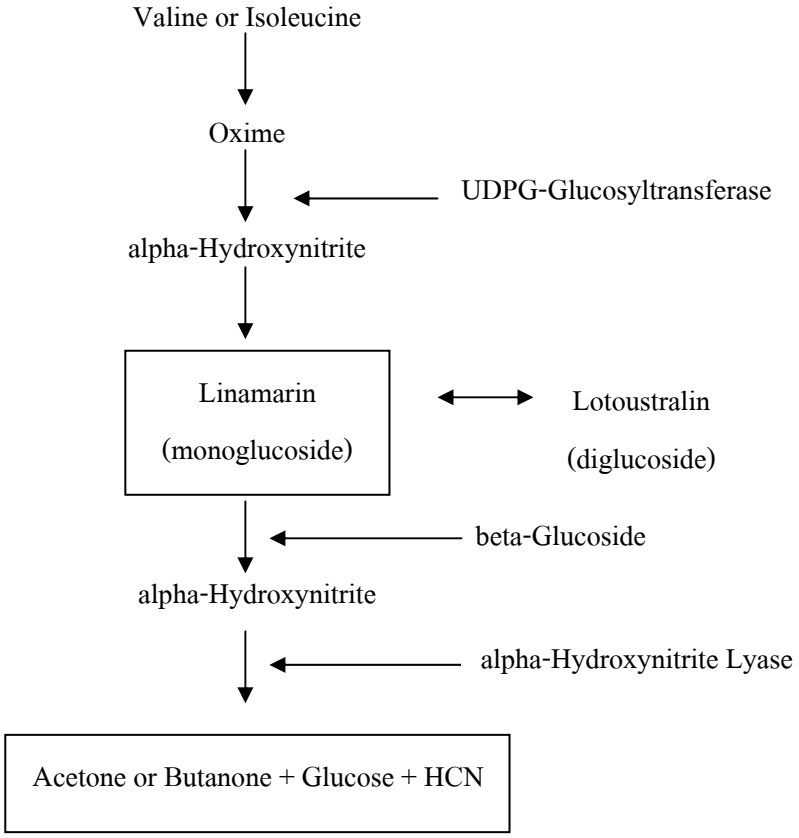
ความเป็นกรดสูง (pH<3) และในลำไส้เล็กซึ่งมีความเป็นด่าง (pH>8) แทนนินจะเสียสภาพและปลดปล่อยโปรตีนให้ถูกย่อยและดูดซึม (Jones and Mangan, 1977) ช่วยให้สัตว์ได้รับโปรตีนเพียงพอตามความต้องการ และแทนนินมียังผลช่วยลดจำนวนพยาธิในทางเดินอาหารของสัตว์ (เมธา, 2545) อย่างไรก็ตามปริมาณแทนนินที่มากเกินไปมีผลให้อาหารมีการใช้ประโยชน์ได้ลดลง โดยแทนนินไปจับกับโปรตีนในอาหารทำให้โปรตีนนั้นไม่ถูกย่อยและดูดซึมในร่างกายสัตว์ (Dung *et al*., 2005) ซึ่ง Reed (1995) แนะนำให้มีระดับแทนนินในอาหารสัตว์ไม่เกิน 60 ก./กก.

3. ไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลัง

ปริมาณไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลัง มีความแปรปรวนไปตามพันธุ์ พบในใบมากกว่าในหัวมันสำปะหลังและพบในใบอ่อนมากกว่าใบแก่ สภาวะเครียด อาทิ ความแห้งแล้ง และการขาดน้ำขาดอาหาร มีผลให้พืชสะสมไซยาไนด์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Hutagalung (1972) รายงานปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกในมันสำปะหลังมีระดับเพิ่มขึ้นเมื่อปลูกในพื้นที่แห้งแล้งและดินที่ขาดโพแทสเซียม ไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังอยู่ในรูปของสารไซยาโนเจนิก กลูโคไซด์ (cyanogenic glucoside) แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ลินามาริน (linamarin) ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนวาลีน (valine) มีประมาณ 93 เปอร์เซ็นต์ และโลทอสตราลิน (lotoustralin) ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนไอโซลิวซีน (isoleucine) มีประมาณ 7เปอร์เซ็นต์ เมื่อเซลล์ของใบมันสำปะหลังถูกทำลาย เช่น บดหรือสับ เอนไซม์ของพืชจะเข้าทำปฏิกิริยากับลินามารินได้เป็นกรดไฮโดรไซยานิก (hydrocyanic acid) กลูโคส และอะซิโตน (acetone) และทำปฏิกิริยากับโลทอสตราลินได้เป็นกรดไฮโดรไซยานิก กลูโคส และบิวทาโนน(butanone) ออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังแสดงในภาพที่ 1 (Hughes *et al*, 1994) เมื่อสัตว์ได้รับกรดไฮโดรไซยานิกเข้าไปในร่างกายจะมีกลไกลดความเป็นพิษของไซยาไนด์ได้หลายวิธี เช่น รวมตัวทางเคมีกับโมเลกุลซัลเฟอร์ของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากไธโอซัลเฟตและกรดอะมิโนซิสเทอีน (Cysteine) หรือเมทไธโอนีน (Methionine) หรือโซเดียมซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) โดยมีเอนไซม์โรดาเนส (Rhodanase) จากตับช่วยเปลี่ยนเป็นไธโอไซยาเนต ดังแสดงในภาพที่ 2 หรือไซยาไนด์อาจรวมกับวิตามินบี12 (Vitamin B_{12}) กลายเป็นcyanocobalamin ซึ่งเป็นรูปที่มีความเป็นพิษลดลง ดังนั้นประสิทธิภาพการลดความเป็นพิษของไซยาไนด์ในร่างกายสัตว์จึงขึ้นอยู่กับสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบในร่างกายสัตว์และจากอาหารที่กิน (Sylvester *et al*., 1983)

ไธโอไซยาเนตในระดับความเข้มข้นต่ำมีประโยชน์ต่อร่างกายสัตว์ โดยทำปฏิกิริยากับเอนไซม์แลคโตเพอร์ออกซิเดสและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ เรียกว่าระบบแลคโตเปอร์ออกซิเดส

(Lactoperoxidase system) ออกฤทธิ์ทำลายเชื้อโรคบริเวณเยื่อหุ้มต่างๆ ในร่างกาย เช่น เต้านม ช่องปาก และช่องคลอด ความเข้มข้นของไธโอไซยาเนตในน้ำนมโคที่ระดับ 10 ถึง 15 พีพีเอ็ม เป็นระดับที่กระตุ้นให้ระบบแลคโตเปอร์ออกซิเดสทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบ (Reiter and Harnolv, 1984) แม่โครีดนมที่ได้รับมันเฮย์ 1 กก./วัน (Wannapat *et al*, 2000) และกินอาหารผสมเสร็จที่มันเส้นระดับ 25 และ 38 เปอร์เซ็นต์ (ศิริรัตน์, 2546) มีผลให้น้ำนมมีไธโอไซยาเนตในระดับ 11.2 และ 11.6 มก./กก. ตามลำดับ

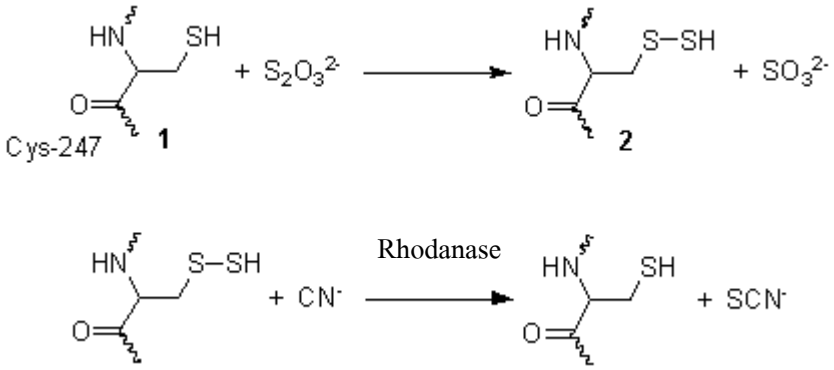


ภาพที่ 1 กลไกการสร้างกรดไฮโดรไซยานิกในใบมันสำปะหลัง

ที่มา: Hughes *et al*. (1994)

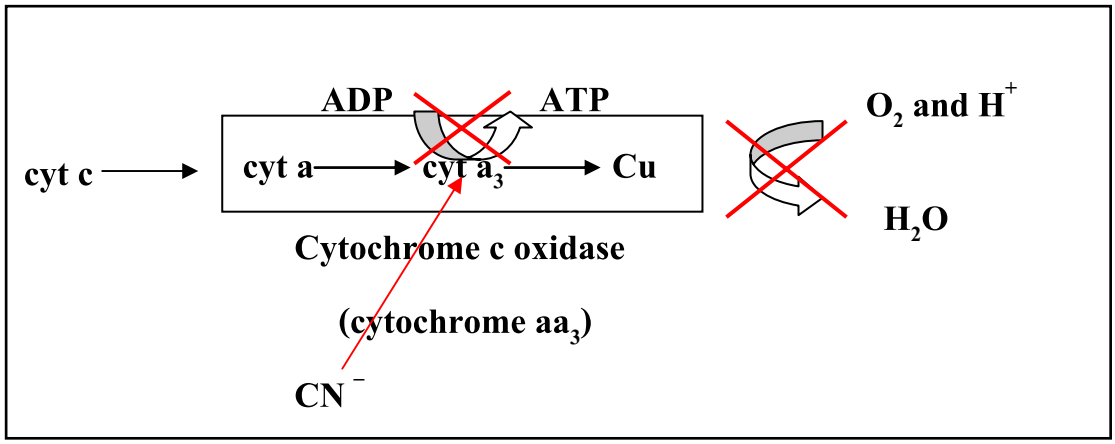
กรดไฮโดรไซยานิกและไธโอไซยาเนตในระดับความเข้มข้นสูงมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โดยทำปฏิกิริยากับเหล็กสถานะ Fe (+3) ของฮีมและยับยั้งการทำงานของไซโทโครม ซี ออกซิเดส (cytochrome c oxidase, aa_3) ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็คตรอนในขั้นตอนการถ่ายทอดอิเล็คตรอนของกระบวนการการหายใจ (อาภัสสรา, 2537) ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยไปรบกวนการสร้าง ATP ของ

สิ่งมีชีวิต ทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้อกระตุก เพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ และกดประสาทส่วน Medullar center ทำให้ระบบการหายใจผิดปกติ สัตว์ที่ได้รับในปริมาณมากจึงมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเหน็บชา โรคอัมพาต และอาจทำให้ถึงแก่ชีวิต (Chung and Wood, 1971) นอกจากนี้ไธโอไซยาเนตส่วนเกินยังทำการแย่งจับโมเลกุลของไอโอดีนซึ่งจำเป็นสำหรับการผลิตฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ ทำให้เกิดโรคคอหอยพอกและลดการเจริญเติบโตในสัตว์ (วงศ์อนันต์, 2550)



ภาพที่ 2 กลไกการลดความเป็นพิษของไซยาไนด์ในร่างกายสัตว์

ที่มา: Wikipedia, 2008



ภาพที่ 3 กลไกการยับยั้งการทำงานไซโทโครม ซี ออกซิเดส ของไซยาไนด์

ที่มา: อาภัสสรา (2537)

4. การลดพิษของไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลัง

ใบมันสำปะหลังสดมีองค์ประกอบของไซยาไนด์ตั้งแต่ 200 ถึง 800 มก./กก. ควรนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปก่อนนำมาเลี้ยงสัตว์ เช่น การอัดเม็ดอาหาร การหมัก และการตากแห้ง เพื่อเป็นการถนอมอาหารและลดปริมาณไซยาไนด์ให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตราย (Ravindran, 1991) โดย Bolhuis (1954) แนะนำระดับกรดไฮโดรไซยานิกในอาหารซึ่งไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่สัตว์ที่ระดับไม่เกิน 50 มก./กก. ขณะที่ อุทัย และ สุกัญญา (2547) แนะนำที่ระดับไม่เกิน 30 มก./กก. ในอาหารสัตว์ ระดับของกรดไฮโดรไซยานิกและแทนนินที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษและไม่ขัดขวางการย่อยได้ในตัวสัตว์อาจมีความผันแปรในสัตว์แต่ละชนิด แต่ละช่วงอายุ ขึ้นอยู่กับภูมิต้านทานของสัตว์ (สาโรช และ เยาวมาลย์, 2540) ตลอดจนปริมาณสารที่ช่วยขจัดความเป็นพิษของไซยาไนด์ออกจากร่างกาย ได้แก่ วิตามินบี 12 โซเดียมซัลเฟต และกรดอะมิโนที่มีกำมะถัน เช่น เมทไธโอนีน ซีสเทอีน และซีสทีน เป็นต้น (Sylvester *et al*., 1983)

4.1 การตากแห้ง

เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก และมีประสิทธิภาพสูง โดยไซยาไนด์ส่วนใหญ่จะระเหยออกไปพร้อมกับไอน้ำในรูปกรดไฮโดรไซยานิกระหว่างการตากแห้ง สอดคล้องกับ อุทัย และ สุกัญญา (2547) รายงานว่า ใบมันสำปะหลังที่ผ่านการทำให้แห้งโดยการผึ่งแดด มีระดับไซยาไนด์ลดลงเหลือประมาณ 30 มก./กก. ซึ่งเป็นระดับที่ไม่เป็นพิษกับตัวสัตว์ Ravindran (1991) พบว่า การนำใบมันสำปะหลังสดมาตากแห้งเป็นระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 วัน สามารถลดปริมาณของไซยาไนด์ได้ 88.0, 90.2, 92.1 และ 93.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการหั่นซอย (chopping) ใบมันสำปะหลังก่อนนำไปตากแดด ช่วยลดปริมาณไซยาไนด์ได้ 92.4, 93.4, 95.0 และ 96.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมทั้ง จิรพรรณ (2518) และ Fasuyi (2005) รายงานว่า ใบมันสำปะหลังซึ่งผ่านกระบวนการตากแห้ง สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ได้ 77.07 และ 95.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีแนวโน้มช่วยลดปริมาณแทนนิน แต่มีผลกระทบน้อยมาก

4.2 การหมัก

เป็นวิธีที่สามารถทำได้ตลอดปีแม้ไม่มีแสงอาทิตย์และช่วยเพิ่มความน่ากินให้กับใบมันสำปะหลัง การหมักตามธรรมชาติส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการหมักของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) ซึ่งสามารถเปลี่ยนน้ำตาลในอาหารให้เป็นกรดแลคติก สภาพความเป็นกรดที่

เกิดขึ้นช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสารไซยาโนเจนนิก กลูโคไซด์เป็นกรดไฮโดรไซยานิก (นิลุบล และคณะ, 2550) สอดคล้องกับ Khang and Wiktorsson (2006) พบว่าใบมันสำปะหลังในรูปสด หมัก และอัดเม็ดมีระดับโปรตีนหยาบไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและอัดเม็ดมีปริมาณไซยาไนด์และแทนนินน้อยกว่าใบมันสำปะหลังสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การหมักมีวิธีและขั้นตอนค่อนข้างหลากหลาย อาทิ Kavana *et al* (2005) พบว่าการสับใบมันสำปะหลังและผึ่งให้แห้ง (wilting) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วหมักร่วมกับกากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ และเก็บไว้ในถุงปิดสนิทโดยปราศจากอากาศเป็นเวลา 3 เดือน มีผลให้ปริมาณไซยาไนด์ลดลง 93.05 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ นิลุบล และคณะ (2550) พบว่า วิธีที่เหมาะสมในการทำใบมันสำปะหลังหมัก คือ การสับมันสำปะหลังเป็นชิ้น 2-3 ซม. ก่อนผสมสารเสริมการหมักชนิดใดชนิดหนึ่ง ได้แก่ กากมันสำปะหลัง เกลือ กากน้ำตาล หรือรำข้าว ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และหมักเป็นระยะเวลา 1 เดือน มีผลให้อาหารหมักมีกลิ่นหอมพืชหมัก เนื้อไม่เปื่อย มีสีน้ำตาล ไม่มีเชื้อรา ค่า pH น้อยกว่า 4.4 น้ำหนักแห้งประมาณ 22-28 เปอร์เซ็นต์ และมีไซยาไนด์น้อยกว่า 100 มก./กก.ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยสำหรับนำไปเลี้ยงสัตว์ รวมทั้งเก็บรักษาโดยไม่เน่าเสียได้นาน 5 เดือน

นอกจากนี้ยังมีอีกหลายวิธีในการลดปริมาณไซยาไนด์ เช่น การอบแห้ง การอบด้วยไอน้ำ การอัดเม็ด การต้ม และการแช่น้ำ เป็นต้น โดย Fasuyi (2005) รายงานว่า การอบแห้งและอบด้วยไอน้ำ สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังได้ 38.4 และ 41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ Coursey (1973) รายงานว่า การอบแห้งใบมันสำปะหลังสดที่อุณหภูมิ 80^0C สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ได้ 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเอนไซม์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสารไซยาโนเจนนิก กลูโคไซด์เป็นกรดไฮโดรไซยานิกถูกทำลายที่อุณหภูมิสูงกว่า 72 ^{0}C

5. การใช้ประโยชน์จากใบมันสำปะหลังในสัตว์กระเพาะรวม

การใช้ใบมันสำปะหลังในอาหารสัตว์กระเพาะรวมกระทำกันเป็นปกติทั่วไป เนื่องจากสัตว์เหล่านี้สามารถทนต่อระดับเยื่อใยในอาหารค่อนข้างสูง และใช้ประโยชน์วัตถุดิบผลพลอยได้ทางการเกษตรได้ดี ตลอดจนการเสริมใบมันสำปะหลังมีผลช่วยเสริมโภชนะของอาหารหยาบคุณภาพต่ำในฤดูฝน เป็นแหล่งโภชนะทดแทนอาหารหยาบซึ่งมักขาดแคลนในฤดูแล้ง ช่วยลดการใช้อาหารข้นในสูตรอาหารมีผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง (เมธา และ ฉลอง, 2533) นอกจากนี้สัตว์กระเพาะรวมมีโอกาสปนเปื้อนพยาธิในทางเดินอาหารมากเนื่องจากมีการกินอยู่กับธรรมชาติจึงต้องการคุณสมบัติช่วยลดพยาธิของแทนนินในใบมันสำปะหลัง (Dung *et al*., 2005) อย่างไรก็ตามใบมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีความฟ่ามสูง การใช้ในปริมาณมากอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้

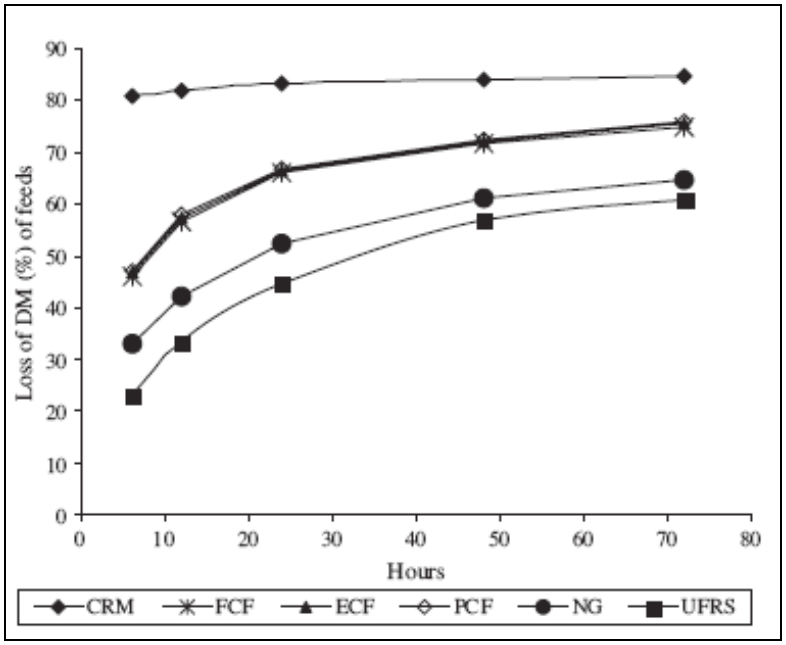
ของสัตว์ ควรเสริมกากน้ำตาลหรือไขมันเพื่อลดความเป็นฝุ่นของอาหารและใช้ประกอบสูตรอาหารในปริมาณที่พอเหมาะเพื่อไม่ให้สัตว์ได้รับไซยาไนด์และแทนนินมากเกินไป (อุทัย และ สุกัญญา, 2547) ใบมันสำปะหลังควรมีการใช้ประโยชน์ร่วมกับแหล่งพลังงาน เช่น มันเส้น เพื่อให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้รับพลังงานเพียงพอต่อการนำโปรตีนในใบมันสำปะหลังมาสร้างเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์และสังเคราะห์กรดไขมันระเหยง่าย ส่งผลให้โคได้รับโภชนะสมดุลมากขึ้น (จีระชัย, 2543)

5.1 การสลายตัวของเยื่อใยใบมันสำปะหลังในกระเพาะหมัก

เยื่อใยในใบมันสำปะหลังมีปริมาณสูงและมีความเหมาะสมสำหรับสัตว์กระเพาะรวม เนื่องจากเป็นเยื่อใยคุณภาพดีและสลายตัวในกระเพาะหมักได้เร็ว โดย Khang and Wiktorsson (2006) รายงานว่า ใบมันสำปะหลังในรูปสด หมัก และอัดเม็ด มีแนวโน้มการสลายตัวในกระเพาะหมักคล้ายคลึงกัน โดยมีการสลายตัวของวัตถุแห้งในกระเพาะหมักโคที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังกินอาหารประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่หญ้าเนเปียร์และฟางข้าวหมักยูเรียมีการสลายตัวของวัตถุแห้งประมาณ 50 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมันเส้นซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ย่อยง่ายมีการสลายตัวของวัตถุแห้งในกระเพาะหมักประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ที่เวลา 6 ชั่วโมงหลังกินอาหาร ดังแสดงในภาพที่ 4

5.2 การใช้ใบมันสำปะหลังต่อการเจริญเติบโตของสัตว์

ใบมันสำปะหลังจัดเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพดี มีระดับกรดอะมิโนที่จำเป็นใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง ขาดเพียงเมทไธโอนีน อาร์จีนีน และเฟนิลอลานีน ซึ่งมีปริมาณต่ำ และโปรตีนมีคุณสมบัติเป็นแหล่งโปรตีนไหลผ่าน (By-pass protein) ช่วยให้สัตว์ได้รับโปรตีนเพียงพอตามความต้องการและมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น จึงช่วยลดการใช้อาหารข้นและลดต้นทุนการผลิต สอดคล้องกับ เมธา (2545) พบว่า การเสริมมันเฮย์ (ส่วนของลำต้นและใบมันสำปะหลังตากแห้ง) ในระดับ 0.6 - 1.7 กก./ตัว/วัน เป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารโคนมสาว สามารถลดการใช้อาหารข้นเสริมได้ 0.1-1.6 กก./ตัว/วัน และการใช้มันเฮย์ในระดับ 2.85 และ 4.02 กก./ตัว/วัน สามารถลดการใช้อาหารข้นเสริมต่อผลผลิตน้ำนมจาก 1:2 เป็น 1:3 และ 1:4 ตามลำดับ และลดการใช้อาหารข้นเสริมลงได้ 30 และ 42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ สิทธิศักดิ์ และ เมธา (2549) รายงานว่า โคนมกลุ่มที่ได้รับอาหารก้อนที่มีการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (73.2 ต่อ 63.4 เปอร์เซ็นต์) และอัตราการเจริญเติบโต (0.45 ต่อ 0.41 กก./วัน) สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 4 การสลายตัวของวัตถุดิบอาหารหยาบชนิดต่างๆ ในกระเพาะหมักที่ช่วงเวลาต่างๆ ในรูปเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง

CRM = มันสำปะหลัง FCF = ใบมันสำปะหลังสด ECF = ใบมันสำปะหลังหมัก, PCF = ใบมันสำปะหลังอัดเม็ด, NG = หญ้าเนเปียร์ และ UFRS = ฟางข้าวหมักยูเรีย

ที่มา: Khang and Wiktorsson (2006)

ใบมันสำปะหลังสดมีปริมาณไซยาไนด์สูง มีความเป็นพิษและลดการเจริญเติบโตของสัตว์ ควรนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปก่อนนำมาเลี้ยงสัตว์ เช่น การอัดเม็ดอาหาร การหมัก และการตากแห้ง เป็นต้น โดยใบมันสำปะหลังซึ่งผ่านการแปรรูปด้วยวิธีต่างกันอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์คล้ายคลึงกันหรือแตกต่างกัน ความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ในรูปแบบใดขึ้นอยู่กับความสะดวกและดุลยพินิจของผู้ประกอบการ สอดคล้องกับ Khang and Wiktorsson (2006) ทำการทดลองให้โคนมพันธุ์ซินดิ (Sindhi) ได้รับใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งโปรตีนในรูปให้สด หมัก และอัดเม็ด ในปริมาณที่ทำให้โคได้รับโปรตีนจากอาหารเท่ากัน พบว่า เมื่อเพิ่มระดับการใช้ใบมันสำปะหลังทั้งสามรูปแบบในสูตรอาหารมีผลให้โคนมพันธุ์ซินดิ (Sindhi) มีปริมาณการกินได้รวม (Total DM intake) เพิ่มขึ้น ($p<0.01$) และการเพิ่มระดับใบมันสำปะหลังหมักและอัดเม็ดในสูตรอาหาร มีผลให้น้ำหนักโคที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (Daily gain) เพิ่มขึ้น ($p<0.01$) ในระดับใกล้เคียง

กัน แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณ triiodothyronine (T_3) และ thyroxin (T_4)ในทุกระดับ ($p>0.05$) ขณะที่การเพิ่มระดับใบมันสำปะหลังสดในสูตรอาหารมีผลให้น้ำหนักโคเพิ่มขึ้นน้อยมาก ($p>0.05$) และมีผลให้โคมีการสะสม T_3 ลดลง ($P<0.01$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณ T_4 ($p>0.05$) เพราะว่าโดยปกติต่อมไทรอยด์มีการสร้าง T_4 ปริมาณมาก จึงได้รับผลกระทบไม่มาก ขณะที่ T_3 ซึ่งมีการสร้างปริมาณน้อย และ 80 เปอร์เซ็นต์ของ T_3 ต้องสร้างมาจาก T_4 ดังนั้นการสร้าง T_3 จึงได้รับผลกระทบชัดเจน สอดคล้องกับ Khang (2004) ทดลองเลี้ยงโคพันธุ์ซินดิด้วยฟางข้าวราดยูเรียเสริมใบมันสำปะหลังหมักที่ระดับ 0, 50, 100 และ 150 กรัมโปรตีนต่อน้ำหนักตัวโค 100 กก. พบว่า ระดับไซยาไนด์ในกระเพาะหมักของโคลดลงเหลือ 0 เปอร์เซ็นต์หลังกินอาหารเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในกระเพาะหมักสามารถผลิตเอนไซม์ rhodanase สำหรับลดความเป็นพิษของไซยาไนด์ได้ ขณะที่ Bunyeth and Preston (2006) พบว่า แพะปล่อยทุ่งกลุ่มที่ได้รับการเสริมใบมันสำปะหลังหมัก (โปรตีน 24.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) มีน้ำหนักเพิ่มมากกว่ากลุ่มที่เสริมด้วยใบมันสำปะหลังแห้ง (โปรตีน 18.4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (63.1 ต่อ 34.4 ก./วัน) แต่มีปริมาณการกินได้ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากโภชนะบางส่วน เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเยื่อใยถูกจุลินทรีย์หมักย่อยระหว่างกระบวนการหมักทำให้อยู่ในรูปที่ถูกย่อยและดูดซึมได้ง่าย รวมทั้งสารอาหารภายในเซลล์ (cell content) บางส่วนถูกปลดปล่อยออกมา มีผลให้ใบมันสำปะหลังหมักมีโภชนะโดยรวม และการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารมากกว่าใบมันสำปะหลังแห้ง (McDonald *et al*, 1995)

5.3 การใช้ใบมันสำปะหลังต่อค่าทางชีววิทยาในเลือด และสภาพแวดล้อมในกระเพาะหมัก

ใบมันสำปะหลังมีระดับโปรตีนสูงและมีโปรตีนคุณภาพดี รวมทั้งเป็นวัตถุดิบที่เกิดการหมักย่อยในกระเพาะหมักได้ดี สลายตัวในกระเพาะหมักได้เร็ว ทำให้สัตว์ที่ได้รับการเสริมใบมันสำปะหลังมีการสะสมแอมโมเนียและจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ตลอดจนมีการสะสมยูเรียในเลือดมากกว่าสัตว์ที่ไม่ได้รับการเสริม เยื่อใยในใบมันสำปะหลังซึ่งมีในระดับสูงกระตุ้นให้สัตว์มีการเคี้ยวเอื้องและหลั่งน้ำลายซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารบัฟเฟอร์ (Buffer) ช่วยปรับค่า pH ในกระเพาะหมักให้เป็นปกติ (เมธา และ ฉลอง, 2533) โดย ศิวพร และคณะ (2546) พบว่า การใช้มันเฮย์ในสูตรอาหาร 0, 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเลี้ยงโคเนื้อ ไม่มีผลต่อค่า pH ในกระเพาะหมัก (6.5, 6.5, 6.6 และ 6.6) แต่มีผลต่อปริมาณการกินได้ (8.3, 8.7, 9.1 และ 9.4 กก./วัน) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมัก (29.2, 25.0, 16.2 และ 12.8 มก.เปอร์เซ็นต์) ยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด (16.8, 16.1, 12.4 และ 13.9 มก.เปอร์เซ็นต์) จำนวนประชากรซูโอสปอร์ (zoospore) ของเชื้อรา (2.3, 4.0, 3.4 และ 3.4×10^6 เซลล์/มล.) และประชากรของโปรโตซัว (5.2,

5.1, 3.6 และ 2.9 x 10^5 เซลล์/มล.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ Chanjula *et al.* (2003) พบว่า การเสริมมันเฮย์ในสูตรอาหารข้น 0 ,25 ,50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเลี้ยงกระบือปลัก มีผลให้ค่า pH (6.6, 6.7, 6.8 และ 6.9) และความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในกระเพาะหมักมีแนวโน้มสูงขึ้น (12.9, 15.3, 16.2 และ 17.7 มก.เปอร์เซ็นต์) มีผลให้ความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด (14.6, 15.3, 18.3 และ 21.3 มก.เปอร์เซ็นต์) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีผลให้ประชากรแบคทีเรียเซลลูโลไลติก (5.3, 6.5, 7.8 และ 7.2 x 10^7 เซลล์/กรัม) และแบคทีเรียโปรติโอไลติก (6.2, 6.5, 7.6 และ 6.8 x 10^6 เซลล์/กรัม) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ประชากรโปรโตซัวมีจำนวนลดลง (6.2, 4.4, 2.7 และ 2.1 x 10^5 เซลล์/กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากโปรโตซัวมีการเจริญเติบโตเมื่อได้รับอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรทได้ดีกว่าการได้รับอาหารประเภทเยื่อใย (Dohority, 2003)

5.4 การใช้ใบมันสำปะหลังในการกำจัดพยาธิ

ใบมันสำปะหลังมีคุณสมบัติช่วยลดจำนวนตัวอ่อนของพยาธิในทางเดินอาหารสัตว์กระเพาะรวม เนื่องจากมีแทนนินเป็นองค์ประกอบ (Kahn and Diaz-Hernandez, 2000) โดย Dung *et al.* (2005) พบว่า การใช้มันเฮย์ทดแทนการใช้อาหารข้นในการเลี้ยงแพะขุนมีผลให้จำนวนไข่พยาธิต่อน้ำหนักมูลของพยาธิสกุล Nematodes ลดลงอย่างมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับการเพิ่มระดับการใช้มันเฮย์ที่การเลี้ยง 90 วัน และมีผลเช่นเดียวกันในพยาธิสกุล Coccidia ที่การเลี้ยง 30, 60 และ 90 วัน ($p<0.01$) ขณะที่การเพิ่มระดับการใช้มันเฮย์ทดแทนการใช้อาหารข้นไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนไข่พยาธิต่อน้ำหนักมูลของพยาธิสกุล Cestoda ($p>0.01$) และพบว่าการใช้มันเฮย์ 250 ก.ต่ออาหารข้น 1 กก. มีผลให้สัตว์มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวและค่า FCR ดีที่สุด อย่างไรก็ตามระดับการใช้มันเฮย์ที่มากกว่านี้มีผลให้พยาธิสกุล Coccidia และ Nematodes ในมูลลดลง แต่มีผลลดการเจริญเติบโตของสัตว์ เนื่องจากกรดไฮโดรไซยานิกในอาหารที่เพิ่มขึ้นก่อให้เกิดความเป็นพิษแก่ตัวสัตว์ สอดคล้องกับ Netpana *et al.* (2001) รายงานการเสริมมันเฮย์ 1 กก./ตัว/วัน ให้กับกระบือปลักและโคปล่อยทุ่งมีผลให้จำนวนไข่พยาธิต่อน้ำหนักมูลลดลง 31 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มที่ไม่เสริม ขณะที่กลุ่มที่ใช้ยาถ่ายพยาธิมีจำนวนไข่พยาธิต่อน้ำหนักมูลลดลง 41 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มที่ไม่เสริม สอดคล้องกับ สิทธิศักดิ์ และ เมธา (2549) รายงานว่า ลูกโคที่ได้รับอาหารก้อนที่มีการเสริมใบมันสำปะหลังมีแนวโน้มของจำนวนไข่ของพยาธิในมูลสัตว์ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริม (63.2 ต่อ 27.6 เปอร์เซ็นต์)

อุปกรณ์และวิธีการ

การดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ ได้แบ่งงานวิจัยออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาระยะเวลาการหมักใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลังต่อปริมาณไซยาไนด์ และคุณภาพของอาหารหมัก

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการหมักใบมันสำปะหลัง

    1.1 กากมันสำปะหลัง
    1.2 ใบมันสำปะหลังสด
    1.3 ถุงพลาสติกแบบหนา

2. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดไฮโดรไซยานิค

    2.1 Na_2Co_3
    2.2 Picric acid
    2.3 KCN
    2.4 3 N HCl
    2.5 กระดาษกรอง No. 1

3. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ condensed tannins

    3.1 catechin
    3.2 vanillin
    3.3 HCL
    3.4 methanol

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า pH

   4.1 pH meter

   4.2 สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.0 และ 7.0

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ Lactic Acid Bacteria

   5.1 จานเพาะเลี้ยงเชื้อ

   5.2 ขวดสำหรับบรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อและน้ำเกลือ

   5.3 อาหารเลี้ยงเชื้อ Man Rogasa Sharpe Agar (MRS agar) ยี่ห้อ Merck®

   5.4 น้ำเกลือ 0.85 %

   5.5 หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave)

   5.6 เครื่องตีป่นอาหาร (stomacher)

   5.7 Anaerocult®A

6. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดแลคติก

   6.1 0.1 N NaOH

   6.2 ethanol 95%

   6.3 phenolphthalein 1%

7. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์แอมโมเนีย

   7.1 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (kjeldahl apparatus)

   7.2 กระดาษกรองเบอร์ 42

   7.3 bromocresol green และ methylred

   7.4 ethanol

   7.5 boric acid (H_3BO_3)

   7.6 MgO

   7.7 0.005 N H_2SO_4

   7.8 0.05 N NaOH

7.9 2 N KCl

8. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้

8.1 กระดาษกรองเบอร์ 42

8.2 anhydrous sodium carbonate (Na_2CO_3)

8.3 potassium sodium tartate ($C_4H_4KNaO_6.4H_2O$)

8.4 copper sulfate ($CuSo_4.5H_2O$)

8.5 sodium bicarbonate ($NaHCO_3$)

8.6 anhydrous sodium sulfate (Na_2SO_3)

8.7 ammonium molybdate [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$]

8.8 disodium hydrogen arsenate ($Na_2HAsO_4.7H_2O$)

8.9 D-glucose

8.10 50% ethanol

8.11 0.1 N และ 50% HCl

8.12 0.1 N และ 1 N NaOH

8.13 0.2 N H_2SO_4

9. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ง่าย

9.1 conc. H_2SO_4

9.2 Gas Chromatography

9.3 Metaphosphoric acid in 5N-H_2SO_4

9.4 iso-valerate (internal standard)

9.5 mixed standard (Acetic acid standard + Butyric acid standard + Propionic acid standard)

10 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยวิธี Proximate analysis และ Van Soest System

วิธีการ

1. วิธีการหมักใบมันสำปะหลัง

นำใบมันสำปะหลังที่ได้จากการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่ออายุ 10-12 เดือนและเก็บมาแล้ว 1 วัน สับให้มีขนาด 3-5 ซม. หมักด้วยวิธีทางธรรมชาติ (spontaneous fermentation) โดยหมักใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว หรือ หมักใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลังที่เก็บมาแล้ว 3 วัน ปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถแบ่งกลุ่มทดลองได้ ดังนี้

กลุ่มทดลองที่ 1 ใบมันสำปะหลังสดหมักในถุงพลาสติกแบบหนา บรรจุ 5 กก.

กลุ่มทดลองที่ 2 ใบมันสำปะหลังสด 4 กก. หมักร่วมกับกากแป้งมันสำปะหลังสด 1 กก. ในถุงพลาสติกแบบหนา บรรจุ 5 กก.

ทำการหมักใบมันสำปะหลังแต่ละกลุ่มทดลองที่ระยะเวลาต่างกัน ได้แก่ 0, 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน นำใบมันสำปะหลังซึ่งหมักได้ตามระยะเวลาที่ต้องการมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

สุ่มเก็บตัวอย่างใบมันสำปะหลังหมักหน่วยการทดลองละ 10 จุด วิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ด้วยวิธี Colorimetric Method ตามวิธีการของเยาวมาลย์ (2523) และปริมาณ condensed tannins ด้วยวิธี Vanillin-Hydrochloric acid method ตามวิธีการของ Barns (1971) วิเคราะห์ค่า pH ตามวิธีการของบุญล้อม และคณะ (2543) วิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกตามวิธีการของ Deman *et al*. (1960) วิเคราห์ปริมาณกรดแลคติกตามวิธีการของสุรีรัตน์ (2545) วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen; NH_3-N) ตามวิธีการของชาญวิทย์ (2548) วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ (Water Soluble Carbohydrate; WSC) ด้วยวิธี Nelson's reducing sugar ตามวิธีการของ Hodge and Hofreiter (1962) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ตามวิธีการของ Erwin *et al.* (1961) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี Proximate analysis ตามวิธีการของ A.O.A.C. (1990) และวิเคราะห์องค์ประกอบผนังเซลล์พืชด้วยวิธี Van Soest System ตามวิธีการของ Goering and Van Soest (1970)

3. แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ 2x6 Factorial in CRD โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มทดลองหลัก และ 6 กลุ่มทดลองย่อยๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 2 หน่วยการทดลอง และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Dancan's New Multiple Range Test ในโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (2002) ซึ่งมีแบบหุ่นจำลอง ดังนี้

$$Yijk = \mu + Ai + Bj + ABij + \varepsilon ijk$$

โดย Yijk คือ ค่าสังเกตปัจจัยที่ i, j และซ้ำที่ k

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวม (common mean)

Ai คือ อิทธิพลของปัจจัย A (treatment A effect)

Bj คือ อิทธพลของปัจจัย B (treatment B effect)

ABij คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A และ B (treatment AB interaction)

εijk คือ ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (experimental error)

เมื่อ i = 1,2

j = 1,2,…. ,6

k = 1,2,....,6

การทดลองที่ 2 ศึกษาระยะเวลาการตากแห้งใบมันสำปะหลังต่อปริมาณไซยาไนด์และองค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลัง

อุปกรณ์

1. ใบมันสำปะหลังสด ใบมันสำปะหลังแห้ง และใบมันสำปะหลังแห้งที่เก็บเป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 วัน

2. อุปกรณ์และสารเคมี สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ แทนนิน และองค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลัง

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมใบมันสำปะหลังสดที่ได้จากการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่ออายุ 10-12 เดือนที่เก็บมาแล้ว 1 วัน สับให้มีขนาด 3-5 ซม. และแบ่งเป็นกลุ่มการทดลองดังต่อไปนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 ใบมันสำปะหลังสด

กลุ่มการทดลองที่ 2 ใบมันสำปะหลังที่ตากจนแห้ง (ความชื้นน้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์)

กลุ่มการทดลองที่ 3 ใบมันสำปะหลังตากแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 วัน

2. การวิเคราะห์ทางเคมี

สุ่มเก็บตัวอย่างใบมันสำปะหลังกลุ่มการทดลองละ 10 จุด วิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ด้วยวิธี Colorimetric Method ตามวิธีการของเยาวมาลย์ (2523) วิเคราะห์ปริมาณ condensed tannins ด้วยวิธี Vanillin-Hydrochloric acid method ตามวิธีการของ Barns (1971) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี Proximate analysis ตามวิธีการของ A.O.A.C. (1990) และวิเคราะห์องค์ประกอบผนังเซลล์พืชด้วยวิธี Van Soest System ตามวิธีการของ Goering and Van Soest (1970)

3. แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design, CRD) โดยแบ่งใบมันสำปะหลังออกเป็น 8 กลุ่มทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Dancan's New Multiple Range Test ในโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (2002) ซึ่งมีแบบหุ่นจำลอง ดังนี้

$$Yij = \mu + Ti + \varepsilon ij$$

โดย Yij คือ ค่าสังเกตจากหน่วยทดลองที่ i ซ้ำที่ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวม (common mean)

Tj คือ อิทธพิลเนื่องจากทรีทเมนต์ที่ i (treatment effect)

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (experimental error)

เมื่อ i = 1,2,…..,8

j = 1,2,3

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใช้ใบมันสำปะหลังในรูปตากแห้งและหมักเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารโคเนื้อ ต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมักและสมรรถภาพการผลิต

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทดลอง

1.1 เครื่องผสมอาหารแบบถังนอน ขนาด 1 ตัน

1.2 ถังพลาสติกสำหรับใส่น้ำและอาหารทดลอง

2. สัตว์ทดลอง

โคเนื้อพันธุ์ไทยพื้นเมือง x บราห์มัน (50x50) เพศผู้ จำนวน 15 ตัว แบ่งเป็นโคตอนแล้ว 9 ตัว และยังไม่ตอน 6 ตัว อายุเฉลี่ย 3.09 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 277.27 กก. เลี้ยงในคอกเดี่ยวพื้นคอนกรีต กินอาหารและน้ำแบบเต็มที่ (ad libitum) มีการทำวัคซีนป้องกันโรคปากและเท้าเปื่อย (Foot and Mouse Disease) ทั้ง 3 ชนิด ได้รับวิตามินรวมและยาถ่ายพยาธิก่อนเริ่มการทดลอง

3. คอกสัตว์ทดลอง

คอกเดี่ยวพื้นคอนกรีต ขนาด 3x4 ตร.ม. และสูงจากพื้น 3 ม. มีรางอาหารหยาบและรางอาหารข้นอยู่ด้านหน้า

4. อาหารทดลอง

สูตรที่ 1 อาหารข้นซึ่งมีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตรที่ 2 อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังแห้ง (จากการทดลองที่ 2) เป็นแหล่งโปรตีนและหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตรที่ 3 อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังหมักที่หมักร่วมกับกากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ (จากการทดลองที่ 2) เป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

อาหารทดลองทั้ง 3 สูตร คำนวณระดับโภชนะให้มีโปรตีนเท่ากันคือ 16 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเพียงพอตามความต้องการของโคทดลองเพื่อการเจริญเติบโตในอัตรา 1 กก./วัน ที่แนะนำโดย NRC (2002) โดยค่าโปรตีนในสูตรที่ใช้ใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งโปรตีนถูกปรับขึ้นโดยการเพิ่มระดับยูเรียและลดระดับมันเส้นเพื่อรักษาระดับใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารไว้ที่ 35 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 6

5. อุปกรณ์ที่ใช้วัดการเจริญเติบโตของสัตว์

5.1 เครื่องชั่งน้ำหนักอาหารขนาด 15 กก.
5.2 เครื่องชั่งน้ำหนักโคขนาด 1,000 กก.

6. อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมน (Rumen fluid)

6.1 ขวดพลาสติก 25 มล.
6.2 conc. H_2SO_4
6.3 pH Meter
6.4 เครื่องปั๊มสูญญากาศ (Vacuum pump)
6.5 Stomach tube

7. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บเลือดจากสัตว์ทดลอง

7.1 เข็มเจาะเลือด (เบอร์ 18 ยาว 1.5 นิ้ว)

7.2 กระบอกฉีดยาขนาด 10 มล.

7.3 หลอดเก็บตัวอย่างเลือด

8. อุปกรณ์และสารเคมี สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในของเหลวจากกระเพาะหมัก ปริมาณกลูโคส และยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดสัตว์ทดลอง และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบสูตรอาหารทดลอง (ระดับโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์)

วัตถุดิบ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3[ก]
มันสำปะหลัง	70	55	55
กากถั่วเหลือง	20	-	-
ใบมันสำปะหลัง	-	35[ข]	35[ก]
ยูเรีย	1.5	2	2
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	1.5	1.5	1.5
เกลือ	0.5	1	1
พรีมิกซ์	0.5	0.5	0.5
กากน้ำตาล	6	5	5
รวม	100	100	100

[ก] ผสมอาหารข้นด้วยวัตถุดิบทั้งหมดยกเว้นใบมันสำปะหลังหมัก แล้วจึงผสมกับใบมันสำปะหลังหมักในภายหลังก่อนนำไปใช้เลี้ยงโค

[ข] คือใบมันสำปะหลังแห้ง

[ก] คือใบมันสำปะหลังหมักคิดเป็นน้ำหนักแห้ง โดยเมื่อคิดเป็นน้ำหนักสดจะให้โคกินที่ระดับ 3.66 กก. ต่อ อาหารข้น 1 กก.

วิธีการ

1. วิธีการทดลอง

1.1 สุ่มโคแต่ละตัวเข้าคอกทดลอง และจัดให้แต่ละกลุ่มทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ยใกล้เคียงกัน สุ่มให้โคแต่ละกลุ่มกินอาหารทดลอง 3 สูตร โดยเริ่มต้นได้รับอาหารปริมาณ 2.24 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และให้เพิ่มขึ้นเมื่อโคกินได้มากขึ้น แบ่งให้อาหารวันละ 2 เวลา ได้แก่ 07.00 น. และ 17.00 น. โดยให้อาหารข้นและอาหารหยาบแยกรางอาหารกัน แบ่งการเลี้ยงออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ก. ระยะปรับอาหาร เป็นระยะเพื่อให้สัตว์คุ้นเคยกับอาหารทดลอง ใช้เวลาประมาณ 15 วัน โดยเริ่มต้นให้อาหารทดลอง 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับอาหารที่สัตว์เคยกินปกติ และเมื่อสัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น จึงค่อยๆเพิ่มปริมาณของอาหารทดลองขึ้นทีละ 10 เปอร์เซ็นต์ จนสัตว์ทดลองกินอาหารทดลองได้ครบ 100 เปอร์เซ็นต์

ข. ระยะเตรียมการทดลอง (preliminary period) เป็นระยะที่ให้สัตว์กินคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมของการทดลองและได้รับอาหารทดลองอย่างเต็มที่ (ad libitum) เพื่อให้โคแต่ละกลุ่มทดลองมีการปรับตัวตามสูตรอาหารทดลองที่แตกต่างกัน โดยใช้เวลาประมาณ 15 วัน

ค. ระยะทดสอบประสิทธิภาพของอาหาร (experimental period) เป็นระยะที่เริ่มทำการทดลองและบันทึกข้อมูลหลังจากสัตว์ทดลองมีความคุ้นเคยกับอาหารทดลองและกินได้เป็นปกติ บันทึกปริมาณการกินได้ของโคทุกวันโดยบันทึกปริมาณการกินอาหารหยาบและอาหารข้นแยกกัน เพื่อนำไปหาปริมาณการกินได้ทั้งหมด ปริมาณการกินอาหารหยาบ และปริมาณการกินอาหารข้น และบันทึกข้อมูลน้ำหนักของโคก่อนก่อนและหลังกินอาหารเป็นเวลา 30, 60 และ 90 วัน เพื่อนำไปหาอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของโคทดลอง

1.2 สุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะหมักด้วย Stomach tube ซึ่งต่อกับเครื่องปั๊มสูญญากาศ โดยสอด Stomach tube ผ่านทางหลอดอาหารจนถึงกระเพาะหมักของโคในวันสุดท้ายของการทดลอง ก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง นำของเหลวที่ได้มาวัดค่า pH ด้วย pH Meter กรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น และเก็บไว้ในขวดพลาสติกขนาด 50 มล. หยด conc. H_2SO_4 1-2 หยด เพื่อหยุดขบวนการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ และเก็บรักษา

ไว้ที่อุณหภูมิ -20ºC เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และกรดไขมันระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมัก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทีริก และกรดโพรไพโอนิก

1.3 สุ่มเก็บตัวอย่างเลือดปริมาตร 5-10 มล. จากเส้นเลือดดำที่คอ (jugular vein) ของโคในวันสุดท้ายของการทดลอง ก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง นำตัวอย่างเลือดซึ่งเก็บรักษาใน Heparin มาปั่นแยกพลาสมาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (Blood urea nitrogen, BUN) และปริมาณกลูโคสในกระแสเลือด (Blood glucose, BG)

1.4 บันทึกข้อมูลสำหรับใช้คำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ โดยบันทึกรายจ่ายทั้งหมดตลอดระยะเวลาที่เลี้ยงโคทดลอง ได้แก่ ราคาซื้อโคแรกเข้า ราคาอาหาร ราคาเวชภัณฑ์ และปริมาณการกินได้ และบันทึกรายรับ คือ ราคาขายโคมีชีวิตเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองทั้ง 3 สูตรๆ ละ 10 จุด บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนตามวิธีการของชาญวิทย์ (2548) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ง่ายด้วยเครื่อง Gas Chromatography ตามวิธีการของ Erwin *et al*. (1961) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี Proximate analysis ตามวิธีการของ A.O.A.C. (1990) วิเคราะห์องค์ประกอบผนังเซลล์พืชด้วยวิธี Van Soest System ตามวิธีการของ Goering and Van Soest (1970) ตรวจหาปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด (Blood urea nitrogen, BUN) ตามวิธีของ Tiiffany *et al.* (1972) และปริมาณกลูโคสในกระแสเลือด (Blood glucose, BG) ตามวิธีของ Slein (1963) โดยส่งตรวจตัวอย่างเลือดที่โรงพยาบาลสัตว์ คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

3. แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) โดยแบ่งโคทั้งหมด 15 ตัว ออกเป็น 3 กลุ่มทดลองๆ ละ 5 ตัว แต่ละกลุ่มทดลองจัดโคที่ไม่ได้ตอนกลุ่มละ 2 ตัว เป็นซ้ำของบล็อก และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) โดย

เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Dancan's New Multiple Range Test ในโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (2002) ซึ่งมีแบบหุ่นจำลอง ดังนี้

$$Yij = \mu + Pi + Tj + \varepsilon ij$$

โดย Yij คือ ค่าสังเกตจากบล็อกที่ i ทรีทเมนต์ที่ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวม (common mean)

Pi คือ อิทธิพลเนื่องจากบล็อกที่ i (block effect)

Tj คือ อิทธพิลเนื่องจากทรีทเมนต์ที่ j (treatment effect)

εij คือ ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (experimental error)

เมื่อ i = 1,2

j = 1, 2, 3

สถานที่ทำการทดลอง

1. คอกทดลองของศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตกระบือและโค มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

3. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

4. โรงพยาบาลสัตว์ คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มการทดลองเดือนมีนาคม พ.ศ. 2551 และสิ้นสุดการทดลองเดือนกันยายน พ.ศ. 2551

แหล่งทุนสนับสนุน

งบประมาณทั้งหมดได้รับการสนับสนุนจากมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ผลและวิจารณ์

1. ผลการหมักใบมันสำปะหลังร่วมกับกากแป้งมันสำปะหลังต่อปริมาณไซยาไนด์และคุณภาพของอาหารหมัก

1.1 ปริมาณไซยาไนด์และแทนนินของใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการและระยะเวลาต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังหมักด้วยวิธีการหมักต่างกัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) แต่ปริมาณแทนนินในใบมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) วิธีหมักร่วมกับกากมันสำปะหลังมีผลทำให้ระดับไซยาไนด์ลดลงเมื่อเทียบกับวิธีหมักโดยใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าเท่ากับ 392.75 และ 554.83 มก./กก. ตามลำดับ แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแทนนินซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 31.11 และ 32.17 ก./กก. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7 แต่การศึกษาของ Khang and Wiktorsson (2006) ที่รายงานแทนนินในใบมันสำปะหลังหมักว่ามีระดับลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับใบมันสำปะหลังสด มีค่าเท่ากับ 27.4 และ 35.1 ก./กก. ตามลำดับ สำหรับปริมาณไซยาไนด์ให้ผลในทิศทางเดียวกันคือมีค่าลดลงจากใบมันสำปะหลังสดโดยมีค่าเท่ากับ 408 และ 983 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ของใบมันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) แต่ปริมาณแทนนินในใบมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกับอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาและวิธีการหมักต่อปริมาณไซยาไนด์ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) และต่อปริมาณแทนนิน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยปริมาณไซยาไนด์มีระดับสูงสุดในใบมันสำปะหลังที่เริ่มหมักหรือหมักเป็นระยะเวลา 0 วัน คือ 829.44 มก./กก. และลดลงในใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลา 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน คือ 711.09, 408.65, 335.97, 327.80 และ 229.78 มก./กก. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยใบมันสำปะหลังที่หมักร่วมกับกากมันสำปะหลังมีระดับไซยาไนด์ต่ำกว่าใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวทุกระยะเวลาการหมัก โดยทั้งสองวิธีมีระดับไซยาไนด์สูงสุดที่ระยะเวลาการหมัก 0 วัน คือ 736.27 และ 922.62 มก./กก. ตามลำดับ และมีระดับไซยาไนด์ต่ำสุดที่ระยะเวลาการหมัก 60 วัน คือ 179.72 และ 279.84 มก./กก. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 12 เนื่องจากสภาพความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นในใบมันสำปะหลังที่หมักร่วมกับกากมันสำปะหลังตามระยะเวลาการหมักที่นานขึ้น (ตารางที่ 9 และ 11) มีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสารไซยาโนเจนนิก กลูโคไซด์เป็น

กรดไฮโดรไซยานิก (นิลุบล และคณะ, 2550) ส่วนระดับแทนนินในใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลา 0, 7, 14, 21, 28 และ 60 วันไม่แตกต่างกัน คือ 32.83, 33.33, 29.85, 32.09, 30.71 และ 31.17 ก./กก. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8 เนื่องจากแทนนินมีความคงตัวที่ค่า pH 3-7 และแทนนินซึ่งส่วนใหญ่ คือ condensed tannins มีโมเลกุลขนาดใหญ่และรวมตัวกันหนาแน่น จึงไม่ถูกไฮโดรไลส์ได้ง่าย (จุฑาลักษณ์, 2549)

ตารางที่ 7 ระดับไซยาไนด์และแทนนินในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการต่างกัน

วิธีการหมัก*	ไซยาไนด์ (มก./กก.)	แทนนิน (ก./กก.)
หมักด้วยใบมันสำปะหลัง	554.83[ก]	32.17
หมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลัง	392.75[ข]	31.11
SEM	28.01	0.41

[ก-ข] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)
* หมายถึงค่าเฉลี่ยจากการหมักเป็นระยะเวลา 0, 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน

1.2 คุณภาพอาหารหมักของใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการและระยะเวลาต่างกัน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพอาหารหมักของใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการต่างกัน พบว่า ค่า pH กรดแลคติก แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยวิธีหมักใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลังมีค่า pH และแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกต่ำกว่าวิธีหมักด้วยใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว คือ 4.41 ต่อ 4.95 และ 7.80 ต่อ 8.44 log cfu/g. แต่มีกรดแลคติกและคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้สูงกว่า คือ 26.07 ต่อ 15.66 เปอร์เซ็นต์ และ 24.73 ต่อ 16.48 ก./กก. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 9 ส่วนค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดอะซิติก และกรดโพรพิโอนิกของใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการต่างกัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยวิธีหมักใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลังมีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและกรดบิวทิริกต่ำกว่าวิธีหมักด้วยใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว คือ 5.26 ต่อ 6.54 เปอร์เซ็นต์ และ 2.19 และ 2.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีระดับกรดอะซิติก และกรดโพรพิโอนิกสูงกว่า คือ 7.45 ต่อ 6.65 เปอร์เซ็นต์ 4.54 ต่อ 4.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 10 เนื่องจากการเสริมกากมันสำปะหลังในอาหาร

หมักทำให้แบคทีเรียผลิตกรดแลคติกมีสับสเตรทปริมาณเพียงพอและผลิตกรดแลคติกได้อย่างรวดเร็ว ปริมาณกรดแลคติกที่มากกว่าถูกเมทาโบไลซ์ต่อได้เป็นกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกโดยจุลินทรีย์ในอาหารหมักในปริมาณที่มากกว่า (McDonald *et al*., 1995) อีกทั้งกรดแลคติกซึ่งมีค่าความเป็นกรดสูง (ค่า pK_a เท่ากับ 3.1) ยังส่งผลให้ค่า pH ลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งอยู่ในระดับต่ำกว่า 4.5 ซึ่งเป็นระดับที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารหมักเน่าเสียซึ่งให้ผลผลิตเป็นกรดบิวทิริกและแอมโมเนีย-ไนโตรเจน(Brookes and Buckle, 1992) มีผลให้ค่า pH กรดบิวทิริก แอมโมเนีย-ไนโตรเจน แบคทีเรียผลิตกรดแลคติกต่ำกว่าตลอดจนมีคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้เหลืออยู่มากกว่า แสดงถึงการมีประสิทธิภาพการหมักที่ดีกว่า (Woolford and Pahlow, 1998) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีหมักด้วยใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 8 ระดับไซยาไนด์และแทนนินในใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลาต่างกัน

ระยะเวลาการหมัก (วัน)*	ไซยาไนด์ (มก./กก.)	แทนนิน (ก./กก.)
0	829.44[ก]	32.83
7	711.09[ข]	33.33
14	408.65[ค]	29.85
21	335.97[ง]	32.09
28	327.80[ง]	30.71
60	229.78[ข]	31.17
SEM	28.01	0.41

[ก-จ] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

* หมายถึงค่าเฉลี่ยจากวิธีการหมักด้วยใบมันสำปะหลังและหมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลัง

ตารางที่ 9 ค่าความเป็นกรด-ด่าง กรดแลคติก แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการต่างกัน

วิธีการหมัก*	pH	กรดแลคติก (เปอร์เซ็นต์)	แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก (log cfu/g.)	คาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ (ก./กก.)
หมักด้วยใบมันสำปะหลัง	4.95[ก]	15.66[ก]	8.44[ก]	16.48[ก]
หมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลัง	4.41[ข]	26.07[ข]	7.80[ข]	24.73[ข]
SEM	0.06	1.61	0.16	2.25

[ก-ข] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)
* หมายถึงค่าเฉลี่ยจากการหมักเป็นระยะเวลา 0, 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน

ตารางที่ 10 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริกในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)

วิธีการหมัก*	แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	กรดอะซิติก	กรดโพรพิโอนิก	กรดบิวทิริก
หมักด้วยใบมันสำปะหลัง	6.54[ก]	7.21[ก]	4.07[ก]	2.33[ก]
หมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลัง	5.26[ข]	8.54[ข]	4.54[ข]	2.19[ข]
SEM	0.15	0.23	0.16	0.45

[ก-ข] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)
* หมายถึงค่าเฉลี่ยจากการหมักเป็นระยะเวลา 0, 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน

ผลการวิเคราะห์ค่า pH กรดแลคติก แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ของใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลาต่างกันรวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาและวิธีการหมัก พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยค่า pH และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ในใบมันสำปะหลังหมักมีค่าสูงสุดที่ระยะเวลาการหมัก 0 วัน คือ 5.47

และ 54.92 ก./กก. ตามลำดับ และลดลงที่ระยะเวลาการหมัก 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน คือ 4.61, 4.59, 4.51, 4.46 และ 4.34 ตามลำดับ และ 28.27, 19.10, 9.61, 6.71 และ 5.05 ก./กก. ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณแบคทีเรียผลิตกรดแลคติคและกรดแลคติกมีค่าต่ำสุดที่ระยะเวลาการหมัก 0 วัน คือ 5.84 log cfu/g. และ 6.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีค่าสูงขึ้นที่ระยะเวลาการหมัก 7 และ 14 วัน คือ 8.96 และ 9.75 log cfu/g. และ 9.23 และ 40.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่กลับลดลงที่ระยะเวลาการหมัก 21, 28 และ 60 วัน คือ 8.66, 8.07 และ 7.44 log cfu/g. และ 31.90, 18.77 และ 18.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 11 เนื่องจากในช่วงแรกของการหมักคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วโดยแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกซึ่งสามารถเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ในวัตถุดิบให้เป็นกรดแลคติก ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตทั้งหมด ทำให้กรดแลคติกและแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกซึ่งใช้กรดแลคติกเป็นแหล่งพลังงานมีปริมาณเพิ่มขึ้นและเพิ่มสูงสุดที่ระยะเวลาการหมัก 14 วัน จากนั้นมีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพความเป็นกรดสูงของอาหารหมักยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกซึ่งเจริญได้ดีที่ค่า pH เท่ากับ 4.5 ถึง 5 (Brookes and Buckle, 1992) ส่งผลให้แบคทีเรียผลิตกรดแลคติกมีปริมาณลดลงและผลิตกรดแลคติกได้ลดลง อย่างไรก็ตามกระบวนการหมักยังคงดำเนินต่อไป มีผลให้ค่า pH และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้มีระดับลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 11 นอกจากนี้การเสริมกากมันสำปะหลังที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 วันและมีค่า pH ที่วัดได้จากการทดลองนี้ เท่ากับ 3.46 ส่งผลให้วิธีหมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้และกรดแลคติกสูงกว่า และมีค่า pH ต่ำกว่าวิธีหมักด้วยใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวในทุกระยะเวลาการหมัก ดังแสดงในตารางที่ 12 และ 14

ตารางที่ 11 ค่าความเป็นกรด-ด่าง กรดแลคติก แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ในใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลาต่างกัน

ระยะเวลาการหมัก* (วัน)	pH	กรดแลคติก (เปอร์เซ็นต์)	แบคทีเรียผลิตกรดแลคติค (log cfu/g.)	คาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ (ก./กก.)
0	5.47^{ก}	6.97^{ก}	5.84^{ก}	54.92^{ก}
7	4.61^{ข}	9.23^{ก}	8.96^{ข}	28.27^{ข}
14	4.59^{ข}	40.16^{ข}	9.75^{ค}	19.10^{ค}
21	4.51^{ขค}	31.90^{ค}	8.66^{ง}	9.61^{ง}
28	4.46^{ค}	18.77^{ง}	8.07^{จ}	6.71^{จ}
60	4.34^{ง}	18.17^{ง}	7.44^{ฉ}	5.05^{จ}
SEM	0.06	1.61	0.16	2.25

$^{ก-ฉ}$ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

* หมายถึงค่าเฉลี่ยจากวิธีหมักด้วยใบมันสำปะหลังและหมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลัง

ตารางที่ 12 ระดับไซยาไนด์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง กรดแลคติก แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการและระยะเวลาต่างกัน

วิธีการหมัก	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	HCN (มก./กก.)	pH	กรดแลคติก (เปอร์เซ็นต์)	แบคทีเรียผลิตกรดแลคติค (log cfu/g.)
หมักด้วยใบมันสำปะหลัง					
	0	922.62[ก]	6.02[ก]	4.39[ก]	5.23[ก]
	7	834.18[ข]	4.75[ข]	7.51[กข]	9.47[ข]
	14	484.27[ค]	4.73[ข]	36.03[ค]	10.25[ค]
	21	403.42[ง]	4.80[ขค]	24.02[จ]	9.24[ง]
	28	404.67[ง]	4.82[ค]	12.01[ข]	8.39[จ]
	60	279.84[จ]	4.58[ง]	9.91[ข]	8.05[ช]
หมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลัง					
	0	736.27[ฉ]	4.91[จ]	9.10[ข]	6.46[ช]
	7	588.01[ช]	4.46[ฉ]	10.96[ข]	8.46[ฌ]
	14	333.04[ซ]	4.44[ฉ]	44.29[ง]	9.24[ง]
	21	252.19[จ]	4.23[ช]	39.79[ค]	8.08[ช]
	28	267.27[จ]	4.30[ช]	25.52[จ]	7.74[ญ]
	60	179.72[ฌ]	4.08[ช]	26.42[จ]	6.82[ย]

[ก-ย] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริกของใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยระยะเวลาต่างกัน รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาและวิธีการหมัก พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิกริกมีค่าต่ำสุดที่ระยะเวลาการหมัก 0 วัน คือ 5.98 1.66 และ 2.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาการหมัก 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน โดยกรดอะซิติก คือ 6.24, 6.81,

8.30, 9.63 และ 10.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรดโพรพิโอนิก คือ 4.12, 4.44, 4.58, 4.94 และ 6.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกรดบิวทิกริก คือ 2.21, 2.22, 2.30, 2.28 และ 2.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากกรดแลคติกถูกเมทตาโบไลซ์ต่อได้เป็นกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิคโดยจุลินทรีย์ในอาหารหมัก รวมทั้งแบคทีเรียกลุ่ม Clostridia และ Bacillus ซึ่งเจริญได้ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนและสภาพความเป็นกรดสูงสามารถเปลี่ยนกรดแลคติกไปเป็นกรดบิวทิริก ซึ่งมีผลให้อาหารหมักมีกลิ่นเหม็นและเกิดการเน่าเสีย (McDonald *et al*., 1995) ขณะที่ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีค่าต่ำสุดที่ระยะเวลาการหมัก 0 วัน คือ 4.42 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาการหมัก 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน คือ 5.29, 5.51, 6.01, 6.61 และ 7.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 13 เนื่องจากสภาพความเป็นกรดสูงมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจนและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ proteolysis และกระบวนการ deamination จากพืช (Zahiroddini *et al*., 2004)

ตารางที่ 13 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริกในใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลาต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)

ระยะเวลาการหมัก* (วัน)	แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	กรดอะซิติก	กรดโพรพิโอนิก	กรดบิวทิริก
0	4.42^{ก}	5.98^{ก}	1.66^{ก}	2.02^{ก}
7	5.29^{ข}	6.24^{กข}	4.12^{ข}	2.21^{ข}
14	5.51^{ข}	6.81^{ข}	4.44^{ค}	2.22^{ข}
21	6.01^{ค}	8.30^{ค}	4.58^{ค}	2.30^{ข}
28	6.61^{ง}	9.63^{ง}	4.94^{ง}	2.28^{ข}
60	7.57^{จ}	10.29^{จ}	6.11^{จ}	2.56^{ค}
SEM	0.15	0.23	0.16	0.45

$^{ก-จ}$ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

* หมายถึงค่าเฉลี่ยจากวิธีการหมักด้วยใบมันสำปะหลังและหมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลัง

ตารางที่ 14 ระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการและระยะเวลาต่างกัน

วิธีการหมัก	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	คาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ (ก./กก.)
หมักด้วยใบมันสำปะหลัง			
	0	5.06^{ก}	37.28^{ก}
	7	6.11^{ข}	24.78^{ข}
	14	6.30^{ข}	21.24^{ข}
	21	6.49^{ข}	6.36^{คช}
	28	7.25^{ค}	4.87^{ค}
	60	8.03^{ง}	4.37^{ค}
หมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลัง			
	0	3.77^{จ}	72.55^{ง}
	7	4.46^{ฉ}	31.76^{จ}
	14	4.71^{กฉ}	16.96^{ฉ}
	21	5.52^{กข}	12.86^{ช}
	28	5.97^{ข}	8.54^{ช}
	60	7.11^{ค}	5.72^{ค}

$^{ก-ช}$ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ตารางที่ 15 ระดับกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และ กรดบิวทิกริกในใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการและระยะเวลาต่างกัน

วิธีการหมัก	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	กรดอะซิติก	กรดโพรพิโอนิก	กรดบิวทิริก
หมักด้วยใบมันสำปะหลัง				
	0	5.86^{ก}	1.42^{ก}	1.90^{ก}
	7	6.02^{ก}	3.74^{ข}	2.28^{ขง}
	14	6.59^{กขจ}	4.26^{ค}	2.30^{ขง}
	21	6.86^{ขจ}	4.36^{ค}	2.37^{ข}
	28	8.48^{ค}	4.74^{ง}	2.33^{ข}
	60	9.48^{ง}	5.93^{จ}	2.81^{ค}
หมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลัง				
	0	6.12^{กข}	1.90^{ฉ}	2.12^{ง}
	7	6.46^{กขจ}	4.49^{คง}	2.16^{ง}
	14	7.02^{จ}	4.63^{คง}	2.13^{ง}
	21	9.74^{ง}	4.81^{ง}	2.23^{ขง}
	28	10.79^{ฉ}	5.15^{ง}	2.23^{ขง}
	60	11.10^{ฉ}	6.29^{ช}	2.30^{ขง}

$^{ก-ช}$ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

1.3 องค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการและระยะเวลาต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ค่าวัตถุแห้งของใบมันสำปะหลังหมักที่หมักด้วยวิธีการต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยวิธีหมักใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลังมีค่าวัตถุแห้งสูงกว่าวิธีหมักใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว คือ 26.15 ต่อ 25.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ระดับโปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ และเยื่อใยในรูปลิกโน

เซลลูโลสมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยวิธีหมักใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวและวิธีหมักใบมันสำปะหลังที่ร่วมกับกากมันสำปะหลังมีระดับโปรตีน คือ 19.88 และ 19.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไขมัน คือ 4.46 และ 4.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เถ้า คือ 11.01 และ 10.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ คือ 35.53 และ 35.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส คือ 28.41 และ 27.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 16 ใกล้เคียงกับที่นิลุบล และคณะ (2550) รายงานค่าวัตถุแห้งและระดับโปรตีนในใบมันสำปะหลังที่หมักร่วมกับกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์เป็นระยะเวลา 1 เดือน คือ 28.30 และ 18.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ Khang and Wiktorsson (2006) รายงานค่าวัตถุแห้ง ระดับโปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ และเยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลสในใบมันสำปะหลังหมักที่สูงกว่า คือ 39.27, 20.34, 6.57, 6.89, 50.10 และ 37.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากใบมันสำปะหลังถูกนำไปผึ่งแดดนาน 2 วันก่อนนำมาหมักทำให้มีค่าวัตถุแห้งสูงกว่า ตลอดจนสภาพการหมักที่เกิดเร็วขึ้นสามารถลดการสูญเสียค่าวัตถุแห้งและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ proteolysis ของจุลินทรีย์ (Zahiroddini *et al*., 2004) นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังมีความแปรปรวนตามสายพันธุ์และสภาพแวดล้อมการปลูก (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2531)

ผลการวิเคราะห์ค่าวัตถุแห้งและระดับโปรตีนของใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลาต่างกัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยมีค่าวัตถุแห้งต่ำสุดที่ระยะเวลาการหมัก 0 วัน คือ 19.34 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาการหมัก 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน คือ 28.13, 28.09, 27.01, 27.07 และ 27.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากกระบวนการหายใจของพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์จากการหมัก (McDonald *et al*., 1995) ขณะที่ระดับไขมัน เถ้า เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ และเยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยที่ระยะเวลาการหมัก 0, 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน มีระดับโปรตีน คือ 19.41, 19.14, 19.21, 19.50, 19.24 และ 19.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับไขมัน คือ 4.44, 4.41, 4.52, 4.36, 4.40 และ4.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับเถ้า คือ 10.67, 11.04, 11.14, 10.52 และ 10.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับเยื่อใยในรูปผนังเซลล์ คือ 36.42, 36.61, 35.84, 35.26, 35.38 และ 35.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และระดับเยื่อใยรูปลิกโนเซลลูโลส คือ 28.72, 28.84, 28.23, 27.76, 27.47 และ 27.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 17 ขัดแย้งกับ Mcallister *et al.* (1998) ซึ่งรายงานว่าจุลินทรีย์ในพืชหมักมีความสามารถผลิตเอนไซม์ cellulases และ hemicellulases เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังมีความแปรปรวนตามสายพันธุ์และสภาพแวดล้อมการปลูก (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2531) และการทำงานของจุลินทรีย์ในอาหารหมักมีความผันแปรตามปัจจัยและสภาพแวดล้อมการหมัก (Zahiroddini *et al*., 2004) ขณะที่

อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาและวิธีการหมักต่อค่าวัตถุแห้ง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) แต่ระดับโปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ และเยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลสมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยวิธีการต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)

กรรมวิธีการหมัก*	วัตถุแห้ง	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใยในรูปผนังเซลล์	เยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส
หมักด้วยใบมันสำปะหลัง	25.20[ก]	19.88	4.46	11.01	35.53	28.41
หมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลัง	26.15[ข]	19.63	4.40	10.93	35.14	27.73
SEM	0.38	0.13	0.16	0.68	0.39	0.46

[ก-ข] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

* หมายถึงค่าเฉลี่ยจากการหมักเป็นระยะเวลา 0, 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน

ตารางที่ 17 องค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลาต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)*	วัตถุแห้ง	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใยในรูปผนังเซลล์	เยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส
0	19.34[ก]	19.41	4.44	10.67	36.42	28.72
7	28.13[ข]	19.14	4.41	11.04	36.61	28.84
14	28.09[ข]	19.21	4.52	11.14	35.84	28.23
21	27.01[ค]	19.50	4.36	10.52	35.26	27.76
28	27.07[ค]	19.24	4.40	10.78	35.38	27.47
60	27.39[ค]	19.00	4.34	10.87	35.14	27.54
SEM	0.38	0.13	0.16	0.68	0.39	0.46

[ก-ค] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

* หมายถึงค่าเฉลี่ยจากวิธีหมักด้วยใบมันสำปะหลังและหมักด้วยใบมันสำปะหลังร่วมกับกากมันสำปะหลัง

ใบมันสำปะหลังจัดเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับทำพืชหมัก โดยเฉพาะใบมันสำปะหลังที่หมักร่วมกับกากมันสำปะหลังเป็นระยะเวลา 60 วันซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 4.08 และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เท่ากับ 7.11 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับลักษณะอาหารหมักที่ดีควรมีค่า pH ต่ำกว่า 4.2 และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนไม่เกิน 11 เปอร์เซ็นต์ (อำนาจ, 2540) แต่มีระดับกรดแลคติกเท่ากับ 26.42 เปอร์เซ็นต์ และกรดบิวทิริก เท่ากับ 2.56 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 12 และ 14) ขัดแย้งกับลักษณะอาหารหมักที่ดีควรมีระดับกรดแลคติก 3-13 เปอร์เซ็นต์ และกรดบิวทิริกต่ำกว่า 0.2 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการหมักร่วมกับกากมันสำปะหลังมีผลให้การหมักเกิดกรดแลคติกมากขึ้น และใบมันสำปะหลังซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีระดับความชื้น และโปรตีนสูงหรือมีค่า buffering capacity สูงมีโปรตีนที่ถูกจุลินทรีย์เปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในปริมาณมาก ทำให้ค่า pH ไม่ลดลงเร็วจนเกินไป มีผลให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้อากาศและแบคทีเรียกลุ่ม Clostridia และ Bacillus เจริญได้ดีและผลิตกรดบิวทิริกสูงกว่าในรายงาน นอกจากนี้ใบมันสำปะหลังที่หมักร่วมกับกากมันสำปะหลังมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เลี้ยงสัตว์มากกว่าใบมันสำปะหลังที่หมักด้วยใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว โดยมีระดับไซยาไนด์ ค่า pH กรดบิวทิริก และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำกว่า และมี

ปริมาณกรดแลคติก กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้สูงกว่าการหมักด้วยใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว

2. ผลการศึกษาระยะเวลาการตากแห้งใบมันสำปะหลังต่อปริมาณไซยาไนด์และองค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลัง

2.1 ปริมาณไซยาไนด์และแทนนินของใบมันสำปะหลังสด และตากแห้งที่เก็บรักษาเป็นเวลาต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ของใบมันสำปะหลังที่สภาวะต่างกัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยใบมันสำปะหลังสดมีปริมาณไซยาไนด์สูงสุด คือ 863.58 มก./กก. มีระดับลดลงเมื่อตากจนแห้ง คือ 359.81 มก./กก. และเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 วัน คือ 204.47, 167.57, 112.58, 90.47, 63.13 และ 61.25 มก./กก. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 18 สอดคล้องกับ Fasuyi (2005) และ Ravindran (1991) รายงานระดับไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังสด คือ 565.48 มก./กก. และ 200-800 มก./กก. ตามลำดับ และ Borin (2005) รายงานระดับไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังตากแห้ง คือ 203 มก/กก. ส่วน Ravindran (1991) รายงานระดับไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังที่เก็บรักษาเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 วัน คือ 170, 141, 114, และ 93 มก./กก. เนื่องจากการตากแห้งและเก็บรักษาใบมันสำปะหลังไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งมีผลให้ไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังระเหยออกไปพร้อมกับไอน้ำในรูปกรดไฮโดรไซยานิก การตากแห้งจึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการลดปริมาณไซยาไนด์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ (อุทัย และ สุกัญญา, 2547) และมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ได้ดีกว่าการหมักในการทดลองที่ 1 ทั้งสองวิธี (ตารางที่ 7 และ 8) อย่างไรก็ตาม Borin (2005) รายงานว่าการตากแห้งใบมันสำปะหลัง 1-2 ชั่วโมงก่อนนำไปหมักเป็นเวลา 56 วัน มีผลลดปริมาณไซยาไนด์ได้มากกว่าการตากแห้ง คือ 122 และ 203 มก./กก. ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินของใบมันสำปะหลังที่สภาวะต่างกัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยแทนนินในใบมันสำปะหลังสดและใบมันสำปะหลังแห้งที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 0, 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 วัน คือ 39.13, 37.02, 35.61, 34.92, 34.80, 34.33, 32.34 และ 31.04 ก./กก. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 18 สอดคล้องกับ Khang and Wiktorsson (2006) และ Netpana *et al.* (2001) ที่รายงานระดับแทนนินในใบมันสำปะหลังแห้ง คือ 35.1 และ 32.6 ก./กก. ตามลำดับ เนื่องจากแทนนินเป็นสาร polyphenol มีโครงสร้างซับซ้อนโดยเฉพาะ condensed tannins ซึ่งโมเลกุลรวมตัวกันแน่นและประกอบด้วย polyhydric phenols เชื่อมกันด้วยพันธะ C-C

เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ จึงไม่ถูกไฮโดรไลส์โดยง่าย (จุฑาลักษณ์, 2549) โดยปริมาณแทนนินที่เหมาะสมมีผลให้โปรตีนมีคุณสมบัติเป็นโปรตีนไหลผ่าน (By-pass Protein) และช่วยลดจำนวนพยาธิในทางเดินอาหารของสัตว์ (เมธา, 2545)

ตารางที่ 18 ปริมาณไซยาไนด์และแทนนินในใบมันสำปะหลังสด ใบมันสำปะหลังแห้ง และใบมันสำปะหลังแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่างกัน

ตัวอย่าง	ไซยาไนด์ (มก./กก.)	แทนนิน (ก./กก.)
ใบมันสำปะหลังสด	863.58[ก]	39.13
ใบมันสำปะหลังแห้ง	359.81[ข]	37.02
เวลาการเก็บรักษา (วัน)		
1	204.47[ค]	35.61
3	167.57[ง]	34.92
5	112.58[จ]	34.80
7	90.47[ฉ]	34.33
9	63.13[ช]	32.34
11	61.25[ช]	31.04
SEM	2.74	0.08

[ก-ช] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังสด และตากแห้งที่เก็บรักษาเป็นเวลาต่างกัน

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังที่สภาวะต่างกัน พบว่า ค่าวัตถุแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยใบมันสำปะหลังสดมีค่าวัตถุแห้งต่ำสุด คือ 19.08 เปอร์เซ็นต์ ใบมันสำปะหลังตากแห้ง และใบมันสำปะหลังแห้งที่เก็บรักษาเป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 วัน มีค่าวัตถุแห้ง คือ 89.39, 89.43, 89.69, 89.78, 89.15, 89.68 และ 89.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ระดับโปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ และ เยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลสของใบมันสำปะหลังที่สภาวะต่างกัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ใบมันสำปะหลังสด ใบมันสำปะหลังแห้ง และใบมันสำปะหลังแห้งที่เก็บรักษาเป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 วัน มีระดับโปรตีน คือ 19.90, 19.27, 19.09, 20.60, 21.08, 19.72,

19.97 และ 19.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับไขมัน คือ 4.42, 4.55, 4.72, 4.79, 4.18, 4.08, 4.09 และ 4.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับเถ้า คือ 10.44, 10.14, 12.04, 12.03, 11.52, 8.87, 11.78 และ 12.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับเยื่อใยในรูปผนังเซลล์ คือ 35.61, 35.11, 34.58, 35.27, 34.67, 35.86, 34.97 และ 34.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และระดับเยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส คือ 27.82, 27.97, 27.17, 27.34, 28.58, 27.54, 28.04 และ 28.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 19 ใกล้เคียงกับ Ravindran (1991) ซึ่งรายงานค่าวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใยในรูปผนังเซลล์และเยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส คือ 93.0, 21.0, 5.5, 8.5, 30.65 และ 27.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลอง แสดงว่า การตากแห้งและการเก็บรักษาใบมันสำปะหลังไว้เป็นระยะเวลา 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 วัน มีผลให้ค่าวัตถุแห้งและไซยาไนด์ลดลงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์ตลอดจนอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนะ เป็นแหล่งของเยื่อใยและแหล่งโปรตีนคุณภาพดี (อุทัย และ สุกัญญา, 2547) มีระดับกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential Amino Acid) ใกล้เคียงกับกากถั่วเหลืองมีเพียงเมทไธโอนีน อาร์จีนีน และเฟนิลอลานีนซึ่งมีปริมาณต่ำกว่า (ตารางที่ 5) ใบมันสำปะหลังแห้งจึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร

ตารางที่ 19 องค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังคิดเป็นเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง

ตัวอย่าง	วัตถุแห้ง	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใยในรูปผนังเซลล์	เยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส
ใบมันสำปะหลังสด	19.08[ก]	19.90	4.42	10.44	35.61	27.82
ใบมันสำปะหลังแห้ง	89.39[ข]	19.27	4.55	10.14	35.11	27.97
เวลาการเก็บรักษา(วัน)						
1	89.43[ข]	19.09	4.72	12.04	34.58	27.17
3	89.69[ข]	20.60	4.79	12.03	35.27	27.34
5	89.78[ข]	21.08	4.18	11.52	34.67	28.58
7	89.15[ข]	19.72	4.08	10.87	35.86	27.54
9	89.68[ข]	19.97	4.09	11.78	34.97	28.04
11	89.72[ข]	19.46	4.47	12.01	34.44	28.84
SEM	3.88	0.33	0.16	0.44	0.46	0.41

[ก-ข] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

3. ผลการศึกษาการใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร ต่อประสิทธิภาพการหมักย่อยในกระเพาะหมักและสมรรถภาพการผลิตของโคเนื้อ

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่ใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นทั้ง 3 สูตร พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีนหยาบ เถ้า และพลังงานใกล้เคียงกัน คือ 16.69, 16.31 และ 16.71 เปอร์เซ็นต์ 8.71, 8.26 และ 8.41 เปอร์เซ็นต์ และ 4,356.78, 4,350.47 และ 4,353.36 กิโลแคลอรี่/กก. ตามลำดับ เนื่องจากคำนวณสูตรอาหารให้มีระดับพลังงานและโปรตีนใกล้เคียงกัน ตลอดจนกากถั่วเหลืองและใบมันสำปะหลังมีระดับเถ้าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4) อาหารข้นสูตรที่ 2 และ 3 แสดงค่าเยื่อใยหยาบ คือ 11.23 และ 10.31เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และไขมัน คือ 2.44 และ 2.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สูงกว่าสูตรที่ 1 คือ 4.57 และ 0.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากใบมันสำปะหลังมีเยื่อใยและไขมันสูงกว่ากากถั่วเหลือง (ตารางที่ 4) และใช้ในสูตรอาหาร 35 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กากถั่วเหลืองใช้เพียง 20 เปอร์เซ็นต์ แต่มีระดับคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ต่ำกว่า คือ 52.67 และ 52.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 1 คือ 59.27 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากระดับเยื่อใยและไขมันที่สูงกว่ามีผลให้มีสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ต่ำกว่า ขณะที่ใบมันสำปะหลังหมักซึ่งอยู่ในรูปวัตถุสดและมีความชื้นสูงทำให้ค่าวัตถุแห้งของอาหารข้นสูตรที่ 3 มีค่าต่ำสุด คือ 70.87 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งกากถั่วเหลืองและใบมันสำปะหลังแห้งล้วนอยู่ในรูปวัตถุแห้ง (ความชื้น<12 เปอร์เซ็นต์) ทำให้มีค่าวัตถุแห้งใกล้เคียงกัน คือ 89.85 และ 90.91เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และหญ้าขนที่อายุการตัด 40-45 วัน มีค่าวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน คาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ เยื่อใยหยาบ เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ เยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า เท่ากับ 28.11, 6.32, 1.77, 43.80, 32.73, 72.69, 41.31, 3.81 และ 8.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีพลังงานรวม (Gross Energy; GE) เท่ากับ 4,537.76 กิโลแคลอรี่/กก. ดังแสดงในตารางที่ 20 แตกต่างจากจีระชัย (2549) ที่รายงาน ค่าวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ เยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า เท่ากับ 20.69, 7.47, 2.86, 63.36, 38.68, 3.61 และ 13.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และบุญฤา (2528) ที่รายงาน ค่าทางวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน คาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ เยื่อใยหยาบ และเถ้าของหญ้าขนที่อายุการตัด 30 วัน เท่ากับ 28.4, 10.3, 1.0, 41.9, 27.5 และ 10.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากหญ้าขนจากการทดลองมีอายุการตัด 30-45 วัน และปลูกในพื้นที่ที่ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำกว่า ทำให้มีระดับโปรตีนและเถ้าต่ำกว่า แต่เยื่อใยและค่าวัตถุแห้งสูงกว่า โดยอายุการตัดที่เพิ่มขึ้นมีผลให้คุณค่าทางอาหารลดลงและองค์ประกอบของเยื่อใยเพิ่มขึ้น ตลอดจนมีปัจจัยที่มีผล

ต่อคุณภาพของอาหารหยาบแตกต่างกัน ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความยาวช่วงแสง ลักษณะทางกายภาพ ค่า pH ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และวิธีการปลูก (สายัณห์, 2520)

ตารางที่ 20 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง

โภชนะ	อาหารข้น			อาหารหยาบ
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	หญ้าขน
วัตถุแห้ง (DM)	89.85	90.91	70.87	28.11
โปรตีนหยาบ (CP)	16.69	16.31	16.71	6.32
ไขมัน (EE)	0.59	2.44	2.58	1.77
เยื่อใยหยาบ (CF)	4.57	11.23	10.31	32.73
คาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ (NFE)	59.27	52.67	52.36	43.80
เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ (NDF)	-	-	-	72.69
เยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส (ADF)	-	-	-	41.31
เฮมิเซลลูโลส	-	-	-	30.38
เซลลูโลส	-	-	-	37.50
ลิกนิน (ADL)	-	-	-	3.81
เถ้า	8.71	8.26	8.41	8.98
พลังงานรวม (kcal/kg.)	4,356.78	4,350.47	4,353.36	4,537.76

3.2 ผลการหมักย่อยของอาหารทดลองที่ใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะหมัก

ผลการศึกษาค่า pH ของของเหลวจากกระเพาะหมักของโคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 2 และ 3 ที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังได้รับอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย คือ 6.93, 6.85 และ 6.81 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 21 เนื่องจากโคได้กินอาหารหยาบกินเต็มที่ (ad libitum) ทำให้มีการเคี้ยวเอื้องกระตุ้นการผลิตน้ำลายซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารบัฟเฟอร์ช่วยปรับค่า pH ในกระเพาะหมักให้เป็นกลางและไม่เปลี่ยนแปลงเร็วเกินไป (สมจิตร และคณะ, 2550) ตลอดจนมีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ (จีระชัย, 2549) มีผลให้โคที่ได้รับอาหารทดลองที่มีโภชนะแตกต่างกันมีค่า pH ในกระเพาะหมักใกล้เคียงกันและมีค่าลดลงในชั่วโมงที่ 2 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับชั่วโมงที่ 0 เนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะ

หมักมีกิจกรรมการหมักย่อยและผลิตกรดได้สูงสุดหลังจากกินอาหารเป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง (เมธา, 2545) สอดคล้องกับ พันทิพา (2539) และ Dehority (2003) รายงาน ค่า pH 5.5-7.2 คือช่วงที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการหมักย่อย การดูดซึมสารอาหาร และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก โดยค่า pH ที่ต่ำกว่า 5.5 มีผลให้สัตว์มีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคภาวะกรดเกินในกระเพาะหมัก (acidosis) แบคทีเรียในกระเพาะหมักมีการเจริญเติบโตลดลง ตลอดจนการดูดซึมสารอาหาร กรดไขมันระเหยได้ง่าย และแอมโมเนียของโคมีประสิทธิภาพลดลง (กฤษ, 2547)

3.3 ผลการหมักย่อยของอาหารทดลองที่ใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง ต่อปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในกระเพาะหมัก

ผลการศึกษาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของเหลวจากกระเพาะหมักของโคที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ที่เวลา 0 ชั่วโมง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) และที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 มีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมง คือ 6.05, 13.21 และ 10.66 มก.เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สูงกว่ากลุ่มที่ 2 และ 3 คือ 4.92, 11.99 และ9.46 มก.เปอร์เซ็นต์ และ 4.90, 12.15 และ9.46 มก.เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยโคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 9.97 มก.เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากลุ่มที่ 2 และ 3 คือ 8.79 และ 8.90 มก.เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 21 เนื่องจากอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 มีระดับคาร์โบไฮเดรทที่ละลายง่ายซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักของจุลินทรีย์สูงกว่า ตลอดจนกากถั่วเหลืองมีค่าการย่อยได้และค่าการสลายตัวในกระเพาะหมักสูงกว่า (ตารางที่ 4) และมีโปรตีนไหลผ่าน 30.40 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน (จีระชัย, 2549) น้อยกว่าใบมันสำปะหลังที่มี 47.80 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน (Kavana *et al*., 2005) โปรตีนจากอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 จึงถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักหมักย่อยและเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมากกว่ากลุ่มอื่น โดยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักมีค่าน้อยที่สุดที่ชั่วโมงที่ 0 เพิ่มสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 2 หลังกินอาหาร เนื่องจากกิจกรรมหมักย่อยและผลิตแอมโมเนียของจุลินทรีย์ และลดลงที่ชั่วโมงที่ 4 หลังกินอาหาร เนื่องจากอาหารในกระเพาะหมักมีปริมาณลดลง แต่แอมโมเนียยังคงถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักนำไปใช้สังเคราะห์ microbial protein สำหรับเพิ่มจำนวนเซลล์จุลินทรีย์ (นวลจันทร์ และ สินชัย, 2544) และบางส่วนถูกดูดซึมผ่านผนังของกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือดแล้วส่งไปยังตับเพื่อเปลี่ยนเป็นยูเรียซึ่งมีความเป็นพิษน้อยกว่า (พนัส และคณะ, 2537) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์และการทำงานของ microbial protein ตลอดจนการได้รับโปรตีนของ

สัตว์กระเพาะรวม เนื่องจาก microbial protein จะเคลื่อนสู่กระเพาะจริง (abomasum) และลำไส้เล็ก ผ่านกระบวนการย่อยและดูดซึมของสัตว์ได้เป็นโปรตีนคุณภาพดี มีสมดุลย์ของกรดอะมิโนเหมาะสมกับสัตว์กระเพาะรวม (บุญล้อม, 2546) โคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงที่สุด จึงมีการสังเคราะห์ microbial protein และได้รับโปรตีนจากจุลินทรีย์สูงกว่าสูตรอื่น สอดคล้องกับ เมธา และ ฉลอง (2533) รายงานระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักควรมีค่าระหว่าง 5-22 มก.เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 21 สภาพแวดล้อมในกระเพาะหมักของโคก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารทดลอง 3 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	SEM
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)				
0 ชั่วโมง	7.16	7.10	7.08	0.04
2 ชั่วโมง	6.58	6.80	6.48	0.07
4 ชั่วโมง	6.82	6.90	6.86	0.04
ค่าเฉลี่ย	6.93	6.85	6.81	0.05
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N), มก.เปอร์เซ็นต์				
0 ชั่วโมง	6.05[ก]	4.92[ข]	4.90[ข]	1.79
2 ชั่วโมง	13.21[a]	11.99[b]	12.15[b]	2.14
4 ชั่วโมง	10.66[a]	9.46[b]	9.46[b]	2.30
ค่าเฉลี่ย	9.97[ก]	8.79[ข]	8.90[ข]	1.79

[ก-ข] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

[a-b] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สูตร 1 คือ อาหารข้นซึ่งมีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตร 2 คือ อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังแห้งเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตร 3 คือ อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังหมักเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

3.4 ผลการหมักย่อยของอาหารทดลองที่ใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง ต่อปริมาณกรดไขมันระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมัก

3.4.1 กรดอะซิติก (Acetic acid)

ผลการศึกษาปริมาณกรดอะซิติกของของเหลวจากกระเพาะหมักของโคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ที่เวลา 0 และ 2 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 และ 3 มีระดับกรดอะซิติกที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร คือ 56.31, 58.89 และ 84.43 เปอร์เซ็นต์ และ 59.77, 61.67 และ 86.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สูงกว่ากลุ่มที่ 2 คือ 55.74, 55.37 และ 80.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโคที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 และ 3 มีค่าเฉลี่ย คือ 66.55 และ 69.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สูงกว่ากลุ่มที่ 2 คือ 63.86 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 22

3.4.2 กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid)

ผลการศึกษาปริมาณกรดโพรพิโอนิก ของของเหลวจากกระเพาะหมักของโคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ที่เวลา 2 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 มีระดับกรดโพรพิโอนิกที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร คือ 21.34และ18.45 เปอร์เซ็นต์ 21.41และ18.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ 20.36และ18.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และโคที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 และ 3 มีระดับกรดโพรพิโอนิกที่เวลา 2 ชั่วโมงหลังกินอาหาร คือ 24.36 และ 24.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สูงกว่ากลุ่มที่ 2 คือ 21.73 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโคที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 และ 3 มีค่าเฉลี่ยกรดโพรพิโอนิกคือ 21.21 และ 21.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สูงกว่ากลุ่มที่ 2 คือ 20.69 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ปริมาณไขมันระเหยได้ง่ายภายในกระเพาะหมักก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารทดลอง 3 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง (เปอร์เซ็นต์)

เวลา (ชั่วโมง)	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	SEM
กรดอะซิติก				
0	56.31[ab]	55.74[a]	59.77[b]	178
2	58.89[a]	55.37[b]	61.67[a]	1.61
4	84.43[a]	80.48[b]	86.37[a]	1.97
ค่าเฉลี่ย	66.55[a]	63.86[b]	69.27[a]	1.89
กรดโพรพิโอนิก				
0	21.34	21.41	20.36	0.68
2	24.36[a]	21.73[b]	24.86[a]	0.83
4	18.45	18.93	18.01	0.38
ค่าเฉลี่ย	21.21[a]	20.69[b]	21.08[a]	0.42
กรดบิวทิริก				
0	9.53[a]	7.16[b]	7.15[b]	0.84
2	9.82[a]	7.76[b]	9.11[c]	0.48
4	9.61	9.18	10.61	0.46
ค่าเฉลี่ย	9.65[a]	8.03[b]	8.96[c]	0.38

[a-c] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สูตร 1 คือ อาหารข้นซึ่งมีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตร 2 คือ อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังแห้งเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตร 3 คือ อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังหมักเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

3.4.3 กรดบิวทิริก (Butyric acid)

ผลการศึกษาปริมาณกรดบิวทิริกของของเหลวจากกระเพาะหมักของโคที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ที่เวลา 0 และ 2 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังได้รับอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยโคที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 มีระดับกรดบิวทิริกที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมง คือ 9.53, 9.82 และ 9.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สูงกว่ากลุ่มที่ 2 และ 3 คือ 7.16, 7.76 และ 9.18 เปอร์เซ็นต์ และ 7.15, 9.11 และ 10.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโคที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 9.65 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากลุ่มที่ 2 และ 3 คือ 8.03 และ 8.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 22

กรดไขมันระเหยได้ง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก ผลิตโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนที่ย่อยสลายอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตและถูกดูดซึมที่ผนังกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือด มีความสำคัญอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตของสัตว์กระเพาะรวมโดยใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในร่างกายและแหล่งพลังงานสำหรับเยื่อบุผนังเซลล์ของกระเพาะหมักตลอดจนสร้างสารอื่นในร่างกาย (บุญล้อม, 2527) โคที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 3 กลุ่มมีความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดโพรพิโอนิกใกล้เคียงกับรายงานของ Wannapat *et al.* (2007) ซึ่งทดลองเลี้ยงโคนมด้วยใบมันสำปะหลังแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนการใช้กากถั่วเหลือง คือ 72.17, 9.53 และ 18.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ Mylerez *et al.* (1977) ซึ่งทดลองเลี้ยงโคเนื้อด้วยใบมันสำปะหลังแห้งร่วมกับต้นอ้อยราดยูเรีย คือ 65.5, 14.5 และ 20.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 และ 3 มีปริมาณกรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดโพรพิโอนิกในกระเพาะหมักสูงกว่ากลุ่มที่ 2 เนื่องจากอาหารกลุ่มที่ 1 มีระดับเยื่อใยต่ำกว่า (ตารางที่ 20) และมีแหล่งโปรตีนคือกากถั่วเหลืองซึ่งมีค่าโภชนะย่อยได้สูงกว่าใบมันสำปะหลังแห้ง คือ 82.2 ต่อ 60.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (จีระชัย, 2549) ขณะที่อาหารกลุ่มที่ 3 ซึ่งใช้ใบมันสำปะหลังหมักร่วมกับกากมันสำปะหลังซึ่งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะหมักประกอบกับมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ได้แก่ แบคทีเรียผลิตกรดแลคติกในระดับสูง ช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Fuller, 1989) โคที่กินอาหารทั้งสองกลุ่มจึงมีการหมักย่อยและผลิตกรดไขมันระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมักมากกว่าโคที่ได้รับใบมันสำปะหลังแห้งเป็นแหล่งโปรตีน สอดคล้องกับ Giri *et al* (2005) รายงานค่า pH และค่าโภชนะย่อยได้ในกระเพาะหมักของวัตถุดิบมีผลโดยตรงต่อการสร้างกรดไขมันระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมักของสัตว์กระเพาะรวม นอกจากนี้ในช่วงแรกของการหมักเป็นการหมักย่อยวัตถุดิบที่ย่อยสลายง่าย เช่น แป้งและน้ำตาล ได้ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นกรด

โพรพิโอนิค มีผลให้กรดโพรพิโอนิกเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 2 หลังกินอาหาร และลดต่ำลงในชั่วโมงที่ 4 หลังกินอาหาร เนื่องจากกรดโพรพิโอนิคเป็นแหล่งสำคัญในการสร้างกลูโคสในเลือด 50-60 เปอร์เซ็นต์ (กฤษ, 2547) ส่วนวัตถุดิบที่ย่อยสลายยาก ได้แก่ วัตถุดิบประเภทเยื่อใยจะใช้เวลาหมักย่อยนานกว่าและได้ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก (เมธา, 2529) มีผลให้กรดอะซิติคที่ชั่วโมงที่ 0 มีระดับต่ำสุด เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 2 และเพิ่มสูงสุดในชั่วโมงที่ 4 หลังกินอาหาร

3.5 ผลการหมักย่อยของอาหารทดลองที่ใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง ต่อปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด

ผลการศึกษาปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดของโคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยโคที่กินอาหารกลุ่มที่ 1 ที่เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหารมีระดับยูเรีย-ไนโตรเจน คือ 12.34, 16.14 และ16.42 มก.เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สูงกว่ากลุ่มที่ 2 และ 3 คือ 0.42 และ 9.75 มก.เปอร์เซ็นต์ 13.77 และ 12.27 มก.เปอร์เซ็นต์ และ 13.89 และ 12.67 มก.เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยโคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 14.63 มก.เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากลุ่มที่ 2 และ 3 คือ 12.36 และ 11.23 มก.เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 23 เนื่องจากยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดถูกสังเคราะห์มาจากแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ไม่ถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักนำไปใช้ประโยชน์ (Church, 1979) โดยโคที่กินอาหารกลุ่มที่ 1 ซึ่งใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงสุด (ตารางที่ 21) และยูเรียที่เป็นองค์ประกอบ 1.5 เปอร์เซ็นต์ในอาหารกลุ่มที่ 1 ถูกเอนไซม์ยูรีเอส (urease) ในกากถั่วเหลืองย่อยและสะสมเป็นยูเรียในเลือด (สุกัญญา, 2539) ตลอดจนกากถั่วเหลืองมีโปรตีนไหลผ่านเท่ากับ 30.40 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน (จีระชัย, 2549) น้อยกว่าอาหารกลุ่มที่ 2 และ 3 ที่มีใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งโปรตีนซึ่งมีโปรตีนไหลผ่านเท่ากับ 47.80 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน (Kavana *et al*., 2005) สอดคล้องกับ เมธา และ ฉลอง (2533) รายงาน กากถั่วเหลืองมีโปรตีนไหลผ่านระดับต่ำ (<40 เปอร์เซ็นต์) และใบมันสำปะหลังมีโปรตีนไหลผ่านระดับสูง (>60 เปอร์เซ็นต์) และโปรตีนจากใบพืชเป็นโปรตีนที่ละลายในกระเพาะหมักได้น้อยกว่าโปรตีนจากกากเมล็ดพืชน้ำมัน (Van Soest, 1980) ส่งผลให้อาหารทดลองกลุ่มที่ 1 ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักและเปลี่ยนเป็นยูเรีย-ไนโตรเจนสูงสุด แต่โปรตีนที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจะสูญเสียสมดุลของกรดอะมิโนไปทำให้สัตว์มีการใช้ประโยชน์ได้ลดลง (กฤษ, 2547) ดังนั้นโคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดสูงสุด จึงมีโปรตีนที่สลายตัวในกระเพาะหมัก หรือ rumen-degradable proteins สูงกว่ากลุ่มอื่น ขณะที่โคที่กิน

อาหารทดลองทั้ง 3 กลุ่มมีปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดค่าเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 2 และเพิ่มสูงสุดในชั่วโมงที่ 4 หลังกินอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับชั่วโมงที่ 0 เนื่องจากจุลินทรีย์มีกิจกรรมหมักย่อยและผลิตแอมโมเนียในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้น จึงมีการสะสมเป็นยูเรียในเลือดเพิ่มขึ้น (Church, 1979) สอดคล้องกับ Lewis (1975) รายงาน ปริมาณยูเรียในเลือดของสัตว์กระเพาะรวมมีค่าประมาณ 5 – 25 มก.เปอร์เซนต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ การได้รับโปรตีนและสารประกอบNPN จากอาหาร ตลอดจนการสลายตัวของโปรตีนในร่างกายสัตว์ช่วงที่ได้รับอาหารไม่เพียงพอ โดยปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดสังเคราะห์มาจากแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ซึมผ่านผนังของกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือด เนื่องจากระดับความเข้มข้นแอมโมเนียที่สูงมีความเป็นพิษและเป็นอันตรายต่อเซลล์ ทำให้ค่า pH ของเลือดและน้ำหล่อเลี้ยงเซลล์สูงขึ้น มีผลให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ ร่างกายจึงกำจัดแอมโมเนียส่วนเกินโดยเปลี่ยนให้เป็นยูเรียซึ่งมีความเป็นพิษน้อยกว่าที่ตับ ยูเรียส่วนหนึ่งถูกดูดซึมกลับเข้าสู่กระเพาะหมักโดยตรง บางส่วนถูกส่งไปที่ต่อมน้ำลายและกลับเข้าสู่กระเพาะหมักเมื่อสัตว์มีการเคี้ยวอาหารหรือเคี้ยวเอื้อง เพื่อให้จุลินทรีย์เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียและใช้สังเคราะห์เป็น microbial protein และยูเรียส่วนที่เหลือจะถูกขับออกนอกร่างกายผ่านทางปัสสาวะ การหมุนเวียนของยูเรียเช่นนี้ เรียกว่า วัฏจักรของยูเรีย (urea cycle) (บุญล้อม, 2546) ดังนั้นปริมาณของยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดจึงบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการถูกหมักย่อยของโปรตีนและสารประกอบNPNในอาหาร รวมถึงการสูญเสียโปรตีนจากกระเพาะหมักในรูปของยูเรีย

3.6 ผลการหมักย่อยของอาหารทดลองที่ใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง ต่อปริมาณกลูโคสในเลือด

ผลการศึกษาปริมาณกลูโคสในเลือดของโคที่กินอาหารทดลองกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังได้รับอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ที่เวลา 2 ชั่วโมงหลังกินอาหาร พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโคที่ได้รับอาหารกลุ่มที่ 1 มีปริมาณกลูโคสในเลือด 68.94 มก.เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากลุ่มที่ 2 และ 3 คือ 63.90 และ 63.72 มก.เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 64.54, 62.19 และ 61.70 มก.เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 23 เนื่องจากกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมและอวัยวะต่างๆ ในร่างกายโดยเฉพาะสมองและเม็ดเลือดแดง ร่างกายสัตว์จึงมีกลไกในการควบคุมระดับกลูโคสในเลือดให้เป็นปกติ คือ กระบวนการไกลโคเจเนซิส (glycogenesis) และไกลโคเจเนไลซิส (glycogenelysis) (บุญล้อม, 2546) ขณะที่เวลา 2 ชั่วโมงหลังกินอาหาร โคที่กินอาหารกลุ่มที่ 1 มีปริมาณกลูโคสในเลือดสูงกว่ากลุ่มที่ 2 และ 3 เนื่องจากมีมันสำปะหลังซึ่งเป็นวัตถุดิบที่

ประกอบด้วยแป้งอ่อนและย่อยง่ายในระดับที่สูงกว่า (อุทัย และ สุกัญญา, 2547) ทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมีกิจกรรมหมักย่อยและผลิตกรดไขมันระเหยได้ง่ายโดยเฉพาะกรดโพรพิโอนิกเพื่อนำไปสังเคราะห์กลูโคสได้มากกว่า สอดคล้องกับ เมธา (2529) ซึ่งรายงานระดับกลูโคสในเลือดของสัตว์กระเพาะรวมควรมีค่าเท่ากับ 40-60 มก.เปอร์เซ็นต์ และถ้าระดับต่ำกว่า 30 มก.เปอร์เซ็นต์บ่งบอกถึงการได้รับโภชนะไม่เพียงพอ การหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตทั้งประเภทโครงสร้างและประเภทแป้งโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้เป็นกรดไขมันระเหยได้ง่าย (volatile fatty acids) มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์กลูโคสของสัตว์กระเพาะรวม โดยดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือดและเปลี่ยนเป็นกลูโคสที่ตับ คาร์โบไฮเดรตในร่างกายส่วนใหญ่จึงอยู่ในรูปของกลูโคสในเลือดและสะสมไว้ที่ตับในรูปของไกลโคเจนและเปลี่ยนแปลงโดยตรงตามปริมาณและชนิดของอาหารที่สัตว์กิน (บุญล้อม, 2546) จากการทดลองนี้พบว่าโคที่กินอาหารทดลองทั้ง 3 กลุ่มมีกลูโคสในเลือดอยู่ในระดับปกติ (40-60 มก.เปอร์เซ็นต์) ทุกช่วงเวลา แสดงว่าอาหารทดลองทั้ง 3 กลุ่มมีความสมดุลของพลังงานและมีผลให้โคมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ

ตารางที่ 23 ค่าทางชีววิทยาในเลือดของโคก่อนกินอาหาร (0 ชั่วโมง) และหลังกินอาหารทดลอง 3 สูตร ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	SEM	Pr > F
ยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด (Blood Urea Nitrogen, BUN), มก.%					
0 ชั่วโมง	12.34 ก	10.42 ข	9.75 ข	0.24	0.005
2 ชั่วโมง	16.14 ก	13.77 ข	12.27 ข	0.58	< 0.001
4 ชั่วโมง	16.42 ก	13.89 ข	12.67 ข	0.53	< 0.001
ค่าเฉลี่ย	14.63 ก	12.36 ข	11.23 ค	0.42	0.002
กลูโคสในเลือด (Blood Glucose, BG), มก.%					
0 ชั่วโมง	56.62	56.42	55.54	0.99	0.913
2 ชั่วโมง	68.94 a	63.90 b	63.72 b	0.91	0.012
4 ชั่วโมง	68.06	66.24	65.84	0.55	0.215
ค่าเฉลี่ย	64.54	62.19	61.70	0.61	0.109

SEM คือ Standard error of mean

ก-ค ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

a-b ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สูตร 1 คือ อาหารข้นซึ่งมีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตร 2 คือ อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังแห้งเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตร 3 คือ อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังหมักเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

3.7 ผลการใช้อาหารทดลองที่ใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง ต่อปริมาณการกินได้ของโคเนื้อ

ผลการศึกษาการใช้อาหารทดลองที่มีวัตถุดิบแหล่งโปรตีนแตกต่างกันต่อปริมาณการกินได้ของโคเนื้อ พบว่า โคที่กินอาหารกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ที่ 30, 60 และ 90 วัน มีปริมาณการกินอาหารข้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โคที่ได้รับอาหารกลุ่มที่ 1 และ 3 ที่เวลา

30 และ 60 วัน มีปริมาณการกินอาหารข้นไม่แตกต่างกัน คือ 7.55 และ 7.43 กก./วัน และ 7.62 และ 8.10 กก./วัน ตามลำดับ แต่มากกว่ากลุ่มที่ 2 คือ 5.89 และ 6.06 กก./วัน ตามลำดับ และที่เวลา 90 วัน โคที่ได้รับอาหารกลุ่มที่ 3 มีปริมาณการกินอาหารข้นมากที่สุด คือ 8.57 กก./วัน มากกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 คือ 7.25 และ 6.20 กก./วัน ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยโคที่ได้รับอาหารกลุ่มที่ 1 และ 3 มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน คือ 7.47 และ 8.04 กก./วัน ตามลำดับ แต่มากกว่ากลุ่มที่ 2 คือ 6.05 กก./วัน แสดงว่ากากถั่วเหลืองและใบมันสำปะหลังหมักมีผลให้อาหารอาหารทดลองมีความน่ากินมากกว่าใบมันสำปะหลังแห้ง เนื่องจากกากถั่วเหลืองมีระดับเยื่อใยต่ำกว่าใบมันสำปะหลัง (ตารางที่ 20) และกระบวนการหมักทำให้ใบมันสำปะหลังที่หมักร่วมกับกากมันสำปะหลังมีความน่ากินเพิ่มขึ้น (เมธา และ ฉลอง, 2533) ส่วนปริมาณการกินอาหารหยาบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.14, 1.93 และ 2.08 กก./วัน ตามลำดับ ขณะที่สัดส่วนน้ำหนักแห้งของปริมาณการกินอาหารข้น:อาหารหยาบ คือ 3.49, 3.13 และ 3.87 ตามลำดับ เนื่องจากพืชอาหารสัตว์เขตร้อนส่วนใหญ่มีระดับเยื่อใยสูงแต่มีการย่อยได้และความน่ากินต่ำ (minson, 1980) สอดคล้องกับโคทุกกลุ่มทดลองมีสัดส่วนน้ำหนักแห้งของปริมาณการกินอาหารข้น:อาหารหยาบสูงกว่าที่กำหนด แสดงว่าโคเลือกกินอาหารข้นมากกว่าโดยเฉพาะอาหารทดลองกลุ่มที่ 1 และ 3 ที่มีสัดส่วนสูงกว่ากลุ่มที่ 2 เนื่องจากมีความน่ากินสูงกว่า อย่างไรก็ตามโคต้องได้รับโภชนะจากอาหารหยาบเพื่อให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ (กฤษ, 2547) โคทั้ง 3 กลุ่มมีปริมาณการกินได้ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับปริมาณการกินอาหารข้น คือ โคที่กินอาหารกลุ่มที่ 1 และ 3 ที่เวลา 30 และ 60 วัน มีปริมาณการกินทั้งหมดไม่แตกต่างกัน คือ 9.69 และ 9.43 กก./วัน และ 9.79 และ 10.20 กก./วัน ตามลำดับ มากกว่ากลุ่มที่ 2 คือ 7.67 และ 8.07 กก./วัน ตามลำดับ และที่เวลา 90 วัน โคที่กินอาหารกลุ่มที่ 3 มีปริมาณการกินได้ทั้งหมดสูงสุด คือ 10.72 กก./วัน มากกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 คือ 9.37 และ 8.18 กก./วัน ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยโคที่กินอาหารกลุ่มที่ 1 และ 3 มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน คือ 9.62 และ 10.11 กก./วัน ตามลำดับ มากกว่ากลุ่มที่ 2 คือ 7.97 กก./วัน ดังแสดงในตารางที่ 24 จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าใบมันสำปะหลังหมักเป็นวัตถุดิบที่มีความน่ากินใกล้เคียงกันกับกากถั่วเหลืองและมากกว่าใบมันสำปะหลังแห้ง

ตารางที่ 24 ผลการเลี้ยงโคขุนด้วยอาหารทดลอง 3 สูตรเป็นระยะเวลา 3 เดือนต่อปริมาณการกินอาหารข้น ปริมาณการกินอาหารหยาบ และปริมาณการกินได้ทั้งหมดในรูปวัตถุแห้ง

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	SEM
ปริมาณการกินอาหารข้น (กก./วัน)				
30 วัน	7.55[ก]	5.89[ข]	7.43[ก]	0.27
60 วัน	7.62[ก]	6.06[ข]	8.10[ก]	0.32
90 วัน	7.25[ก]	6.20[ข]	8.57[ก]	0.32
ค่าเฉลี่ย	7.47[ก]	6.05[ข]	8.04[ก]	0.28
ปริมาณการกินอาหารหยาบ (กก./วัน)				
30 วัน	2.14	1.79	2.00	0.06
60 วัน	2.16	2.01	2.09	0.06
90 วัน	2.14	1.99	2.13	0.05
ค่าเฉลี่ย	2.14	1.93	2.08	0.05
ปริมาณการกินได้ทั้งหมด (กก./วัน)				
30 วัน	9.69[ก]	7.67[ข]	9.43[ก]	0.30
60 วัน	9.79[ก]	8.07[ข]	10.20[ก]	0.36
90 วัน	9.37[ก]	8.18[ข]	10.72[ก]	0.34
ค่าเฉลี่ย	9.62[ก]	7.97[ข]	10.11[ก]	0.31

[ก-ค] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

สูตร 1 คือ อาหารข้นซึ่งมีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตร 2 คือ อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังแห้งเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตร 3 คือ อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังหมักเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

3.8 ผลการใช้อาหารทดลองที่ใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง ต่อการเจริญเติบโตของโคเนื้อ

ผลการศึกษาการใช้อาหารทดลองที่มีวัตถุดิบแหล่งโปรตีนแตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของโคที่กินอาหารกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 พบว่า น้ำหนักตัวเริ่มต้นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย คือ 333.40, 298.20 และ 312.60 กก. ตามลำดับ และน้ำหนักตัวสิ้นสุดจากการเลี้ยงเป็นเวลา 30 และ 90 วันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ที่ 60 วัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโคที่กินอาหารกลุ่มที่ 1 และ 3 และกลุ่มที่ 2 และ 3 มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่โคที่กินอาหารกลุ่มที่ 1 มีน้ำหนักตัวสิ้นสุด คือ 419.00 กก. สูงกว่ากลุ่มที่ 2 คือ 359.60 กก. และกลุ่มที่ 3 คือ 382.00 กก. เนื่องจากการเลี้ยงโคในระยะปรับอาหารและเตรียมการทดลองมีผลให้น้ำหนักเริ่มต้นของโคทั้ง 3 กลุ่มไม่เท่ากัน โดยโคทดลองกลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนต้องอาศัยระยะเวลาในการปรับตัวให้เข้ากับอาหารนานกว่ากลุ่มที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทำให้เกิดความแปรปรวนของน้ำหนัก การเปรียบเทียบน้ำหนักที่เพิ่มและอัตราการเจริญเติบโตต่อวันจึงถูกใช้เป็นเกณฑ์วัดการเจริญเติบโตของโค โดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังเสร็จสิ้นการทดลองรวมทั้งค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตต่อวันและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 32.15, 28.17 และ 32.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ 1.19, 0.93 และ 1.08 กก./วัน ตามลำดับ และ 8.13, 8.55 และ 9.59 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 25 เนื่องจากอาหารทดลองมีระดับโปรตีนใกล้เคียงกัน คือ 16.69, 16.31 และ 16.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตลอดจนในกระเพาะหมักของสัตว์กระเพาะรวมมีจุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) จากกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non essential amino acid) ได้บางส่วน (sparing effect) (บุญล้อม, 2546) ทำให้โคที่กินอาหารสูตรที่ใช้ใบมันสำปะหลังซึ่งขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นบางตัวมีน้ำหนักตัวใกล้เคียงกับสูตรที่ใช้กากถั่วเหลือง นอกจากนี้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองมีการสลายตัวในกระเพาะหมักในรูปของยูเรีย-ไนโตรเจนสูง (ตารางที่ 23) มีผลให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนลดลง อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของโคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลี้ยงเป็นระยะเวลานานขึ้น เนื่องจากโคมีความคุ้นเคยกับอาหารเพิ่มขึ้นจึงมีปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้น ทำให้มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยโคที่กินอาหารกลุ่มที่ 2 และ 3 มีปริมาณการกินได้และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันสูงสุดที่การเลี้ยง 90 วัน (ตารางที่ 24 และ 25) ขณะที่กลุ่มที่ 1 มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดที่ 60 วันและลดลงที่ 90 วัน เนื่องจากโคเจริญเติบโตได้ตามขีดความสามารถทางพันธุกรรมโดยมีปริมาณการกินได้ไม่แตกต่างจากเดิมแต่มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง ส่วนประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่แตกต่างกันในทุกช่วงเวลาแม้ว่าโคที่กินอาหารกลุ่มที่ 1 และ 3 มีปริมาณการกินได้มากกว่ากลุ่มที่ 2 ($p<0.01$)

เนื่องจากกากถั่วเหลืองมีการสลายตัวในกระเพาะหมักสูงทำให้การใช้ประโยชน์ของโปรตีนลดง นอกจากนี้ระดับโปรตีนไหลผ่านที่สูงและคุณสมบัติ sparing effect ของจุลินทรีย์ช่วยชดเชยข้อด้อย ด้านคุณภาพโปรตีนของใบมันสำปะหลัง และระดับไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังหมักซึ่งสูงกว่าใบ มันสำปะหลังแห้ง คือ 229.78 ต่อ 61.25 (ตารางที่ 7 และ 18) มีผลให้โคทั้งสองกลุ่มมีอัตราการ เจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ดังนั้นประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของอาหารทดลองทั้ง 3 กลุ่มจึงไม่ แตกต่างกัน

4. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเมื่อใช้ใบมันสำปะหลังในรูปหมักและตากแห้งเป็นแหล่งทดแทนกาก ถั่วเหลืองในสูตรอาหารโคเนื้อ

ผลการศึกษาค่าตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการเลี้ยงโคด้วยอาหารทดลองที่มีวัตถุดิบแหล่ง โปรตีนแตกต่างกัน พบว่า อาหารทดลองกลุ่มที่ 2 และ 3 มีราคาต้นทุนใกล้เคียงกัน คือ 6.43 และ 6.00 บาท/กก. ตามลำดับ แต่ถูกกว่ากลุ่มที่ 1 คือ 9.35 บาท/กก. เนื่องจากราคาต่อหน่วยน้ำหนักสด ของกากถั่วเหลือง คือ 19.40 บาท/กก. สูงกว่าใบมันสำปะหลังแห้งและใบมันสำปะหลังหมัก คือ 5.00 และ 1.50 บาท/กก. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 26 ต้นทุนการผลิตจากการเลี้ยงของโคด้วย อาหารกลุ่มที่ 1 คือ 21,628.12 บาท/ตัว สูงกว่ากลุ่มที่ 2 และ 3 คือ 16171.38 และ 19549.38 บาท/ตัว ตามลำดับ เนื่องจากมีราคาต้นทุนอาหารและปริมาณการกินได้สูงสุด ขณะที่อาหารกลุ่มที่ 3 ซึ่งมี ราคาต้นทุนอาหารน้อยที่สุดแต่มีปริมาณการกินได้สูงสุด ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ส่วนอาหาร ทดลองกลุ่มที่ 2 มีราคาต้นทุนอาหารและปริมาณการกินได้ต่ำสุด มีผลให้ต้นทุนการผลิตต่ำสุด ราคาขายโคมีชีวิตของทั้ง 3 กลุ่ม คือ 22,665.83, 19,661.55 และ 21,091.68บาท/ตัว ตามลำดับ โดย โคที่กินอาหารกลุ่มที่ 2 มีผลกำไรจากการเลี้ยงสูงสุด คือ 21.58 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีต้นทุนการ ผลิตต่ำสุดแต่มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารและการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากกลุ่มอื่น (ตารางที่ 25) ทำให้มีราคาขายโคมีชีวิตใกล้เคียงกันและมีผลกำไรจากการเลี้ยงสูงสุด ส่วนโคที่กินอาหาร ทดลองกลุ่มที่ 1 มีราคาขายโคมีชีวิตสูงสุดแต่มีต้นทุนการผลิตสูง เช่นเดียวกับโคที่กินอาหาร ทดลองกลุ่มที่ 3 ซึ่งมีราคาขายโคมีชีวิตสูงกว่ากลุ่มที่ 2 และมีราคาต้นทุนอาหารต่ำสุด แต่มีปริมาณ การกินได้สูงและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่แตกต่างจากกลุ่มอื่น มีผลให้ผลตอบแทนทาง เศรษฐกิจมีผลกำไรเพียง 4.50 และ7.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 26 และ 27

ตารางที่ 25 ผลการเลี้ยงโคขุนด้วยอาหารทดลอง 3 สูตรเป็นระยะเวลา 3 เดือนต่อน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลอง อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	SEM	Pr > F
น้ำหนักเริ่มต้น (กก.)	333.40	298.20	312.60	8.56	0.153
น้ำหนักสิ้นสุด (กก.)					
30 วัน	383.60	335.80	355.20	9.38	0.068
60 วัน	419.00[a]	359.60[b]	382.00[ab]	10.18	0.025
90 วัน	440.60	382.20	410.00	10.53	0.064
น้ำหนักที่เพิ่ม (เปอร์เซ็นต์.)	32.15	28.17	31.16	4.14	0.056
อัตราการเจริญเติบโต (กก./วัน)					
30 วัน	1.67	1.25	1.42	0.08	0.060
60 วัน	1.18	0.79	0.89	0.08	0.113
90 วัน	0.79	0.82	0.93	0.09	0.751
ค่าเฉลี่ย	1.19	0.93	1.08	0.05	0.074
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร					
30 วัน	5.96	6.21	6.66	0.22	0.473
60 วัน	8.60	12.31	12.14	1.26	0.409
90 วัน	12.87	12.50	12.69	1.23	0.994
ค่าเฉลี่ย	8.13	8.55	9.59	0.33	0.099

SEM คือ Standard error of mean

[a-b] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สูตร 1 คือ อาหารข้นซึ่งมีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตร 2 คือ อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังแห้งเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

สูตร 3 คือ อาหารข้นซึ่งมีใบมันสำปะหลังหมักเป็นแหล่งโปรตีน และหญ้าขนในสัดส่วนน้ำหนักแห้งของอาหารข้น : อาหารหยาบ เท่ากับ 3 : 1

ตารางที่ 26 ราคาต้นทุนของอาหารทดลอง 3 สูตร (บาท/กก.น้ำหนักสด)

วัตถุดิบ	ราคาต่อหน่วย[1]	ราคาอาหารทดลอง		
		สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
มันสำปะหลัง	6.00	4.20	3.30	3.30
กากถั่วเหลือง	19.40	3.88	-	-
ใบมันสำปะหลังแห้ง	5.00	-	1.75	-
ใบมันสำปะหลังหมัก	1.50	-	-	1.32
กากน้ำตาล	3.50	0.21	0.18	0.18
ไดแคลเซียมฟอสเฟต-18P	10.00	0.15	0.15	0.15
ยูเรีย	26.00	0.39	0.52	0.52
เกลือ	3.00	0.02	0.03	0.03
พรีมิกซ์	34.00	0.17	0.17	0.17
หญ้าขน	1.00	0.33	0.33	0.33
รวม		9.35	6.43	6.00

[1] ราคาวัตถุดิบทั้งหมดเป็นราคาขายส่งหน้าโรงงานอาหารสัตว์ และราคาหญ้าขนจากแปลงหญ้า ณ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ณ วันที่ 21 ก.ค. 51

ตารางที่ 27 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการเลี้ยงโคเป็นเวลา 120 วันด้วยอาหารทดลอง 3 สูตร (บาท/ตัว)

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
ราคาซื้อโคแรกเข้า[1]	11,669	10,437	10,941
ราคาอาหารข้น	9,002.00	4,869.92	7,678.71
ราคาอาหารหยาบ	914.62	821.96	887.17
ราคาเวชภัณฑ์	42.50	42.50	42.50
ต้นทุนการผลิต	21,628.12	16,171.38	19,549.38
ราคาขายโคมีชีวิต[2]	22,665.83	19,661.55	21,091.68
ผลกำไรจากการเลี้ยง	1,037.71	3,490.17	1,542.30
ผลกำไรคิดเป็นเปอร์เซ็นต์	4.50	21.58	7.89

[1] ราคาขายโคขุน ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตกระบือและโค มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม (35 บาท/กก.)

[2] กรมปศุสัตว์ (2552 ข) (51.42 บาท/กก.)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ใบมันสำปะหลังที่หมักเป็นระยะเวลา 60 วัน มีคุณภาพอาหารหมักดีที่สุด โดยมีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและกรดบิวทิริกในระดับต่ำ ระดับไซยาไนด์และค่า pH ต่ำสุด และมีระดับกรดอะซิติก และกรดโพรพิโอนิกสูงสุด ส่วนการหมักที่ระยะเวลา 14 วัน มีระดับกรดแลคติกและแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกสูงสุด ขณะที่ใบมันสำปะหลังที่หมักร่วมกับกากมันสำปะหลังมีคุณภาพอาหารหมักดีกว่าการหมักด้วยใบมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว โดยมีระดับไซยาไนด์ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และค่า pH ต่ำกว่า และมีแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก กรดแลคติก กรดไขมันระเหยได้ง่าย คาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ และวัตถุแห้ง โดยการหมักด้วยวิธีการและระยะเวลาต่างกันไม่มีผลกระทบต่อระดับแทนนิน โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ และเยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลส

2. การตากแห้งและเก็บรักษาใบมันสำปะหลังที่อุณหภูมิห้องมีผลให้ค่าวัตถุแห้งและไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังลดลง โดยเฉพาะระยะเวลาการเก็บที่ 9 วันมีระดับไซยาไนด์ต่ำสุดและต่ำกว่าใบมันสำปะหลังหมักในการทดลองที่ 1 แต่ไม่มีผลต่อปริมาณแทนนินและองค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลัง

3. โคที่กินอาหารกลุ่มที่ใช้กากถั่วเหลืองมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักและยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลังแห้งและใบมันสำปะหลังหมัก และโคที่กินอาหารกลุ่มที่ใช้กากถั่วเหลืองและใบมันสำปะหลังหมักมีปริณการกินได้วัตถุแห้งและปริมาณไขมันระเหยได้ง่ายไม่แตกต่างกันและสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลังแห้ง ขณะที่อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร ค่า pH ในกระเพาะหมัก และระดับกลูโคสในเลือดไม่แตกต่างกันทั้งสามกลุ่ม โดยกลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลังแห้งให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงที่สุด จึงสรุปได้ว่าโคที่กินอาหารกลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลังแห้งและใบมันสำปะหลังหมักมีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างจากสูตรที่ใช้กากถั่วเหลือง และให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจดีกว่าโดยเฉพาะกลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลังแห้งซึ่งให้ผลกำไรสูงที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองนี้แสดงว่าใบมันสำปะหลังแห้งมีประสิทธิภาพทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารสัตว์กระเพาะรวม และให้ผลกำไรจากการเลี้ยงสูงสุดแต่มีความน่ากินต่ำ ขณะที่ใบมันสำปะหลังหมักมีความน่ากินสูงไม่ด้อยไปกว่ากากถั่วเหลือง แต่มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่ดีนักและให้ผลกำไรจากการเลี้ยงต่ำกว่า ดังนั้นควรใช้ใบมันสำปะหลังแห้งร่วมกับใบมันสำปะหลังหมักหรือกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร หรือ ใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารอัดเม็ด เพื่อเพิ่มปริมาณการกินได้และสมดุลย์กรดอะมิโนของใบมันสำปะหลังแห้งให้ดียิ่งขึ้น เพื่อส่งเสริมการใช้ใบมันสำปะหลังทดแทนการใช้กากถั่วเหลืองในเชิงพาณิชย์

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ในการใช้ใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารในสัตว์กระเพาะรวมให้มีประสิทธิภาพสูงสุดควรศึกษาค่าการย่อยได้และค่าการสลายตัวในกระเพาะหมักของอาหาร รวมถึงค่าการย่อยได้ของโปรตีนไหลผ่านที่ลำไส้เล็ก เพื่อให้ได้ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่แท้จริง

นอกจากนี้ยังควรทำการศึกษาต่อยอดในโคที่ให้ผลผลิตสูง และในสัตว์กระเพาะรวมชนิดอื่นทั้ง โคนม กระบือ แพะ หรือ แกะ เป็นต้น เพื่อศึกษาขีดจำกัดการใช้ใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนหรือใช้ร่วมกันกับกากถั่วเหลือง ตลอดจนศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพใบมันสำปะหลังหมักให้ดียิ่งขึ้น เช่น การใช้ระยะเวลาหมักที่นานขึ้น การใช้สารเติมแต่งการหมักในชนิดและปริมาณที่เหมาะสม ตลอดจนการเติมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในอาหารหมัก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2552 ก. **กากถั่วเหลือง**. ความรู้ด้านอาหารสัตว์ กองอาหารสัตว์. แหล่งที่มา: http:// www.dld.go.th/inform/ksoy.html, 13 พฤษภาคม 2552.

_____. 2552 ข. **สรุปราคาสินค้าหน้าฟาร์ม.** สำนักพัฒนาการปศุสัตว์และถ่ายทอดเทคโนโลยี. http://www.dld.go.th/transfer/th, 13 พฤษภาคม 2552.

กฤษ อังคณาพร. 2547. **สรีรวิทยาของกระเพาะอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง.** ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 128น.

จุฑาลักษณ์ วงค์ชัยชนะ. 2549. การศึกษาปริมาณแทนนินในใบมันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพแปลง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, จงรักษ์ แก้วประสิทธ์, พัฒนา อนุรักษ์พงศธร และ สมยศ พุทธเจริญ. 2531. ปริมาณโปรตีนในใบมันสำปะหลัง 13 พันธุ์. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 21 (3): 176-181.

จิรพรรณ นพวงศ์ ณ อยุธยา. 2518. **การใช้ใบมันสำปะหลังหมักเป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับเลี้ยงสุกรรุ่น.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จีระชัย กาญจนพฤติพงศ์. 2543. **การประยุกต์ใช้ใบมันสำปะหลังเป็นอาหารโค.** ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตนม มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 25น.

_____. 2549. **การจัดการฝูงโคนม.** ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม. 230 น.

ชาญวิทย์ แก้วตาปี. 2548. **การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดนัย ศุภาหาร. 2537. พฤกษศาสตร์และพันธุศาสตร์ของมันสำปะหลัง, น. 14-30. *ใน* **เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง.** ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2551. แหล่งที่มา: http://www.rlc.dcccd.edu/mathSci/reynolds/MICRO/lab_manual/dilution2. jpg2, 10 พฤษภาคม 2551.

นิลุบล ทวีกุล, เพียงเพ็ญ ศรวัต, แฉล้ม มาศวรรณา และ สุพัตรา ดลโสภณ. 2550. การศึกษาวิธีทำใบมันสำปะหลังหมักเพื่อเป็นอาหารสัตว์. **ว. วิทย. กษ.** 38 : 5 (พิเศษ): 333-336.

นรินทร์ ทองวิทยา. 2520. **ผลของการใช้อาหารหมักมูลไก่ หัวและใบมันสำปะหลังในไก่กระทงและไก่ไข่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นวลจันทร์ พารักษา และ สินชัย พารักษา. 2544. **อาหารสัตว์**. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

นภา โล่ห์ทอง. 2528. **ปฏิบัติการทางจุลชีววิทยาทางอาหาร.** ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2527. **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 294น.

_____, บุญเสริม ชีวะอิสระกุล และ สมคิด พรหมมา. 2543. การปรับปรุงคุณภาพและการเก็บถนอมอาหารหยาบ. *ใน* **เอกสารการสอนชุดวิชา หลักโภชนะศาสตร์ และอาหารสัตว์**. สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

_____. 2546. **ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 194น.

บุญฤา วิไลพล. 2528. **พืชอาหารสัตว์เขตร้อนและการจัดการ.** มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 371น.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2539. **การผลิตอาหารสัตว์**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. **หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 2: หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

พนัส ธรรมกีรติวงศ์. 2537. **การใช้ประโยชน์ของอาหารผสมเสร็จอัดแท่งในโค**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เมธา วรรณพัฒน์. 2529. **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง**. สำนักพิมพ์ฟันนี่พลับบลิชชิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ.

_____. 2545. แนวทางการผลิตและศักยภาพการใช้ประโยชน์ของใบมันสำปะหลัง/มันเฮย์เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์, น.69-81. *ใน* **เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการวิจัยและพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มศักยภาพการแปรรูปอาหารสัตว์และเอทานอล.** ศูนย์วิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

_____ และ ฉลอง วชิราภากร. 2533. **เทคนิคการให้อาหารโคเนื้อและโคนม**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

เยาวมาลย์ ค้าเจริญ. 2523. **คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น

วงศ์อนันต์ ณรงค์วาณิชการ. 2550. ไซยาไนด์และไธโอไซยาเนต. **จดหมายข่าว สถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติ** 6 (3): 1-2.

วิจารณ์ วิชชุกิจ. 2527. มันสำปะหลัง, น.94-99**.** *ใน* **วัชรินทร์ บุญวัฒน์, บรรณาธิการ. พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ.** ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2544. **PROSEA: ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 3 พืชที่ให้สีย้อมและแทนนิน.** โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สมจิตร ถนอมวงศ์วัฒนะ, อังคณา หาญบรรจง, เพ็ญแข วันไชยธนวงศ์ และ สุนีย์ นิธิสินประเสริฐ. 2550. การสลายได้ของวัตถุแห้งในหญ้าสดและไซเลจชนิดต่างๆ ในกระเพาะหมักของโคนม. **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 45 เล่มที่ 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพ. 227-234 น.

สายัณห์ ทัดศรี. 2520. **หลักการทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาโรช ค้าเจริญ และ เยาวมาลย์ ค้าเจริญ. 2540. **การใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์ สุกร เป็ด และไก่.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สิทธิศักดิ์ คำผา และ เมธา วรรณพัฒน์. 2549. ผลของอาหารก้อนคุณภาพสูงที่มันเฮย์เป็นองค์ประกอบเป็นยาถ่ายพยาธิในโคนมเพศผู้ที่ปล่อยเลี้ยงแทะเล็มหญ้ารูซี่. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น** ฉบับบัณฑิตศึกษา 6 (1): 1-9.

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ , 2539. **การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์**. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม.

สุรีรัตน์ เงินดวง. 2545. **การศึกษากรดแลคติกที่ผลิตแบคเทอริโอซินจากอาหารหมัก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. **สถิติการเกษตร: มันสำปะหลัง**. แหล่งที่มา: http://www.dld.go.th, 10 สิงหาคม 2552.

ศิวพร วรอนุ, เมธา วรรณพัฒน์, สิทธิศักดิ์ คำผา และ ฉลอง วชิราภากร. 2546. ผลของระดับมันเฮย์และมันเส้นในสูตรอาหารข้นต่อนิเวศวิทยาหมัก และปริมารการกินได้ของฟางหมักยูเรียในโคเนื้อ. **การสัมมนาวิชาการเกษตร ประจำปี 2546** วันที่ 27-28 มกราคม 2546 คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 191-200 น.

ศิริรัตน์ บัวผัน. 2546. **ผลของการเพิ่มระดับมันเส้นในอาหารผสมเสร็จ ต่อปริมาณโซมาติกเซลล์ จุลินทรีย์อะฟลาท็อกซิน และเปอร์ออกซิเดสในน้ำนมโค.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. 2537. **มันสำปะหลัง**. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. โรงพิมพ์คุรุสภา, กรุงเทพฯ.

อาภัสสรา ชมิดท์. **ชีวเคมี**. 2537. ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

อุทัย คันโธ. 2529. **อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกร และสัตว์ปีก.** ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

_____ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2545. **การส่งเสริมพัฒนาการผลิตและการตลาดมันเส้นสะอาด**. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์และภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. จัดพิมพ์โดย กรมการค้าต่างประเทศ, กรุงเทพ.

_____ และ _____. 2547. **การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์: ผลการใช้และข้อมูลการวิจัยในประเทศไทย.** ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, นครปฐม.

อำนาจ เจรีรัตน์. 2540. การแยกแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักไซเลจ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. **15th ed, Association of Official Analytical Chemists**, Washington, D.C.

Barns, R. E. 1971. Method for estimation of tannin in grain sorghum. **Agronomy Journal** 63: 511-512.

Bolhuis, G.G. 1954. The toxicity of cassava root. **J. Agric. Sci**. 2: 176-185

Borin, K., J. E. Lindberg and R. B. Ogle. 2005. Effect of variety and preservation method of cassava leaves on diet digestibility by indigenous and improved pigs. **Animal Scicnce** 80: 319-324.

Brookes, R.M. and A. E. Buckle. 1992. Lactic acid bacteria in plant silages, pp. 336-338. *In* P. W. Tilden and M. J. Cecava (eds.). Beef Cattle Feeding and Nutrition. Acedemic Press, Inc., London.

Bunyeth, H. and T.R. Preston. 2006. Growth performance and parasite infestion of goats given cassava leaf silage or sun-dried cassava leaf as supplement to grazing in lowland and upland regions of Cambodia. **Livestock Research for Rural Development** 18(2): 116-123

Chanjula, P., M. Wanapat, C. Wachirapakorn, S. Uriyapongson and P. Rowlinson. 2003. Effects of various levels of cassava hay on rumen ecology and digestibility in swamp buffaloes. **Annual Agricultural Seminar for Year 2003**, 27-28 January, Khon Kaen University. Khon Kaen, Thailand. 149-165.

Chung, J. and J. L. Wood. 1971. Oxidation of Thiocyanate to cyanide catalized by hemoglobin. **The Journal of Biological Chemistry**. 246: 555-560.

Church, D.C. 1979. **Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants.** Vol. II O&B Book, Inc., Corvallis, Oregon, U.S.A.

Coursey, D. G. 1973. Cassava toxicity and proceeding, p. 27-36. *In* **Chronic Cassava Toxicity: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop**, London, England, 29-30 January 1973.

Dehority, B.A. 2003. Rumen microbiology**. Nottingham University Press**. Thrumpton, Nottingham.

Deman, J. D., M. Rogosa and M. E. Sharpe. 1960. A medium for the cultivation of lactobacillus. **J. Appl. Bact**. 23:130.

Dung, N. T, N.T. Mui and I. Ledin. 2005. Effect of replacing a commercial concentrate with cassava hay on the performance of growing goats. **Animal Feed Science and Technology** 119: 271-281.

Erwin, E. S., G.J. Marco and E.M. Emery. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. **J. Dairy Sci**. 44 : 1768-1771.

Fasuyi, A.O. 2005. Nurient composition and processing effects on cassava leaf antinutrition. **Pakistan Journal of Nutrition** 4 (1): 37-42.

Fuller, R. 1989. Probiotics in man and animals. **J. App. Bacteriol**. 66:365-378.

Giri, S. S., S. Jaggi and N.N. Pathak. 2005. Feeding of grainless diets containing different nitrogen souces to crossbred growing bulls: effect on rumen fermentation pattern, microbial enzyme activity and ciliate protozoa population. Animal Feed Science and Technology. 118:187-200.

Georing, H. K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis. USDA, Agricultural Research Sevice. **Agricultural Handbook No.379.** Washington, DC.

Giraffa, G. 2004. Studying the dynamics of microbial populations during food fermentation. **FEMS Microbiology Reviews** 28: 251-260.

Hodge, S. E. and B. T. Hofreiter. 1962. Determination of reduced sugar and Carbohydrate, p. 380-394, *In* R. L. Whistler and M. L. Wotform (eds). **Method in Carbohydrate Chemistry**. Academic Press, New York.

Hughes, M. A., J. Hughes, S. Liddle and Z. Kereztessy. 1994. Biochemistry and molecular biology of cyanogenesis. pp. 385-395. *In* CIAT**.** The Cassava Biotechnology Network. Vol. 2. **Proceeding of the Second International Scientific Meeting**, Bogor, Indonesia.

Hutagulung, R.I. 1972. Nutritive value of tapioca leaf meal, tapioca root meal, normal maize, opaque-2 maize and pineapple bran for pigs and poultry. **17th Conference and Annual General Meeting of the Malaysian Veterinary Association**. Faculty of Agriculture, University of Malaya, 10th - 12th December 1972.

Jones W.T. and J. L. Mangan. 1977. Complex of the condensed tannin of sanfoin with fraction leaf protein and with submaxillary mucoprotein and their reversal by polyethelene glycol and pH. **J.Sci. Food Agric**. 28: 126-132

Kavana, P.Y., K. Mtunda, A. Abass and V. Rweyendera. 2005. Promotion of cassava leaves silage utilization for smallholder dairy production in Eastern coast of Tanzania. **Livestock Research for Rural Development** 17 (4): 40-48.

Kahn L.P. and A. Diaz-Hernandez. 2000. Tannins with anthelmintic properties, *In* **Proc. International Workshop on Tannins in Livestock and Human Nutrition,** ACIAR Proceedings No. 92.

Khang, D.N. 2004. **Cassava foliage as a protein source for cattle in Vietnam**. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Science.

Khang, D.N. and H. Wiktorsson. 2006. Performance of growing heifers fed urea treated fresh rice straw supplemented with fresh, ensiled or pelleted cassava foliage. **Livestock Science** 102: 130-139.

Khajarern, J., S. Khajarern, A. Sivapraphagon and L. Nandhapipat. 1982. A survey on the changes in chemical composition of cassava root products in Khon Kaen region in 1980. pp. 22-29. *In* **KKU – IDRC Cassava/Nutrition project 1976 Annual Report**. Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

Lewis, D. 1975. Blood urea concentration in relation to protein utilization in the ruminant. **J. Agri. Sci.** (camb). 48: 438-446.

McAllister, T. A., R. Feniuk, Z. Mir, L. B. Selinger and K. J. Cheng. 1998. Inoculants for cassava leaves silage: Effects on aerobic stability, digestibility and the growth performance of feedlot steers. **Livestock Porduction Science** 53: 171-181

McDonald, P., Henderson, A. R. and Heron, S. J. E. 1995. **The Biochemistry of Silage**, 2nd ed. Chalcombe Publications, Kent. 266p.

Meyreles,L. N. A. MacLeod and T. R. Preston. 1977. Cassava Forage As a Protein Source in Sugar Cane Diers for Cattle: Effect on Rumen Fermentation of Different Levels of Casssva Forage and Urea. **Trop Anim Prod**. 1977 2:3

Minson, D. J. 1980. Nutritional differences between tropical and temperate pasture. *In*: Grazing Animals**. Elsevier Sci**. Pub., Amsterdam.

Netpana N, M. Wannapat , O. Poungchoumpu and W. Toburan. 2001. Effect of condensed tannins in cassava hay on fecal parasitic egg count in swamp buffaloes and cattle. *In***: Proceeding International Workshop on Current Research and Development on Use of Cassava as Animal Feed**. Khon Kaen University, Thailand. July 23-24, 2001.

NRC. 2002. **Nutrient Requirements of Beef Cattle.** 6th Edition. Nutritional Research Council, Washington D.C.

Preston, T. R. and R. A. Leng. 1987. **Matching ruminant production system with available resources in the tropics and sub-tropics.** Penumbul Books, Armidale.

Ravindran V. 1991. Preparation of cassava leaf products and their use as animal feed. pp. 111-122. *In*: **Roots, Tubers, Plantains and Bananas in Animal Feeding**. FAO Animal Production and Health Paper No. 95.

Reed, J.D. 1995. Nutritional toxicology of tanin and related polyphenols in forage legumes. **J. Anim. Sci**. 73: 151-156.

Reiter, B. and G. Harnolv. 1984. Lactoperoxidase antibacterial system: Natural occurance, biological functions and practical application. **J. Food Prot**. 47: 724-732.

Roger, D. J. and M. Milner. 1963. Amino acid profile of monioc leaf protein in relation to nutritive value. **Economic Botany** 17(3): 211-216.

Ross, O. and F. Q. Enriquez. 1969. The nutritive value of cassava leaf meal. **Poultry Science** 48: 846-853.

SAS. 2002. **SAS/STAT User' Guide**. SAS Instiute Inc., North Carolina, USA.

Sylvester, D.M., W.L. Hayton, R.L. Morgan and J.L. Way. 1983. Effects of thiosulfate on cyanide pharmacokinetics in dogs. **Toxicol Appl Pharmacol** 69: 265.

Toledo, F. F. DE. 1969. Use of cassava leaves and branches in nutrition. **Solo.** 61 (1): 65-69.

Van Soest, P. J. 1982. Nuritional Ecology of the Ruminant. O & B Books, Corvallis, Oregon, U.S.A.

Wannapat. M., C. Promkot and S. Khampa. 2007. Supplementation of Cassava Hay as a Protein Replacement for Soybean meal in Concentrate Supplement for Dairy Cows. **Pakistan Journal of Nutririon**. 6(1): 68-71.

Wannapat. M., A. Petlum and O. Pimpa. 2000. Supplement of cassava hay to replace concentration use in lactation Holstein Fresian crossbreed. **J. Anim. Sci.** 13: 600-604.

Wikipedia. 2008. Rhodanase. **The free encyclopedia**. Available Source: http://en.wikipedia. org/ wiki/ Rhodanase, March 13, 2008.

Woolford, M. K. and G. Pahlow. 1998. The silage fermentation, pp. 75-102. In B. J. B. Wood (ed.). 2nd ed., **Microbiology of Fermented Foods**. T. J. International Ltd., Padstow Comwall, UK.

Zahiroddini, H., J. Baah, W.Absalom and T. A. McAllister. 2004. Effect of an inoculant and hydrolytic enzymes on fermentation and nutritive value of whole crop barley silage. **Animal Feed Science abd Technology** 117: 317-330.

ภาคผนวก

วิธีวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ด้วยวิธี Colorimetric Method (เยาวมาลย์, 2523)

1.1 การเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์

เตรียมสารละลาย Alkaline picrate โดยละลาย Na_2Co_3 จำนวน 25 ก. และ picric acid จำนวน 5 ก. ในน้ำ 1 ลิตร

เตรียม 3 N HCl โดยการเตรียม conc. HCl ปริมาณ 129.45 มม. แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 มม.

เตรียม Alkaline picrate filter paper ในแต่ละวันที่ต้องการใช้โดยตัดกระดาษกรองเบอร์ 1 ให้ได้ขนาด 10 x 2 ซม. จุ่มด้วยสารละลาย Alkaline picrate แล้วผึ่งให้แห้ง นำกระดาษดังกล่าว 3 แผ่นผูกติดกับจุกยางที่ใช้ปิดฟลาสก์ขนาด 250 มล.

1.2 วิธีการทำกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานKCN (KCN standard solution) สำหรับทำกราฟมาตรฐาน โดยอบ KCN ที่อุณหภูมิ 100ºC เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วชั่งมา 0.255 ก. ละลายในน้ำ 1 ลิตร สารละลายที่ได้จะมีกรดไฮโดรไซยานิค (HCN) 0.1 มก./มล. จากนั้นเจือจาง KCN standard solution ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 นำสารละลายที่เจือจางแล้วใส่ในฟลาสก์ที่มีจุกยางผูกติดกับกระดาษ Alkaline picrate filter paper เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำกระดาษออกมาละลายในน้ำกลั่น 10 มล. เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณสารที่ใช้ในการทำ KCN standard solution ระดับความเข้มข้นต่างๆ

KCN standard solution (มล.)	น้ำกลั่น (มล.)	HCN (มก./ลิตร)
0	10	0
0.5	9.5	5
1.0	9.0	10
1.5	8.5	15
2.0	8.0	20
2.5	7.5	25
3.0	7.0	30
3.5	6.5	35
4.0	6.0	40
4.5	5.5	45
5.0	5.0	50

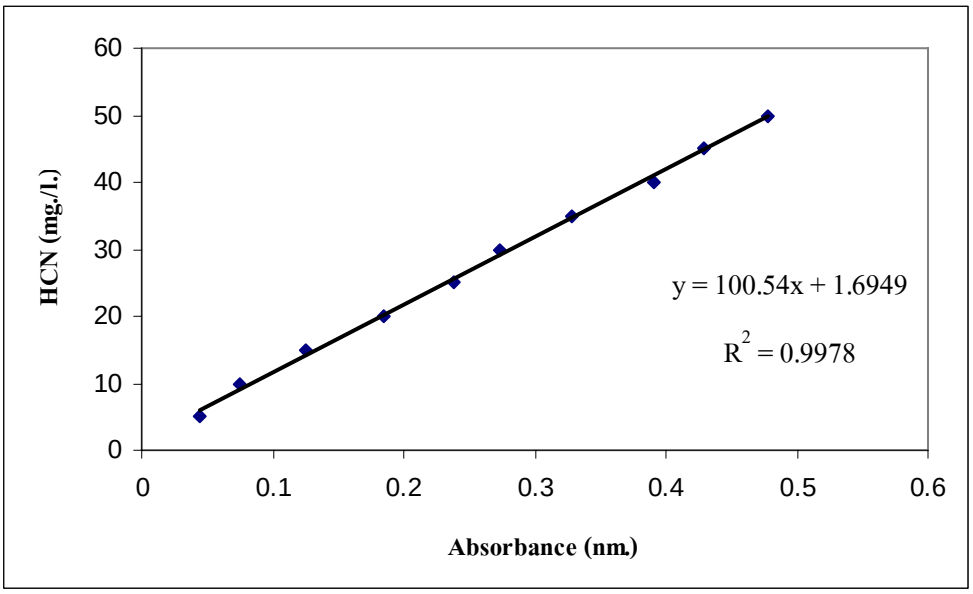
1.3 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

บดตัวอย่างใบมันสำปะหลังหมักให้ละเอียดและชั่งมา 1 ก. เติมน้ำกลั่นจำนวน 25 มล. นำกระดาษ Alkaline picrate filter paper มาผูกติดกับจุกยางแล้วปิดฟลาสก์ทันที ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18 ชั่วโมง จึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำกระดาษ picrate มาละลายในน้ำกลั่น 25 มล. เป็นเวลา 20 นาที ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดไฮโดรไซยานิคกับกราฟมาตรฐาน ซึ่งสมการเส้นตรงคือ $y = 100.54x + 1.6949$ โดยที่ y คือความเข้มข้นของกรดไฮโดรไซยานิคใน KCN standard solution มีหน่วยเป็น มก./ล. และ x คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 5

1.4 การคำนวณ

นำความเข้มข้นของกรดไฮโดรไซยานิคที่ได้จากกราฟมาตรฐานมาคิดหาปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในตัวอย่าง ดังนี้

กรดไฮโดรไซยานิค (มก./กก.) = $\frac{\text{HCN (มก./ล.)} \times \text{dilution (25 มล.)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (1 ก.)}}$



ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ KCN standard solution ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร

2 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณ condensed tannins ด้วยวิธี vanillin-HCL (Barns, 1971)

2.1 การเตรียมสารละลาย vanillin-HCL

ละลายกรด HCL ปริมาณ 8 ก.ใน methanol 100 มล. และละลาย vanillin 4 ก. ใน methanol 100 มล. ผสมสารละลายทั้ง 2 ชนิดให้เข้ากัน ทั้งนี้ควรเตรียมในแต่ละวันที่ต้องการใช้และไม่ควรนำสารละลายที่เปลี่ยนสีมาใช้งาน

2.2 วิธีการทำกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐาน catechin (catechin standard solution) โดยละลาย catechin 100 มก.ใน methanol 50 มล. ดังนั้นใน 1 มล.ของสารละลายจะมี catechin อยู่ 2 มก. ดูดสารละลายที่ได้ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลาย vanillin-HCL อยู่ 5 มล. แล้วเติม methanol ให้มีปริมาตร

สุดท้ายเท่ากับ 10 มล. เจือจาง catechin standard solution ให้มีระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 2 และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณสารที่ใช้ในการทำ catechin standard solution ระดับความเข้มข้นต่างๆ

catechin standard solution (มล.)	vanillin-HCL (มล.)	methanol (มล.)	catechin (มก./มล.)
0	5	5	0
0.5	5	4.5	0.1
1.0	5	4.0	0.2
1.5	5	3.5	0.3
2.0	5	3.0	0.4
2.5	5	2.5	0.5
3.0	5	2.0	0.6
3.5	5	1.5	0.7
4.0	5	1.0	0.8
4.5	5	0.5	0.9
5.0	5	0	1

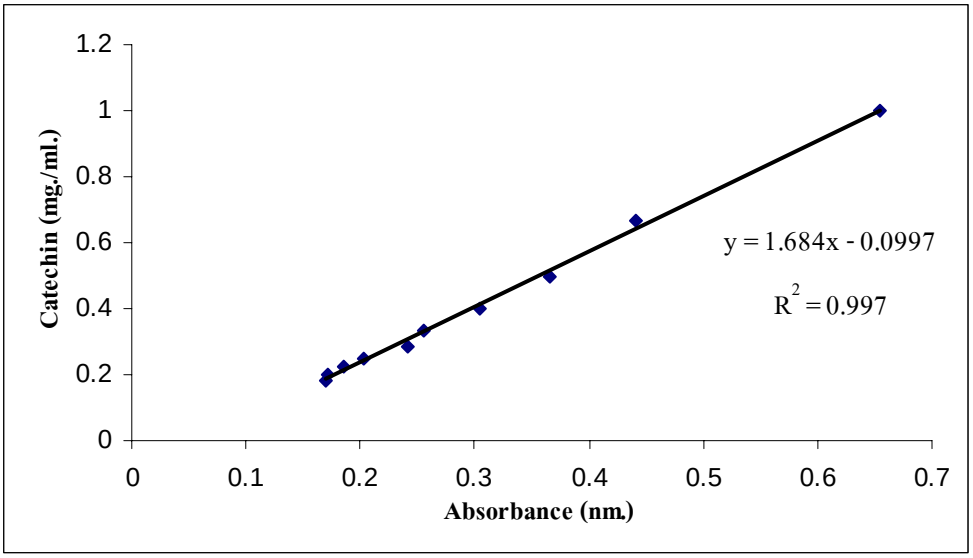
2.3 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

อบใบมันสำปะหลังจนแห้งและบดละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 20 mesh. ชั่งตัวอย่าง 1 ก. ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล. เติม methanol 50 มล. ปิดจุกขวดด้วยกระดาษฟอยล์ เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เขย่าอีกครั้งแล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน ดูดสารละลายที่ได้มา 1 มล. เติมด้วย methanol 4 มล. และ vanillin-HCL อยู่ 5 มล. เขย่าเพื่อผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร เปรียบเทียบความเข้มข้นของ condensed tannins ในตัวอย่างกับกราฟมาตรฐาน ซึ่งมีสมการเส้นตรงคือ $y = 1.684x - 0.0997$ โดยที่ y คือความเข้มข้นของ catechin ใน catechin standard solution มีหน่วยเป็น มก./มล. และ x คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 6

2.4 การคำนวณ

นำความเข้มข้นของ catechin ที่ได้จากกราฟมาตรฐานมาคิดหาปริมาณ condensed tannins ในตัวอย่าง ดังนี้

$$\text{condensed tannins (มก./ก.)} = \frac{\text{catechin (มก./มล.) x dilution (50 มล.)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (ก.)}}$$



ภาพผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ catechin standard solution ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร

3 วิธีวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter (บุญล้อม และคณะ, 2543)

ชั่วตัวอย่าง 20 ก.ใส่ในน้ำกลั่น 80 มล. นำเข้าเครื่องปั่น 30 วินาที แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น วัดสารละลายที่กรองได้ด้วยเครื่อง pH meter โดยก่อนใช้งานควรทำการตั้งค่ามาตรฐาน (standardize) เครื่อง pH meter ด้วย สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.0 และ 7.0

4 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณ Lactic acid bacteria (Deman *et al*., 1960)

4.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

Man Rogosa Sharpe Agar (MRS agar) เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะ (selective medium) ที่ใช้ในการทดสอบแบคทีเรียกลุ่ม Lactic acid bacteria ซึ่งเตรียมโดยละลายผงวุ้น MRS agar สำเร็จรูป 66.8 ก. ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร ต้มให้เดือดก่อนบรรจุขวดและปิดฝานึ่งในหม้อนึ่งความดันไอที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 121ºC นาน 15 นาที จากนั้นนำไปแช่ใน water bath ที่อุณหภูมิ 45ºC

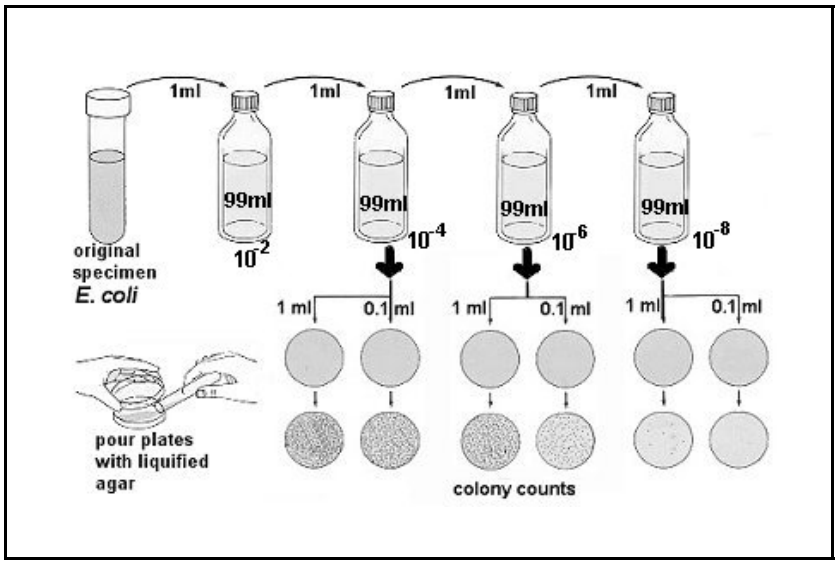
4.2 การคัดแยก Lactic acid bacteria จากใบมันสำปะหลังหมัก

นำใบมันสำปะหลังหมัก 10 ก. ผสมกับน้ำเกลือ normal saline 0.85 เปอร์เซ็นต์ ที่ฆ่าเชื้อแล้ว ปริมาณ 90 มล. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องตีป่นอาหาร (stomacher) กรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น จะได้สารละลายตัวอย่างซึ่งมีระดับความเจือจางเท่ากับ 1:10 ปิเปตสารละลายเจือจางนี้ 1 มล.ใส่ในน้ำเกลือ 0.85 เปอร์เซ็นต์ปริมาตร 9 มล. จะได้สารละลายเจือจางเท่ากับ $1:10^2$ ทำการเจือจางต่อไปเรื่อยๆ จนมีความเจือจางเท่ากับระดับการเจือจางมากที่สุดที่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ

4.3 Pour Plate Technique

เป็นวิธีการตรวจนับเฉพาะจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่จริง และสามารถเพิ่มจำนวนเป็นโคโลนีได้ในอาหารวุ้น โดยถือหลักที่ว่าเซลล์จุลินทรีย์ 1 เซลล์เจริญทับกันเป็นหนึ่งโคโลนี การนับจำนวนจะให้ผลที่แม่นยำเมื่อจานเพาะเชื้อมีเชื้อเจริญอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี และทุกขั้นตอนต้องดำเนินการภายใต้สภาพปลอดเชื้อ ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายความเจือจางเท่ากับ 1:10 ปริมาณ 1

มล. และสารละลายความเจือจางเท่ากับ $1:10^2$ ปริมาณ 1 และ 0.1 มล. ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ความเจือจางละ 3 ซ้ำๆ ละ 1 เพลท ทำให้ได้จานเพาะเชื้อที่มีความเจือจางเท่ากับ 1:10 $1:10^2$ และ $1:10^3$ ตามลำดับ ทำเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ จนได้ระดับความเจือจางที่ต้องการ ดังแสดงในภาพผนวกที่ 3 เทอาหารวุ้นที่หลอมเหลวแล้ว 10-15 มล. ลงในจานเพาะเชื้อ แล้วหมุนจานตามเข็มนาฬิกา 5 รอบ ทวนเข็มนาฬิกา 5 รอบ เคลื่อนจานขึ้นลง 5 ครั้ง และเคลื่อนจานไปซ้ายขวา 5 รอบ เพื่อให้เชื้อผสมและกระจายตัวทั่วอาหารเลี้ยงเชื้อ วางอาหารวุ้นไว้จนเย็นและแข็งตัว (ควรเทอาหารวุ้นหลังจากเจือจางตัวอย่างด้วย dilution water blank ภายใน 20 นาทีเพื่อป้องกันการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ใน dilution water blank) นำจานเพาะเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ภายในภาชนะปิดสนิทซึ่งบรรจุ Anaerocult®A (เป็นตัวปล่อยคาร์บอนและไฮโดรเจน เพื่อปรับสภาพให้ในภาชนะมีออกซิเจนประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์) โดยกลับด้านล่างของจานเพาะเชื้อไว้ด้านบน



ภาพผนวกที่ 3 ขั้นตอนการเจือจางตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ที่มา: http://www.rlc.dcccd.edu/mathSci/reynolds/MICRO/lab_manual/dilution2.jpg2

4.5 การนับจำนวนเชื้อ

เลือกนับเฉพาะจานเพาะเชื้อที่มีการเจริญของเชื้ออยู่ในช่วง 30-300 โคโลนี โดยนับจำนวนเชื้อตามวิธีของ นภา (2528) และมีวิธีคำนวณ ดังนี้

จำนวนเชื้อ Lactic acid bacteria = $\frac{\text{จำนวนโคโลนีที่นับได้ x dilution factor}}{\text{(โคโลนี/ก.)}}$

5 วิธีวิเคราะห์กรดแลคติก (สุรีรัตน์, 2545)

5.1 การเตรียมสารละลายในการวิเคราะห์

เตรียมสารละลาย NaOH 0.1 N เตรียมโดยละลาย NaOH 4 ก. ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

เตรียมสารละลาย phenolphthalein 1 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดยละลาย phenolphthalein 1 ก. ในethanol 95เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 75 มล. แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น

5.2 การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งใบมันสำปะหลังหมัก 20 ก. ใส่ในฟลาสก์ 125 มล. เติมน้ำปริมาณ 180 มล. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องตีป่นอาหาร (stomacher) นำสารละลายที่ได้กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1

5.3 วิธีการวิเคราะหัตัวอย่าง

ตวงน้ำกลั่น 30 มล.ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. หยดสารละลาย phenolphthalein 2-3 หยด ไตเตรทด้วย 0.1 N NaOH จนสารละลายมี pH เท่ากับ 8.4 และมีสีชมพู เพื่อกำจัดปริมาณกรดทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำกลั่น แล้วปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มล. หรือจนกว่าสารละลายจะเปลี่ยนจากมีสีเป็นไม่มีสี จากนั้นไตเตรทด้วยสารละลาย NaOH จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูเช่นเดิม และจดปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท เพื่อคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดและประมาณค่าเป็นปริมาณกรดแลคติก เนื่องจากกรดส่วนใหญ่ที่ผลิตขึ้นจากกระบวนการหมักโดยไม่ใช้อากาศคือกรดแลคติก (Giraffa, 2004)

5.4 การคำนวณ

ปริมาณกรดแลคติก (ก./ลิตร) = $\frac{M_1V_1 \text{ x MW x Df}}{V_2}$

เมื่อ MW คือ มวลโมเลกุลของกรดแลคติก มีค่าเท่ากับ 90.08 ก./โมล

M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (0.1 โมล/ลิตร)

V_1 คือ ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท (มล.)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ (1 มล.)

Df คือ Dilution factor ของสารละลายตัวอย่าง เท่ากับ 10

6 วิธีวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) (ชาญวิทย์, 2548)

6.1 การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งใบมันสำปะหลังหมัก 20 ก. ใส่ในฟลาสก์ 125 มล. เติมน้ำปริมาณ 180 มล. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องตีป่นอาหาร (stomacher) นำสารละลายที่กรองผ่านกระดาษกรอง No. 1 ปริมาณ 10 มล. ใส่ลงในฟลาสก์ ขนาด 250 มล. เติม 2 N KCl 90 มล. เขย่าด้วยเครื่อง shaker เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

เตรียมตัวอย่างด้วยการปิเปตของเหลวจากกระเพาะหมักปริมาณ 10 มล. ลงในฟลาสก์ขนาด 250 มล. เติม 2 N KCl ปริมาณ 90 มล. เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42

6.2 การเตรียมสารเคมี

เตรียม mixed indicator โดยละลาย bromocresol green 0.33 ก. และ methylred 0.165 ก. ในethanol จำนวน 500 มล.

เตรียม boric acid indicator solution โดยละลายกรดบอริก (H_3BO_3) จำนวน 40 ก. ในน้ำร้อน 700 มล. เมื่อสารละลายเย็นจึงถ่ายลงใน volumetric flask ขนาด 1 ลิตร ซึ่งมี ethanol 200 มล. และ mixed indicator 20 มล. ค่อยๆ เติม 0.05 N NaOH ลงไปจนกระทั่งเมื่อนำสารละลายนี้ 1

มล. มาผสมกับน้ำ 1 มล. แล้วเปลี่ยนจากสีชมพูปนม่วงเป็นสีเขียว จากนั้นปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร

6.3 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

ดูดสารละลายที่กรองได้ 10 มล. ใส่ลงในหลอดกลั่นที่เติม MgO (เผาที่อุณหภูมิ 600-700 °C นาน 2 ชั่วโมง) ประมาณ 0.2 ก. ทำการกลั่นสารละลายด้วยเครื่องกลั่นไนโตรเจน(kjeldahl apparatus) และรองรับส่วนที่กลั่นได้ด้วยฟลาสก์ขนาด 100 มล. ที่บรรจุ boric acid indicator solution ปริมาณ 5 มล. ทำการกลั่นจนได้สารละลายประมาณ 30 มล. (สารละลายที่ได้จะมีสีเขียว) แล้วนำสารละลายที่กลั่นได้มาไตเตรทด้วย 0.005 N H_2SO_4 จนสารละลายเปลี่ยนเป็นใสไม่มีสี ทำการไตเตรทต่ออีก 2-3 หยดจนสารละลายมีสีชมพูนาน 20 วินาที เพื่อหาปริมาณของกรดที่ใช้ในการทำปฏิกริยาพอดีกับแอมโมเนียมไอออน

6.4 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ลิตร)} = \frac{M_1 V_1 \times MW \times 2 \times 1000 \times Df}{V_2}$$

เมื่อ MW คือ มวลโมเลกุลของไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 14 ก./โมล

M คือ ความเข้มข้นของสารละลาย H_2SO_4 (โมล/ลิตร) เท่ากับ 0.0025

V_1 คือ ปริมาตรของ H_2SO_4–ปริมาตรblankที่ใช้ในการไตเตรท (มล.)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ (10 มล.)

Df คือ Dilution factor ของของสารละลายตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 10

7 วิธีวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ด้วยวิธี Nelson's reducing sugar (Hodge and Hofreiter, 1962)

7.1 วิธีเตรียมสารเคมี

เตรียม Alkaric copper reagent โดยละลาย anhydrous sodium carbonate (Na_2CO_3) 25 ก.ในน้ำ 250 มก. แล้วใส่ potassium sodium tartate ($C_4H_4KNaO_6.4H_2O$) 12 ก. ใส่สารละลาย 10%

copper sulfate 40 มล. (เตรียมจาก $CuSo_4.5H_2O$ 4 ก. ละลายในน้ำจนครบ 40 มล.) เติม sodium bicarbonate ($NaHCO_3$) 16 ก. ได้เป็นสารละลาย 1, ละลาย anhydrous sodium sulfate (Na_2SO_3) 180 ก. ในน้ำ 500 มล. ได้เป็นสารละลาย 2 ผสมสารละลาย 1 และ 2 เข้าด้วยกันแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร จากนั้น 1 สัปดาห์ กรองและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

เตรียม Arsenomolybdic reagent โดยละลาย ammonium molybdate [$(NH_4)_6 Mo_7O_{24}.4H_2O$] 50 ก. ในน้ำ 900 มล. และเติม conc. H_2SO_4 42 มล. ได้เป็นสารละลาย 3, ละลาย disodium hydrogen arsenate ($Na_2HAsO_4.7H_2O$) 6 ก. ในน้ำ 50 มล. ได้เป็นสารละลาย 4 ค่อยๆ ผสมสารละลาย 4 ลงในสารละลาย 3 ปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

7.2 วิธีการทำกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐาน D-glucose (D-glucose standard solution) สำหรับทำ กราฟมาตรฐาน โดยละลาย D-glucose ในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0, 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 ไมโครกรัม/มล. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Nelson's reducing sugar และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร

7.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้

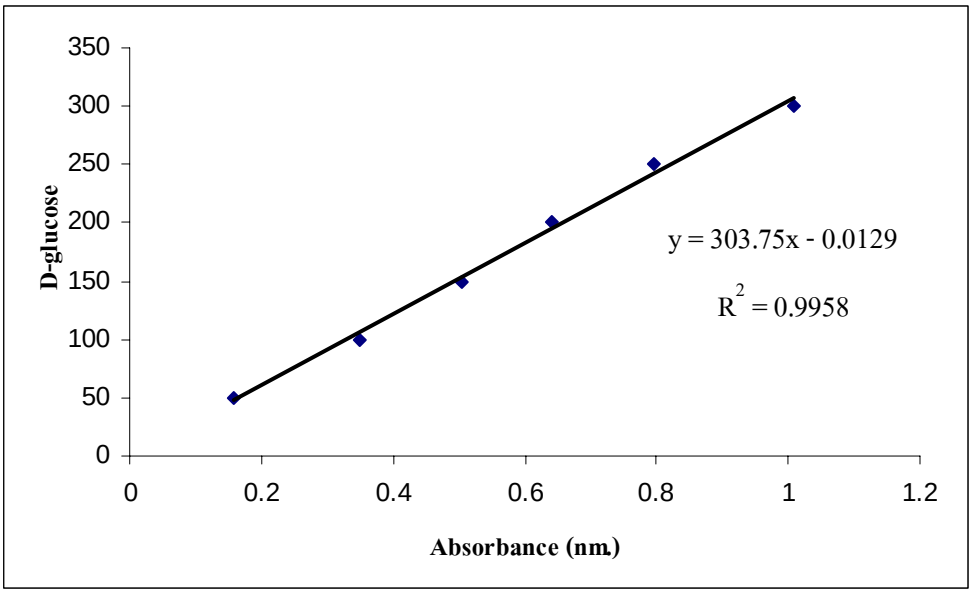
อบใบมันสำปะหลังหมักที่อุณหภูมิ 60ºC จนแห้งสนิท นำมาบดให้ละเอียด และชั่งน้ำหนัก 1 ก. เติม ethanol 50% ปริมาณ 20 มล. ปิดปากภาชนะด้วยอลูมินัมฟอยล์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60ºC นาน 2 ชั่วโมง เขย่าฟลาสก์ทุกๆ 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกริยาสมบูรณ์ ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และปรับปริมาตรเป็น 100 มล. จากนั้นดูดสารละลายที่สกัดได้ 1 มล. ใส่ในหลอดทดลองร่วมกับ 0.1 N HCl 0.5 มล. นำสารละลายไปต้มใน water bath นาน 15 นาที แล้วนำหลอดทดลองมาแช่ในน้ำเย็น เติม 0.1 N NaOH 0.5 มล. และดูดสารละลายที่สกัดและเจือจางแล้ว 1 มล. ไปหาปริมาณ total sugar ด้วยวิธี Nelson's reducing sugar

7.4 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี Nelson's reducing sugar

ดูดสารละลายตัวอย่าง 1 มล. จากข้อ 2.7.3 หรือ 2.7.4 ผสมกับ alkaric copper reagent 1 มล. แล้วนำไปต้มใน water bath 15 นาที ปล่อยให้เย็น แล้วผสมกับ arsenomolybdic reagent 1 มล.

เขย่าให้ตะกอนละลายแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 12.5 มล. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที จึงนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน เปรียบเทียบความเข้มข้นของ reducing sugar หรือ total sugar ในตัวอย่างกับกราฟมาตรฐานของ D-glucose ซึ่งมีสมการเส้นตรงคือ $y = 303.75x - 0.0129$ โดย y คือความเข้มข้นของ D-glucose ใน D-glucose standard solution มีหน่วยเป็นไมโครกรัม/มล. และ x คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพผนวกที่ 4

ภาพผนวกที่ 4 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ D-glucose standard solution ที่ควายาวคลื่น 500 นาโนเมตร



7.5 การคำนวณ

นำความเข้มข้นของ D-glucose ที่ได้จาก standard curve มาคิดหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซิงค์ในตัวอย่างได้ ดังนี้

ปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ (มก./ก.)

$$= \frac{\text{D-glucose (ไมโครกรัม/มล.)} \times \text{dilution (100 มล.)} \times 10^{-3} \text{ (มก./ไมโครกรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (0.5 ก.)}}$$

8. วิธีวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ง่าย (Erwin *et al.,* 1961)

8.1 การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งใบมันสำปะหลังหมัก 20 ก.ใส่ในฟลาสก์ 125 มล. เติมน้ำปริมาณ 180 มล. แล้วเข้าเครื่องปั่นเป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายดังกล่าวกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 และหยด conc. H_2SO_4 1-2 หยด เพื่อหยุดขบวนการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4ºC เป็นเวลา 7 วัน จึงนำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยวที่ความเร็ว 2,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4ºC

8.2 การเตรียมสารสกัดสำหรับฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography

ปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตรลงใน microtube เติม 25% Metaphosphoric acid in 5N-H_2SO_4 ปริมาตร 20 ไมโครลิตร นำไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 4ºC เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยวที่ความเร็ว 10,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำสารสกัดที่เตรียมได้ปริมาณ 1 ไมโครลิตร ฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography เพื่อหาปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดโพรพิโอนิก

8.3 การคำนวณ

นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography มาคำนวณความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ง่ายตามสมการ ดังนี้

ความเข้นข้นของกรดไขมันระเหยง่าย (mmol/dl) = (s/S) x n x 1.2

เมื่อ s คือ (พื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันระเหยได้ง่ายที่ต้องการคำนวณ) / (พื้นที่ใต้กราฟของ Iso-valerate ในตัวอย่าง)

S คือ (พื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันระเหยง่ายที่ต้องการคำนวณ) / (พื้นที่ใต้กราฟของ Iso-valerate ในสารละลายมาตรฐาน)

n คือ 2 สำหรับกรดอะซิติก หรือ 1 สำหรับกรดโพรพิโอนิกและกรดบิวทิริก

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายพิชิตพล อังธีระนุวงศ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	30 ตุลาคม 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จ. กรุงเทพฯ พ.ศ. 2545 วท.บ. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2549
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี